

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Análisis de la circulación y propuestas de mejora del óvalo Pedro Ruiz Gallo en
el límite de Breña y Pueblo Libre**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

AUTOR:

Patricia Karen Illacanchi Guerra

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, Abril, 2019

Resumen

En los últimos años, los tópicos de tránsito y seguridad vial se han tornado relevantes para el Perú. Las políticas que se abordan, usualmente, están enfocadas en mejorar las condiciones de circulación vehicular. Además, las perspectivas de análisis y evaluación son poco integradoras y multidisciplinarias. Como resultado, se presentan espacios públicos diseñados para pocos usuarios e invadidas por vehículos. En esta tesis, se aborda el caso particular del óvalo Pedro Ruiz Gallo, ubicado en el límite de los distritos de Pueblo Libre y Breña.

De manera general, el objetivo es mejorar las condiciones de circulación de los peatones, ciclistas y vehículos en el óvalo teniendo como lineamientos a los principios de la movilidad sostenible. En específico, se determinan los problemas potenciales en la zona de estudio y se proponen medidas de reordenamiento desde una perspectiva integradora.

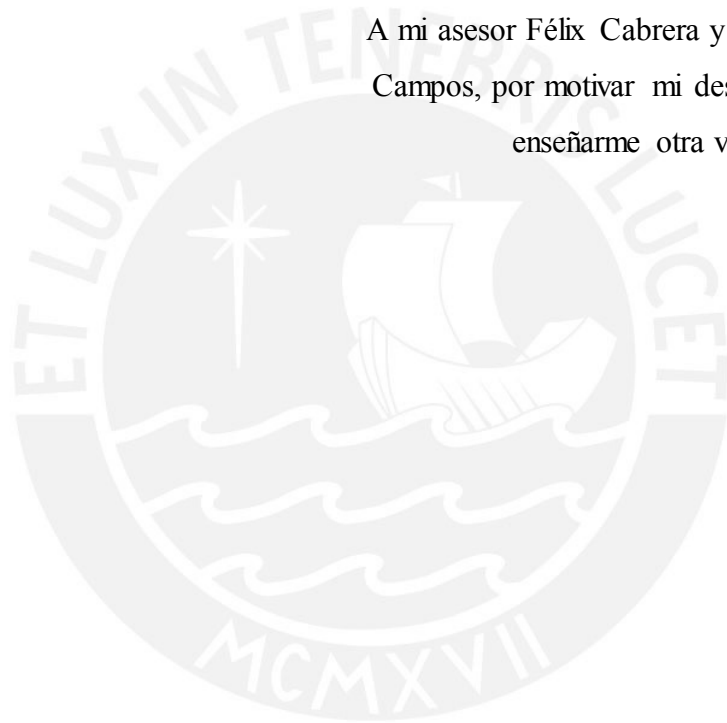
El desarrollo de esta tesis involucra la revisión de guías de rotondas urbanas cuyos criterios consideran la ocupación de peatones y ciclistas en el espacio. Así mismo, mediante listas de chequeo y entrevistas abiertas a usuarios se determinan los lineamientos que direccionan las propuestas de intervención. La herramienta principal de análisis es el software Vissim, a través del cual se microsimula la intersección actual y propuesta. Con esta herramienta, se evalúan las variaciones en el desempeño de cada tipo de usuario, de las entradas a la rotonda y de la red completa.

Como resultado de esta tesis, se presenta la propuesta de rediseño geométrico y señalización más eficiente de acuerdo a los lineamientos propuestos. Las mejoras más resaltantes son la reducción de puntos de conflicto, la ampliación del campo visual de los usuarios, la ocupación predominante del espacio de los peatones y la reducción de velocidades relativas. Además, numéricamente, los tiempos de viaje se reducen en 7 de 12 direcciones con variaciones de 1.42 segundos, en promedio. Así mismo, la circulación vehicular se realiza a 17.88 km/h. De esta forma, es posible implementar facilidades en la zona de intervención para los usuarios de acuerdo al orden de prioridad siguiente: peatón, ciclista y conductor vehicular.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos, por su dedicación y compromiso con nuestros ideales como familia.

A mi asesor Félix Cabrera y al profesor Fernando Campos, por motivar mi desarrollo profesional y enseñarme otra visión de la ingeniería.



Índice

1. Introducción.....	1
1.1. Justificación.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Alcances y limitaciones.....	2
2. Marco teórico	4
2.1. Movilidad sostenible	4
2.1.1. De la circulación a la movilidad sostenible	4
2.1.2. Principios de la movilidad sostenible	5
2.2. Listas de chequeo y Auditoría de Seguridad Vial.....	6
2.3. Microsimulación del tráfico	7
2.4. Fundamentos de la microsimulación.....	8
2.4.1. Aleatoriedad.....	8
2.4.2. Número semilla.....	9
2.4.3. Número de repeticiones	9
2.4.4. Warm up period (período de estabilización).....	10
2.4.5. Actualización del sistema.....	10
2.4.6. Movimiento e interacción de vehículos	11
2.4.6.1. Teoría del seguimiento vehicular de General Motors	12
2.4.6.2. Cambio de carril.....	12
2.4.6.3. Seguimiento vehicular de Wiedemann.....	13
2.5. Rotondas.....	14
2.5.1. Tipos de rotondas.....	15
2.5.2. Elementos:.....	17
2.5.3. Ventajas.....	18
2.5.4. Problemas de circulación.....	19
3. Revisión de manuales de diseño	22
3.1. Metodología del diseño	22
3.2. Visibilidad	25

3.3.	Número de vías intersecadas	27
3.4.	Alineamiento de las aproximaciones	27
3.5.	Número de carriles de entrada, salida y circulación	28
3.6.	Isla central	28
3.7.	Islas divisorias	30
3.8.	Carriles de circulación	31
3.8.1.	Vehículo de diseño y espacio barrido	31
3.8.2.	Ancho de los carriles de circulación	32
3.9.	Curvas de salida	33
3.10.	Anchos de entrada y salida	33
3.11.	Separación entre las vías de la intersección	33
3.12.	Tratamiento especial en vías de distintas jerarquías y medianas	34
3.13.	Diseño inclusivo para peatones y ciclistas	34
4.	Metodología	37
4.1.	Inspección visual detallada del espacio y usuarios	37
4.1.1.	Entrevista a peatones, ciclistas y conductores	38
4.1.2.	Lista de chequeos	40
4.2.	Recolección de datos de entrada en la zona de estudio	42
4.2.1.	Datos geométricos	43
4.2.2.	Señales de control	45
4.2.3.	Demandas	45
4.2.4.	Parámetros de calibración	47
4.3.	Construcción del modelo en Vissim	49
4.3.1.	Enlaces y conectores	49
4.3.2.	Tipos de vehículos y composición vehicular y peatonal	49
4.3.3.	Demandas de tráfico y elección de rutas	50
4.3.4.	Velocidades deseadas	51
4.3.5.	Reductores de velocidad	52
4.4.	Chequeo de errores	52
4.5.	Calibración	53

4.6.	Validación del modelo	55
5.	Rediseño geométrico de la intersección	56
5.1.	Lineamientos de intervención de la zona de estudio	56
5.2.	Elección de tipo de intersección	57
5.2.1.	Criterios generales de diseño de la rotonda	57
5.2.1.1.	Vehículo de diseño y radios de giro	57
5.2.1.2.	Número de carriles de entrada, salida y circulación.....	60
5.2.1.3.	Longitud de cola en aproximaciones.....	63
5.2.1.4.	Necesidades especiales de peatones	64
5.2.1.5.	Necesidades especiales de ciclistas	66
5.2.1.6.	Necesidades especiales de conductores.....	67
5.2.2.	Limitaciones de la zona de estudio	67
5.2.2.1.	Actividades realizadas	67
5.2.2.2.	Uso de estacionamiento.....	68
5.2.2.3.	Uso del espacio público.....	68
5.2.3.	Área de rotonda y alineamientos.....	68
5.2.4.	Diámetro de isla central y ancho de carriles de circulación.....	69
5.2.5.	Ubicación de isla central en el espacio	71
5.2.6.	Curvas de entrada y salida	72
5.2.7.	Plano del óvalo actual	72
5.2.8.	Propuesta final de rediseño geométrico	73
6.	Análisis y discusión de resultados	76
6.1.	Análisis de impacto vial de propuestas de mejora mediante modelo de tráfico.....	76
6.1.1.	Tiempos de viaje peatonales	78
6.1.2.	Tiempos de viaje vehiculares	78
6.1.3.	Variación en la velocidad deseada	81
6.1.4.	Detención de vehículos	82
6.1.5.	Estado de los vehículos en la red de tráfico	82
6.1.6.	Condiciones generales de la circulación	83

6.1.7.	Longitud de colas y demoras en los nodos	84
6.1.8.	Emisiones contaminantes	87
6.2.	Análisis cualitativo de la circulación	89
6.2.1.	Longitud y ubicación de cruces	89
6.2.2.	Distribución del espacio en función a los usuarios	91
6.2.3.	Visibilidad	92
6.2.4.	Velocidades relativas y ángulos de deflexión	94
6.2.5.	Zonas de conflicto	97
6.2.6.	Percepción arquitectónica	99
7.	Conclusiones y comentarios	100
7.1.	Conclusiones	100
7.2.	Recomendaciones	102
8.	Referencias	103

Anexo A: Plano del estado actual del óvalo Pedro Ruiz Gallo

Anexo B: Plano del rediseño geométrico propuesto del óvalo Pedro Ruiz Gallo

Lista de figuras

Figura 1: Movimientos permitidos en una rotonda	14
Figura 2: Implementación de mini-rotonda en la calle Nerja, Marbella	16
Figura 3: Movimientos en una rotonda doble	16
Figura 4: Elementos de una rotonda	17
Figura 5: Puntos de conflicto en flujos vehiculares	19
Figura 6: Diagrama de flujo de diseño de rotondas	24
Figura 7: Áreas de visibilidad recomendadas	25
Figura 8: Áreas de visibilidad recomendada en los accesos	26
Figura 9: Áreas de visibilidad recomendadas	28
Figura 10: Ubicación de la isla peatonal con respecto a la línea de entrada	31
Figura 11: Espacio barrido por giro de un vehículo	32
Figura 12: Rotondas elípticas.....	34
Figura 13: Ciclovías separadas en rotondas	36
Figura 14: Plano de Óvalo Pedro Ruiz Gallo.....	37
Figura 15: Dimensiones de Óvalo Pedro Ruiz Gallo	44
Figura 16: Tramos en los que se registró los tiempos de viaje para calibración	48
Figura 17a: Enlaces y conectores de circulación motorizada	49
Figura 17b: Enlaces y conectores de circulación peatonal	49
Figura 18: Rutas de desplazamiento vehicular que ingresa por la Av. Del Río	51
Figura 19: Curva de velocidad deseada dentro de los carriles del óvalo	52
Figura 20: Hipótesis nula de diferencia de medias para la calibración del modelo	54
Figura 21: Hipótesis nula de diferencia de medias para la validación del modelo	55
Figura 22: Lineamientos del diseño geométrico propuesto	56

Figura 23a: Vista frontal de camión de concreto típico	58
Figura 23b: Vista perfil de camión de concreto típico	58
Figura 24: Estandarización de vehículo de diseño	59
Figura 25a: Mínimos radios de giro de vehículo SU	59
Figura 25b: Dimensiones estándar de vehículo SU	59
Figura 26: Flujos en conflicto para los vehículos entrantes por la Av. Chávez.....	62
Figura 27: Distribución de carriles y sentidos en el óvalo Pedro Ruiz Gallo	63
Figura 28: Longitud de cola máxima observada en todas las aproximaciones	64
Figura 29: Líneas de movimiento peatonal.....	65
Figura 30: Líneas de movimiento peatonal.....	66
Figura 31: Ubicación espacial de necesidades de conductores	67
Figura 32: Espacio libre para la rotonda y alineamientos	69
Figura 33: Curva de velocidad deseada dentro de los carriles del óvalo	70
Figura 34: Espacio barrido por el vehículo de diseño en la trayectoria real.....	70
Figura 35: Modelos propuestos de ubicación de la isla central	71
Figura 36: Trazo de curva de entrada para vehículo de diseño tipo SU	72
Figura 37: Vista del plano de estado actual de la intersección	73
Figura 38: Vista del plano propuesto de rediseño geométrico de la intersección.....	74
Figura 39: Modelo de propuesta de rediseño creado en Vissim	77
Figura 40a: Definición de nodos en el modelo de estado actual del óvalo	77
Figura 40b: Definición de nodos en el modelo propuesto del óvalo	77
Figura 41a: Circulación actual frente a la Av. Chávez	80
Figura 41b: Circulación propuesta frente a la Av. Chávez.....	80
Figura 42: Longitud y ubicación de cruces peatonales en la situación actual.....	89
Figura 43: Longitud y ubicación de cruces peatonales en el modelo propuesto	90

Figura 44: Distribución gráfica del espacio por usuario en el escenario actual.....	91
Figura 45: Distribución gráfica del espacio por usuario en el escenario actual.....	92
Figura 46: Análisis gráfico de visibilidad en el escenario actual.....	93
Figura 47: Análisis gráfico de visibilidad en el escenario propuesto	94
Figura 48: Ángulos de deflexión de trayectorias en la geometría actual	95
Figura 49: Ángulos de deflexión de trayectorias en la geometría propuesta	95
Figura 50: Velocidades relativas en el escenario actual	96
Figura 51: Ángulos de deflexión de trayectorias en la geometría propuesta	96
Figura 52: Zonas de conflicto de flujos en el escenario propuesto	98
Figura 53: Zonas de conflicto de flujos en el escenario propuesto	98

Lista de tablas

Tabla 1: Distancias ‘a’ de visibilidad según DMRB	26
Tabla 2: Preguntas para entrevista a usuarios	38
Tabla 3: Lista de chequeo del óvalo Pedro Ruiz Gallo.....	40
Tabla 4: Datos geométricos del óvalo Pedro Ruiz Gallo	44
Tabla 5: Anchos de carriles de las vías del óvalo Pedro Ruiz Gallo	45
Tabla 6: Matriz origen-destino del flujo con destino Av. Mariano Cornejo	45
Tabla 7: Matriz origen-destino del flujo con destino Av. Del Río	46
Tabla 8: Matriz origen-destino del flujo con destino Av. Loreto	46
Tabla 9: Matriz origen-destino del flujo con destino Av. P. Ruiz Norte	46
Tabla 10: Datos y cálculos de validez estadística del tiempo de viaje 1 en la Av. Mariano Cornejo.....	48
Tabla 11: Configuración de composición vehicular en el software Vissim	50
Tabla 12: Configuración de composición peatonal en el software Vissim.....	50

Tabla 13: Configuración de los parámetros de simulación y evaluación	53
Tabla 14: Composición de trayectorias en el óvalo Pedro Ruiz Gallo	57
Tabla 16: Cálculo de capacidad y saturación en los accesos del óvalo Pedro Ruiz Gallo según el método empírico alemán.....	61
Tabla 17: Parámetros de rediseño geométrico del óvalo Pedro Ruiz Gallo	74
Tabla 18: Dimensiones finales de los elementos del óvalo Pedro Ruiz Gallo	75
Tabla 19: Análisis comparativo entre tiempos de viaje peatonales	78
Tabla 20: Cuadro comparativo entre tiempos de viaje de vehículos	79
Tabla 21: Cuadro comparativo entre tiempos de demora	81
Tabla 22: Cuadro comparativo entre tiempos de detención y número de detenciones.....	82
Tabla 23: Cuadro comparativo de balance de flujos al final de la simulación	83
Tabla 24: Cuadro comparativo de parámetros generales de la circulación.....	83
Tabla 25: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación Mariano Cornejo	84
Tabla 26: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación Del Rio	85
Tabla 27: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación P. Ruiz Sur	85
Tabla 28: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación Chávez y Loreto	86
Tabla 29: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación P. Ruiz Norte y Loreto	87
Tabla 30: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación Mariano Cornejo	87
Tabla 31: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación Del Río	88
Tabla 32: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación P. Ruiz Sur	88
Tabla 33: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación Chávez - Loreto ..	88
Tabla 34: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación P. Ruiz Norte - Loreto	88
Tabla 35: Cuadro comparativo de longitud de cruces peatonales.....	90

Lista de fórmulas

Fórmula 1: Validez de tamaño muestral en la recolección de datos.....	10
Fórmula 2: Modelo de seguimiento vehicular propuesto por General Motors.....	12
Fórmula 3: Relación de dependencia de la aceleración propuesta por General Motors.....	12
Fórmula 4: Modelo de seguimiento vehicular de Wiedemann.....	13
Fórmula 5: Evaluación de suficiencia de datos para la validación.....	47
Fórmula 6: Modelo empírico alemán de cálculo de capacidad en rotondas.....	60



1. Introducción

Las políticas propuestas para abordar los problemas de transporte en zonas urbanas usualmente se orientan en aumentar la capacidad de la infraestructura vial (Dextre & Avellaneda, 2014). Sin embargo, estas propuestas deberían enfocarse en las personas y el diseño inclusivo para estas. Por este motivo, es esencial difundir el concepto y la aplicación de la movilidad sostenible en la planificación del espacio urbano.

El hecho de que la movilidad sostenible se enfoque en las personas no significa que el diseño de la infraestructura vial sea un tema aislado. De hecho, el diseño geométrico es un pilar importante de la movilidad sostenible. Este debe estar enfocado en la dimensión social, ambiental y energética (Herce, 2009). Sin ninguna duda, estos conceptos no se toman en consideración en nuestra ciudad por la alta percepción de inseguridad vial.

El óvalo Pedro Ruiz Gallo es uno de esos puntos en los que las condiciones de circulación vial no son adecuadas. Por medio de esta tesis, se plantea la evaluación y propuestas de mejora para la intervención de este óvalo ubicado en el límite de los distritos de Pueblo Libre y Breña.

1.1. Justificación

La importancia de determinar soluciones para mitigar la inseguridad vial del óvalo Pedro Ruiz de Gallo mediante propuestas de gestión de la movilidad responde a las necesidades básicas de las personas. Una de las herramientas útiles son las listas de chequeo que ayudan a inspeccionar la zona de estudio mediante criterios básicos para la seguridad vial. Por otro lado, la microsimulación del tráfico provee de un espacio virtual para evaluar la eficiencia de las medidas propuestas. De

este modo, se propondrán alternativas de solución para asegurar la autonomía de las personas que puedan ser aplicadas y evaluadas en rotondas de características similares. De no implementar medidas de mejora, el óvalo continuará siendo un espacio muerto e invadido por los vehículos con alta percepción de inseguridad vial.

1.2. Objetivos

Objetivo general:

El objetivo general es mejorar las condiciones de seguridad vial de peatones, ciclistas y conductores en el óvalo Pedro Ruiz Gallo mediante listas de chequeo y propuestas de rediseño basadas en la gestión de la movilidad.

Objetivos específicos:

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar las principales deficiencias que propician la alta percepción de inseguridad vial en la zona de estudio mediante listas de chequeo.
- Proponer medidas para reordenar el tránsito de ciclistas, conductores y peatones mediante la gestión de la movilidad

1.3. Alcances y Limitaciones

Pese a que las directrices de la movilidad sostenible son universales, las características de una zona de estudio son únicas y determinan soluciones diferentes. Por este motivo, los resultados finales de esta tesis como planos de diseño, señalización y demarcación del espacio están limitados a la intervención del óvalo Pedro Ruiz Gallo. Es importante mencionar que no se han considerado

situaciones de tráfico atípicas como feriados. Así mismo, la evaluación y soluciones propuestas corresponden a la situación actual del segundo semestre del año 2018.

Por otro lado, es importante mencionar que se han seguido procedimientos convencionales. De esta manera, se puede seguir la metodología presentada para el estudio satisfactorio de cualquier otra zona de estudio. Así mismo, un aporte de esta tesis son los aspectos mínimos de diseño que deberían cumplir las rotondas en nuestro país.



2. Marco Teórico

2.1. Movilidad Sostenible

2.1.1. De la circulación a la movilidad sostenible

El enfoque del transporte ha ido cambiando a través de los años. Con el aumento del parque automotriz y el crecimiento urbano, las molestias por el tráfico y la congestión vehicular son notorias desde fines del siglo pasado. Como respuesta a esto, surge la gestión del tráfico basada en proveer la capacidad vial (Dextre & Avellaneda, 2014). Nuestra ciudad es prueba de que estas medidas no han sido eficientes: las vías colapsan nuevamente y se alimenta un círculo vicioso. Así mismo, se construyen ciudades abandonadas que pierden el concepto de espacio público en las que caminar es imposible y peligroso (Gehl & Gemzoe, 2002).

El segundo enfoque en esta cadena evolutiva es el transporte público. Con el crecimiento de las ciudades, se hace necesario el transporte motorizado y accesible a las personas. Las medidas de gestión del transporte promueven la reducción de la huella carbónica por uso de combustibles. Las ciudades en desarrollo se enfrentan al reto de establecer alternativas sostenibles con tecnología y eficiencia con sistemas como metros, trenes, tranvías, buses articulados, etc. (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, 2015). Sin embargo, las personas continúan viajando las mismas distancias y consumiendo gran proporción de tiempo.

El tercer enfoque de esta cadena está en función de la movilidad. Este concepto aborda un estudio interdisciplinario de las necesidades de las personas y el transporte de mercancías prescindiendo de vehículos motorizados (Dextre & Avellaneda, 2014). Así mismo, se empieza a comprender que las necesidades de las personas son diferentes de acuerdo a edad, sexo, trabajo, condición física,

etc. Tonucci (2004) propone que, si el espacio urbano se diseña en función a los niños y se garantiza su seguridad y comodidad, el resultado será funcional para todos los usuarios. Por otro lado, se promueve el transporte multimodal y la reducción de los viajes por la planificación urbana.

Finalmente, se añade el concepto de la sostenibilidad a la movilidad. La movilidad sostenible se enfoca en el factor ambiental del transporte: las emisiones comprometen los recursos naturales y la estabilidad del ambiente. El objetivo es implementar la accesibilidad y movilidad aprovechando recursos sin impacto ambiental como las caminatas y el uso de las bicicletas (Sanz, 1997).

2.1.2. Principios de la movilidad sostenible

El enfoque general de la movilidad sostenible está en las personas. Sin embargo, se aborda la gestión del transporte desde distintos puntos interdependientes cuyo estudio se realiza desde distintas materias como ingeniería, sociología, economía, psicología, etc. Esto se debe a que el transporte en un proceso que impacta directamente en las dimensiones de desarrollo de las personas.

Uno de los principios de la movilidad sostenible es el uso del espacio público que favorezca la dinámica social. De este modo, se crean espacios más seguros en los que todas las personas puedan desplazarse con autonomía (Dall'Ara et al., 2018). Así mismo, se promueve el uso del transporte público masivo integrado. Las políticas públicas deben gestionar líneas de transporte interconectadas con medios de transporte eco sustentables. Por otro lado, la inclusión de los ciclistas es una dimensión importante. Se reduce la carga vehicular y se promueve estilos de vida más saludables (Sakshaug, 2009). Medidas públicas como bicicletas públicas y estacionamiento de bicicletas alientan el uso de este modo de transporte.

Así mismo, la regulación de los estacionamientos es un punto clave en la reducción de carga vehicular. En ciudades como la nuestra, hay gran disponibilidad de estacionamiento en zonas públicas y privadas. Estos muchas veces reducen el espacio necesario para el tránsito peatonal y restringen la visibilidad de los usuarios (Mussone, 2013). Del mismo modo, el transporte de bienes constituye un factor importante en la actividad económica y de abastecimiento. Esta debe regularse por horas y restringir las vías de circulación para que los vehículos pesados no afecten la movilidad de las personas.

El uso del transporte público es crucial en este nuevo enfoque. Aparte de proveer de mejores condiciones de transporte a las personas, es necesario reducir los viajes motorizados y favorecer la accesibilidad de las personas dentro del área en el que residen. Esto se logra mediante la gestión del uso del suelo. Las ciudades deben ser policéntricas y compactas para que las personas encuentren los servicios básicos dentro de su zona de residencia y no necesiten obligatoriamente del transporte motorizado. De este modo, las zonas conectadas por robustos sistemas de transporte y comunicación configuran un escenario de competitividad a nivel social, ambiental y económico (Hernández, 2016).

2.2. Listas de Chequeo y Auditoría de Seguridad Vial

La Auditoría de Seguridad Vial (ASV) es una metodología de evaluación de la seguridad vial de una zona de estudio para determinar medidas correctivas y preventivas. La etapa en la que se encuentre el proyecto no representa una limitación para la ASV. Esto quiere decir que es posible evaluar la seguridad vial de un proyecto durante la etapa de factibilidad, diseño preliminar, diseño a detalle, construcción, pre-apertura, post-apertura o explotación (Persia et al., 2016).

Por otro lado, la ASV se desarrolla por medio de una sucesión de pasos. Inicialmente se recopila información previa relevante de la zona de estudio. Se realizan inspecciones en campo del estado actual de la intersección para determinar los puntos de riesgo. Toda esta información se presenta mediante un informe escrito. Así mismo, como parte del análisis, se proponen herramientas y mecanismos de intervención de los puntos potenciales (Huvarinen et al., 2016). Es importante mencionar que también están involucradas actividades formales de revisión y entrega de la documentación entre los profesionales y quien requiere el ASV.

Un formato que facilita la realización de las inspecciones de campo de la zona estudiada por medio de ASV son las listas de chequeo. Estas sugieren criterios mínimos a evaluar y que son importantes para asegurar buenas condiciones de seguridad vial. Dourthé y Salamanca (2003) proponen un formato de listas de chequeo que se enfoca principalmente en el diseño geométrico, la superficie de rodado, la señalización, el mobiliario, los usuarios, los vehículos y la gestión del tránsito. Para el caso del óvalo Pedro Ruiz Gallo, el análisis evaluará las deficiencias en cuanto al diseño geométrico, la señalización y la inclusión de los peatones y ciclistas en la intersección.

2.3. Microsimulación del Tráfico

Microsimulación es el modelamiento individual de usuarios como ciclistas, peatones, vehículos u otros modos basado en el análisis de sus movimientos en tiempos menores a un segundo (FHWA, 2004). En los últimos años, estos modelos microscópicos han sido ampliamente utilizados para el estudio del tráfico. Esto se debe principalmente a que proporcionan un entorno visualmente dinámico a comparación de modelos determinísticos.

En ciudades como la nuestra, en las que las condiciones del tráfico son bastante heterogéneas de acuerdo a la edad, sexo, estado físico, ocupación de los usuarios, la microsimulación resulta bastante útil. En ciudades en desarrollo como India, Taiwan y Vietnam, se han obtenido resultados satisfactorios de la aplicación de la microsimulación (Siddharth & Ramadurai, 2013).

2.4. Fundamentos de la Microsimulación

Visualmente, la interfaz de los softwares de microsimulación parece sencilla. Sin embargo, esta está fundamentada en modelos y suposiciones teóricas. Es determinante entender estos fundamentos para obtener modelos que realmente se ajusten a la realidad mediante asunciones razonables. A continuación, se explica detalladamente la revisión de conceptos.

2.4.1. Aleatoriedad

Los modelos de microsimulación están clasificados de acuerdo a cómo presentan la aleatoriedad en los flujos: determinísticos y estocásticos (FHWA, 2010). Esta aleatoriedad también puede modificar cómo se comportan los vehículos en la red. Los modelos determinísticos, asumen que no hay variación en las características de conductores y vehículos. Los segundos, estocásticos, asignan características según distribuciones estadísticas por número aleatorios a cada vehículo. De esta manera, para un solo entorno evaluado con un número de semilla, el cual se explica más adelante, se crean múltiples valores para un mismo parámetro medido. Esto resulta notable en comparación con modelos empíricos que para un mismo flujo dan como resultado una única medición del parámetro medido.

2.4.2. Número semilla

El número semilla es un dato de entrada que le asigna un perfil de arribo a la red estudiada en el modelo (PTV, 2012). Programas como Vissim permiten al evaluador ingresar números semilla como dato de entrada. Cada número representa un entorno único de la zona de estudio modelada. Por medio de este se asigna un destino, tipo de vehículo y comportamiento a cada conductor.

2.4.3. Número de repeticiones

Después de la construcción del modelo, este se ejecuta mediante un número semilla asignado, a este proceso se le conoce como repetición. Este número, a su vez, determina un rango de números aleatorios que construyen la red dinámica. Cada escenario ejecutado con un número semilla es distinto a los demás. The FHWA (2004) sostiene que, en promedio, la diferencia de estos resultados es de 25%. Por este motivo, es necesario realizar múltiples corridas para lograr resultados coherentes.

El número de repeticiones suficiente depende de los resultados de la red. Esto significa que no se puede determinar el número mínimo si es que aún no se han ejecutado las repeticiones. Así mismo, el número de repeticiones depende del nivel de confianza que se quiera asegurar, usualmente es 95%. Se debe considerar las características de la red de tráfico: si esta es uniforme, no se necesitan repetir las evaluaciones múltiples veces.

Los analistas han determinado una relación para determinar si el número de repeticiones es satisfactorio para asegurar el nivel de confianza deseado. Esta relación está relacionada con la distribución t-Student, como se muestra en la expresión 1.

$$IC_{1-\alpha\%} = 2 * t_{(1-\frac{\alpha}{2}),N-1} * \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

$IC_{1-\alpha\%}$: intervalo de confianza
 $t_{(1-\frac{\alpha}{2}),N-1}$: función estadística t – Student de dos colas
 s : desviación estándar de los resultados de las repeticiones
 N : número de repeticiones

Como se ha observado, la expresión presentada es iterativa. Se debe ajustar el número de repeticiones hasta lograr el intervalo de confianza deseado.

2.4.4. Warm up period (período de estabilización)

Usualmente, al ejecutar el modelo creado en un programa de microsimulación, dinámicamente se observa que la red de tráfico empieza vacía y se llena hasta lograr la composición del tráfico asignada. Los softwares de microsimulación como Vissim permiten configurar desde qué instante se empiezan a procesar los datos y actualizar el sistema. Ese tiempo transcurrido se conoce como período warm up. En otros softwares, este período de estabilización se asigna por defecto.

A partir de ese instante, los resultados deberían estar más ajustados al escenario real. Es importante mencionar que diferencias de 20% en la calibración pueden resultar en diferencias de 50% en la evaluación del modelo (Algers et al., 1997). Por este motivo, resulta importante definir el período en el que la red se estabiliza. El valor de este período no debería excederse de 15 minutos, lo cual significaría que la capacidad del sistema ha sido sobrepasada (FHWA, 2004). El valor con el que se suele iniciar el sistema es de 10 minutos.

2.4.5. Actualización del sistema

Los cambios en el sistema se almacenan de acuerdo al tiempo que se asigne para actualizarse. Esta es una configuración de los softwares que solo se ha hecho posible debido a los procesadores de

las computadoras. Este valor de tiempo es una variable discreta, es decir, un valor y no un rango de tiempo.

Los modelos de microsimulación tienen dos mecanismos para actualizar el sistema: tiempo discreto y evento discreto. En el primero, se asigna un valor fijo y el sistema calcula en intervalos de ese valor velocidades, aceleraciones y posición. El valor comúnmente usado es de 0.1 s. Sin embargo, The FHWA (2004) sugiere que el valor sea elegido de acuerdo a la precisión que la red requiere pues, mientras más frecuentemente se actualiza, el tiempo de procesamiento se incrementa. Por otro lado, el mecanismo de evento discreto actualiza cuando ocurre alguna acción que se configure como de trascendencia en el programa. Por ejemplo, si se desea saber el desempeño cuando el semáforo cambia de color, el sistema calculará las velocidades, aceleración y posición en ese evento específico (FHWA, 2004). Una de las ventajas es que el tiempo de procesamiento disminuye. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que esta configuración es apropiada para sistemas cuyas características de sus usuarios no cambian sustancialmente.

2.4.6. Movimiento e interacción de vehículos

En la construcción del modelo se definen los carriles y los puntos de intersección. Estas características geométricas y el ambiente físico determinan los movimientos de los vehículos. Así mismo, a pesar de que cada conductor va a la velocidad deseada, su comportamiento depende de los otros usuarios. Se han planteado modelos, los cuales se explicarán más adelante, que analizan la interacción individual de vehículos. Estos modelos no son independientes: algunos de ellos son referenciados en otros para proponer modelos de comportamiento (Lieberman & Rathi, 1993)

2.4.6.1. *Teoría del seguimiento vehicular de General Motors*

El modelo fue propuesto y experimentado en laboratorios por la General Motors desde 1950. Es uno de los modelos más aceptados debido a la alta precisión entre los datos de campos y los de microsimulación (Mathew, 2018). En este modelo se consideran dos vehículos circulando por un mismo carril. La respuesta del vehículo siguiente se dará en un desfase de tiempo T por acción de un estímulo del vehículo de adelante en el tiempo t . Esta interacción se muestra en la fórmula 2.

$$\text{Respuesta del vehículo siguiente}_{(t+T)} = \text{sensitividad} * \text{estimulo}_{(t)} \quad (2)$$

T : tiempo de reacción del vehículo siguiente

Así mismo, la General Motors planteó que la respuesta del vehículo siguiente podía representarse a través de su aceleración (Bong, Yeon, Han, & Young, 2005), la cual depende de los movimientos de ambos vehículos como se muestra en la fórmula 3.

$$a_f = f(V_l, V_f, s, T, X_f) \quad (3)$$

a_f : aceleración del vehículo siguiente

V_l, V_f : velocidades del vehículo de adelante y siguiente, respectivamente

s : distancia entre vehículos

T : tiempo de reacción del vehículo siguiente

X_f : parámetros de la teoría del seguimiento vehicular

2.4.6.2. *Cambio de carril*

Este modelo está basado en la aceptación de brechas. Fernández (2010) define a la brecha como el tiempo que se observa entre dos vehículos consecutivos en un carril y a la brecha crítica como el tiempo que otro vehículo considera necesario para ingresar al carril. El conductor decidirá cambiar de carril cuando la brecha que observa es mayor o igual a la brecha crítica que él considera.

El modelo distingue tipos de cambio de carril: obligatorio, voluntario y anticipado. El primero refiere a las restricciones de la geometría y circulación, incidentes que impiden su circulación o la

salida hacia otra vía. Con respecto al cambio voluntario, este ocurre cuando el conductor decide mejorar su posición o circular a velocidad más favorable. El cambio anticipado ocurre cuando el conductor percibe disminución de velocidad en su carril.

Este modelo tiene importantes implicaciones en la simulación del tráfico con respecto al desempeño de la red (FHWA, 2004). El vehículo ocupa dos carriles en un mismo instante.

2.4.6.3. Seguimiento vehicular de Wiedemann

Wiedermann formuló en 1974 el modelo de seguimiento vehicular. Este es conocido por su uso extensivo en el software de microsimulación Vissim (PTV, 2012). El modelo incluye parámetros psico-físicos a diferencia de otros. En particular, el modelo caracteriza el seguimiento vehicular con el estudio de umbrales (Higgs & Tech, 2015). Es decir, la interacción de los vehículos dependerá de las habilidades de manejo, percepción, seguridad, etc. y de las velocidades y aceleraciones que se presenten.

En la fórmula 4 se presenta una versión modificada de Wiedermann y Reiter.

$$d = ax + (bx_add + bx_mult * Z) * \sqrt{V} \quad (4)$$

ax: distancia promedio deseada entre vehículos detenidos

bx_add: valor aditivo de distancia de seguridad

bx_mult: valor multiplicativo de distancia de seguridad

Z: valor entre 0 y 1 de números aleatorios

V: velocidad m/s

Como se observa, los parámetros Z y V los reconoce el software Vissim. El número Z es el número aleatorio que se asigna individualmente a cada vehículo. Por otro lado, los parámetros que pueden ingresarse por quien programa son ax, bx_add y bx_mult. Los valores por defecto son 2, 2 y 3 por

defecto. Sin embargo, en ciudades como la nuestra con condiciones de tráfico heterogéneas, se hace indispensable modificar estos parámetros para calibrar el modelo.

2.5. Rotondas

Las rotondas son un tipo de intersección en la que los flujos vehiculares circulan en un solo sentido alrededor de una isla central. La prioridad de los vehículos que se encuentran circulando en el anillo está sobre el flujo entrante por los accesos a la rotonda (Fernández, 2010). Una de las ventajas de esta intersección es que reduce los giros a la izquierda como se puede ver en la figura 1. Esto se traduce en la reducción de los puntos de conflicto por los movimientos en la intersección. Así mismo, el diámetro de la rotonda puede determinar la velocidad a la que circulan los vehículos. De esta manera, el diseño eficiente podrá reducir la severidad de accidentes en la intersección. Es importante mencionar que, en el caso del Perú, no existe una guía práctica de diseño de rotondas. Esto propicia que muchas de las rotondas existentes no aseguren la seguridad e inclusión de todos los usuarios.

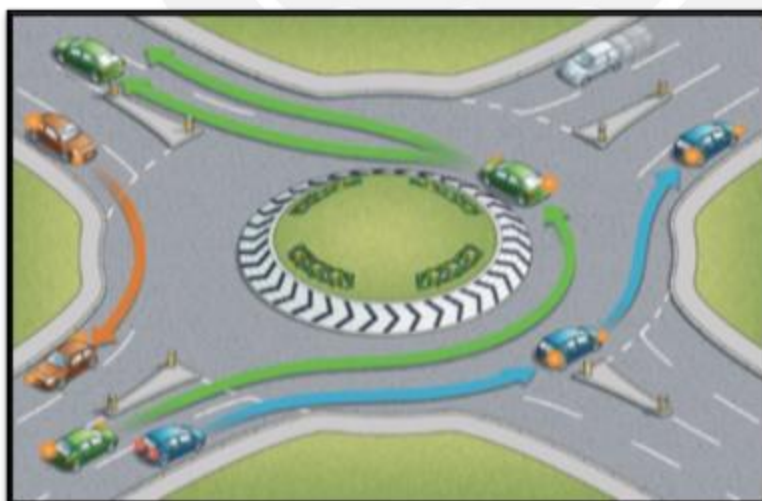


Figura 1: Movimientos permitidos en una rotonda
Fuente: <https://www.highwaycodeuk.co.uk/roundabouts.html>
Revisión: 12 de junio de 2018

En relación con el diseño geométrico de la rotonda, este no está claramente delimitado en la intersección. Por este motivo, hay mucha confusión en los conductores de las trayectorias a seguir. Austroads (2011), mediante una guía de diseño, propone criterios como el número de carriles de entrada, salida y circulantes, diámetro de la rotonda, anchos de accesos, y curvas de salida.

Un factor importante en el diseño de las rotondas es el uso del espacio público. Como lo señala Dall'ara (2018), como parte del nuevo enfoque de movilidad sostenible, el diseño de las áreas verdes en la isla central de la rotonda es de vital importancia. La propuesta integrada de las medidas de mejora y el diseño ecológico crean espacios públicos que mejoren las condiciones de vida de los usuarios. Esto quiere decir que no es un factor totalmente ornamental. Se recomiendan ubicaciones estratégicas de los elementos que componen las áreas verdes para lograr una zona compatible con el tráfico, el ambiente y las personas.

2.5.1. Tipos de rotondas

Mini-rotondas: Son un tipo de rotondas cuyo diámetro de la isla central es menor a 4 metros. Debido a estas dimensiones, es usual que las mini-rotondas tengan un solo carril de circulación. Así mismo, el costo de la infraestructura es relativamente bajo, ya que la isla central puede ser una marca en el pavimento y no una plataforma elevada como en la figura 2 (Washington State Department of Transportation, 2017).



Figura 2: Implementación de mini-rotonda en la calle Nerja, Marbella

Fuente: <https://www.marbella24horas.es/local/la-calle-nerja-cuenta-con-nuevos-elementos-para-el-calmado-del-traffic-y-la-seguridad-vial-4069>
Revisión: 18 de junio del 2018

Rotondas de un carril de circulación: En este caso, tanto los accesos a la rotonda como el anillo circulante constituyen de un solo carril. Suelen ser pequeñas y delimitadas con marcas en el pavimento.

Rotondas de varios carriles de circulación: En este caso, tanto los accesos a la rotonda como el anillo circulante constituyen dos o más carriles. No son tan sencillas para los peatones por la distancia de cruce

Rotondas dobles: Es una intersección giratoria compuesta de dos rotondas que giran en sentidos diferentes. Entre las principales ventajas se puede distinguir la unión de 4 o más accesos y la articulación de vías paralelas separadas (Cabrera, 2018) como se puede apreciar en la figura 3.



Figura 3: Movimientos en una rotonda doble
Fuente: http://www.sohu.com/a/154063652_703799
Revisión: 10 de junio de 2018

Rotondas semaforizadas: Estas intersecciones responden a condiciones de tráfico más críticas. Esto corresponde a cambios del volumen del tráfico, altas velocidades de circulación o desbalance en la demanda entre los distintos accesos (Cabrera, 2018). Es importante mencionar que los perjudicados en este escenario son los peatones: deben esperar largos ciclos de semáforo para desplazarse.

2.5.2. Elementos:

A continuación, se presentan los elementos básicos de una rotonda, glorieta u óvalo en la figura 4. Esta lista podría variar según al tipo de rotonda que se vaya a elegir.

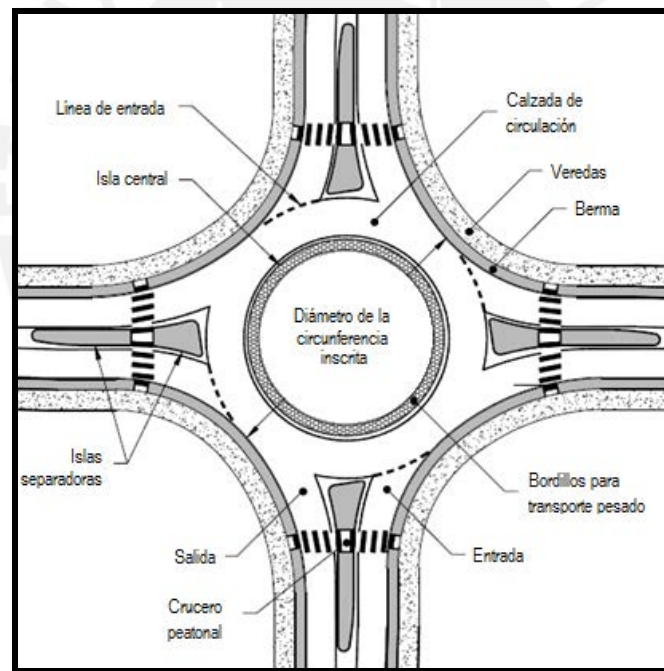


Figura 4: Elementos de una rotonda
Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Isla central: Es el elemento más importante de la rotonda pues determina las trayectorias y su diámetro define la velocidad de la circulación en la intersección. Como lo señala el Comité

Nacional de Seguridad de Tránsito de Chile (2016), este elemento debe ser completamente visible para los usuarios y, de ser necesario, se pueden emplear tachones y marcas en el pavimento.

Carriles o calzada de circulación: El ancho de este lo define el vehículo de diseño empleado. A partir de este, se definirá el diámetro de la circunferencia inscrita: diámetro efectivo de la rotonda.

Accesos: Los vehículos ingresan por la curva de aproximación hasta la curva de entrada. A cada uno de estos elementos, le corresponde ancho y radio de aproximación y entrada.

Salidas: Los vehículos abandonan la rotonda por estas curvas. A este elemento, le corresponde ancho y radio de salida, los cuales se dimensionan de acuerdo al vehículo de diseño y control de velocidades.

Islas divisorias: Se ubican como división entre un acceso y salida. Con respecto a los peatones, estas funcionan como islas de refugio para el desplazamiento de las personas. Por otro lado, estas también pueden regular las velocidades en las que los vehículos ingresan o abandonan la rotonda (Washington State Department of Transportation, 2017).

2.5.3. Ventajas

Puntos de conflicto

Los giros en una rotonda son en un solo sentido y solo se permite el giro en un solo sentido. Esto significa una gran reducción en el número de puntos de conflicto, puntos en los que los flujos de vehículos se superponen. En particular, comparando una intersección en cruz de un carril en cada dirección y una rotonda de un solo carril, se puede observar que los puntos de conflicto se han reducido en 75%: de 32 a 8 como se observa en la figura 5 (Isebrands et al., 2016).

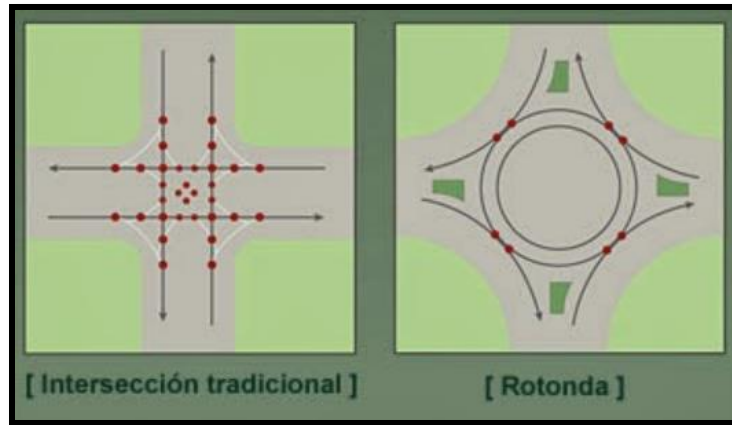


Figura 5: Puntos de conflicto en flujos vehiculares
 Fuente: <https://transportation-forms.stanford.edu/roundabout/faqs.php>
 Revisión: 20 de junio de 2018

Siniestralidad de accidentes de tránsito

Numerosos estudios enfocados en monitorear la ocurrencia de accidentes en intersecciones que se convirtieron en rotondas han mostrado una significativa reducción. En particular, en Dinamarca, los accidentes vehiculares fatales se redujeron en 77% (Jensen, 2017). Elementos como el diámetro de la isla central, radios de entrada y salida de la rotonda controlan la velocidad de circulación. Así mismo, la manera en la que ingresan y salen los vehículos permite que, de ocurrir algún accidente, este no sea en ángulo recto. Otra consideraciones en el diseño como señalización y visión adecuada maximizarían el desempeño de los conductores en cuestión de seguridad vial (Austroads, 2011).

2.5.4. Problemas de circulación

Ciclistas

Asegurar la seguridad vial de ciclistas representa un reto para las rotondas. Jensen (2017) concluyó que la tasa de ocurrencia de accidentes en bicicletas había aumentado en 109% en intersecciones que se habían convertido en rotondas. Este resultado corresponde a un estudio comparativo en

Dinamarca entre el número de accidentes ocurrido en una intersección convencional y los ocurridos cuando la intersección se convirtió en rotonda. Pese a este resultado desalentador, es necesario mencionar que infraestructura vial como los carriles segregados o carriles pintados para ciclovías puede reducir la tasa de accidentes en ciclistas. Así mismo, el control de las velocidades en los accesos y salidas permitiría mejorar la convivencia entre vehículos motorizados y ciclistas en las aproximaciones (Austroads, 2011).

Peatones

En el caso de los peatones, no existe evidencia de que las rotondas sean más inseguras para estos que otros tipos de intersecciones (Austroads, 2011). Sin embargo, de no diseñarse adecuadamente la ubicación de los cruces peatonales, las veredas y las islas divisorias podrían representar un riesgo potencial. Un factor importante es la ubicación de los cruces peatonales: cuanto más distanciados estén de las líneas de salida, se expondrán a velocidades vehiculares mayores.

Conductores

La circulación de estos usuarios en rotondas no es la más adecuada. La razón de esto no es solamente el diseño de las rotondas. Un estudio realizado en Abu Dabi a 543 encuestados que circulaban por una rotonda mostró que solo el 4.1% conocía completamente las reglas de circulación en rotondas (Dabbour et al., 2018). Estos resultados coinciden con la experiencia visual que se tiene en las rotondas. A menudo, no se respetan la prioridad establecida del flujo que circula alrededor de la rotonda sobre los flujos vehiculares que van a ingresar. Además, en la ciudad de Lima, es usual observar conductores cambiando de carril alrededor de la rotonda, lo cual crea conflictos en los accesos y salidas.

Los problemas mencionados antes están relacionados con la seguridad vial individual de las personas. Sin embargo, el diseño de las rotondas también es un factor clave. La mejora de la circulación vehicular podría ser considerable si es que se implementan medidas adecuadas de señalización y de demarcación del espacio.



3. Revisión de Manuales de Diseño

En esta sección se presentan los requisitos y sugerencias de tres guías informativas sobre el diseño geométrico de las rotondas. La primera es la guía publicada por Austroads (2011), organización de agencias de tránsito y tráfico en Australasia. Pese a que la guía no sugiere valores numéricos para el diseño geométrico, es bastante útil en cuanto a la metodología para el diseño que propone, la cual será explicada más adelante. Así mismo, presenta claras distinciones en cuanto a rotondas urbanas en vías arteriales y en vías locales.

Por otro lado, la segunda guía revisada es el reporte 672 de *National Cooperative Highway Research Program* NCHRP (2010), administrada por *Transportation Research Board*. La guía, perteneciente a Estados Unidos, presenta valores numéricos para cada elemento, los cuales serán bastante útiles como referencia. Finalmente, se revisó la guía de diseño geométrico de rotondas propuesta por *Standards for Highways UK* (2007) en *Design Manual for Roads and Bridges* (DMRB). La guía establece orden de prioridad en los elementos de diseño geométrico y los lineamientos para asegurar el diseño universal.

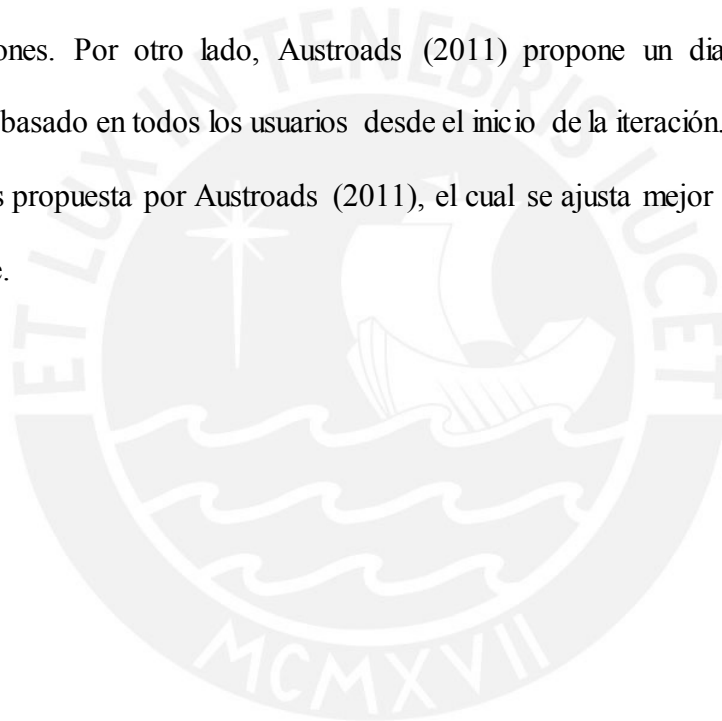
Es importante mencionar que en este capítulo se presenta información que deriva completamente de la revisión de las guías mencionadas. Se ha resumido la información que podría ser relevante como referencia para el diseño geométrico del óvalo en estudio.

3.1. Metodología del Diseño

Austroads (2011), NCHRP (2010) y DMRB (2007) coinciden en que los elementos de diseño no son independientes. Por el contrario, el óptimo diseño geométrico corresponde al proceso de

dimensionar repetitivamente hasta lograr el nivel de seguridad vial, operación y desempeño requerido. Así mismo, los procedimientos que plantean son sugerencias que se deben analizar considerando las características propias del sitio.

La metodología propuesta por las tres guías es un proceso iterativo que ambas presentan mediante un diagrama de flujo. El NCHRP (2010), por un lado, propone el diseño geométrico basado inicialmente en las necesidades del flujo vehicular y evaluado seguidamente según las condiciones de ciclistas y peatones. Por otro lado, Austroads (2011) propone un diagrama de flujo más detallado y que está basado en todos los usuarios desde el inicio de la iteración. La figura 6 presenta la sucesión de pasos propuesta por Austroads (2011), el cual se ajusta mejor a los propósitos de la movilidad sostenible.



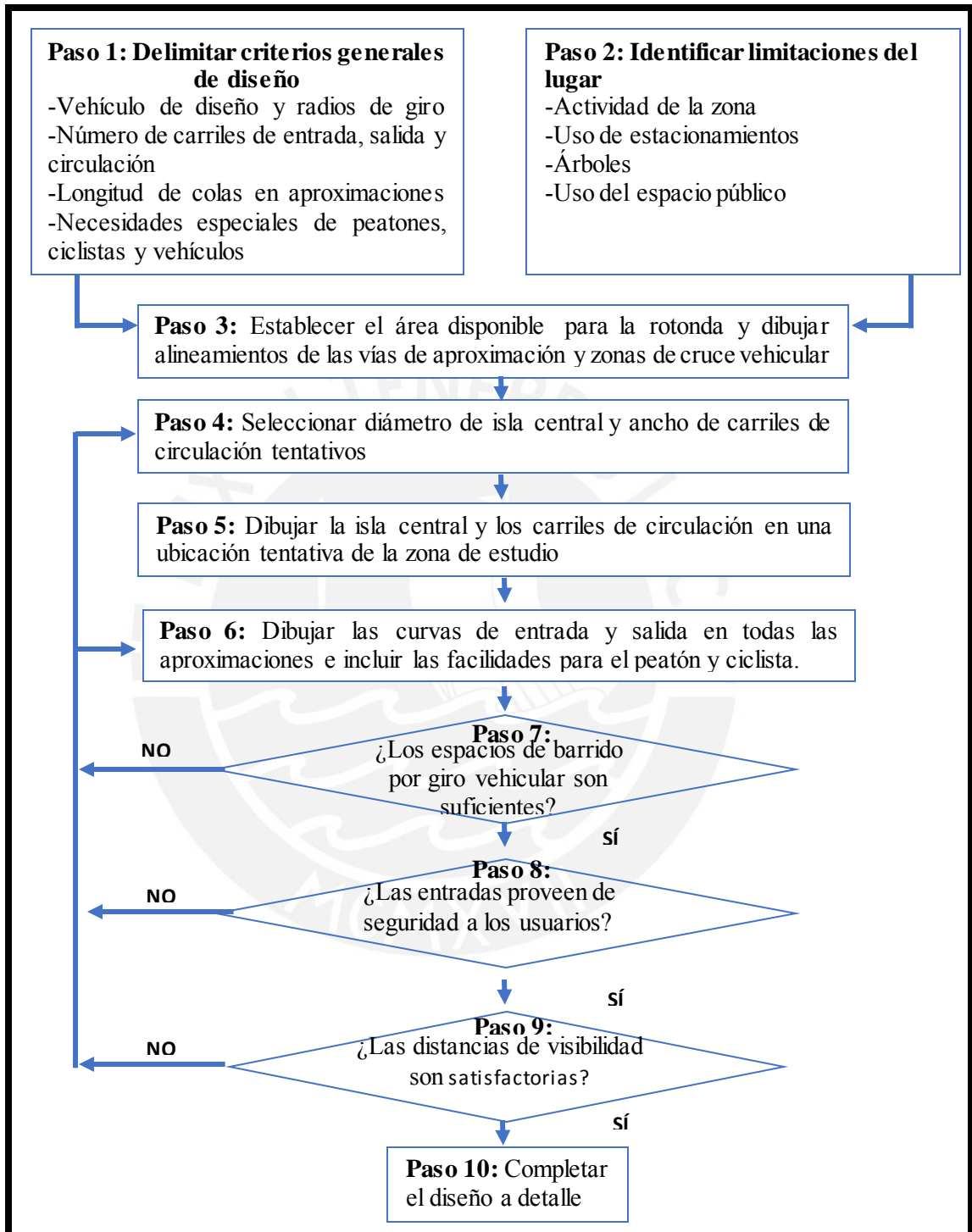


Figura 6: Diagrama de flujo de diseño de rotondas
 Fuente: Adaptado de Austroads (2011)

3.2. Visibilidad

La visibilidad es un factor importante en las rotondas debido a las curvaturas. Así mismo, es importante porque alerta a los usuarios del sentido de los flujos y los puntos de conflicto. Austroads (2011) propone tres criterios para asegurar niveles de seguridad con respecto a la visibilidad. El primero sugiere que, desde los accesos, se deberían observar la isla central, los carriles de circulación y las islas divisorias. Esta medida es razonable pues son esos elementos los que definen el trayecto de los vehículos

El criterio 2 sugiere que un vehículo entrando en la rotonda debe ser capaz de ver los vehículos en los carriles de circulación y el vehículo que ingresará por el acceso inmediatamente anterior. Es importante este punto porque los accidentes que ocurren en las rotondas son debido a las colisiones laterales. El criterio 3 sugiere que un vehículo ubicado antes de la línea de parada debería visualizar el vehículo anterior a este y el que va a ingresar por el acceso inmediatamente interior. Aunque podría parecer obvio, este último criterio es importante en aproximaciones curvas o vías con curvatura. En la figura 7, se muestran las áreas de visibilidad sugeridas por el criterio 2 y 3, las cuales deben ser verificadas en los esquemas tentativos del diseño geométrico.

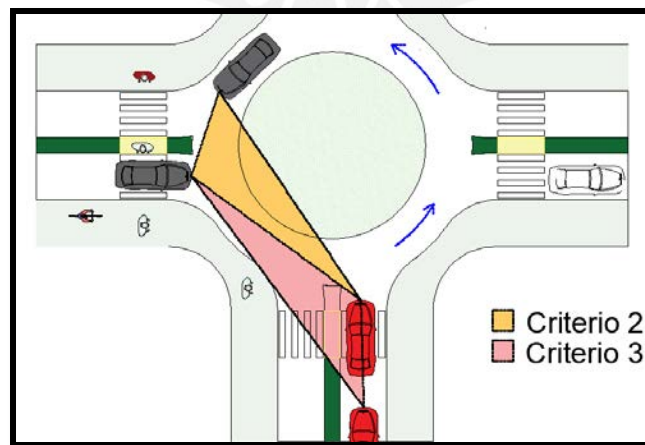


Figura 7: Áreas de visibilidad recomendadas
Fuente: Adaptado de Austroads (2011)

Por otro lado, el NCHRP (2010) establece que las condiciones seguras de circulación pueden ser provistas por dos tipos de distancia de visibilidad: la de parada y la de intersección. Acerca de la distancia de visibilidad de parada, desde las líneas de espera en las aproximaciones se debería ver los elementos principales. Así mismo, acerca de la distancia de visibilidad de intersección, desde los accesos se debería ver los flujos en conflicto: flujos en circulación y flujos entrando por el acceso inmediatamente anterior.

Del mismo modo, el DMRB (2007) propone una longitud de visibilidad desde cualquier acceso en la rotonda. En la figura 8, se muestra que, desde una distancia a 15 metros de la línea de parada, se debería ver un arco medio de longitud 'a'. A comparación de los otros manuales, en este caso la guía propone valores referenciales mostrados en la tabla 1.

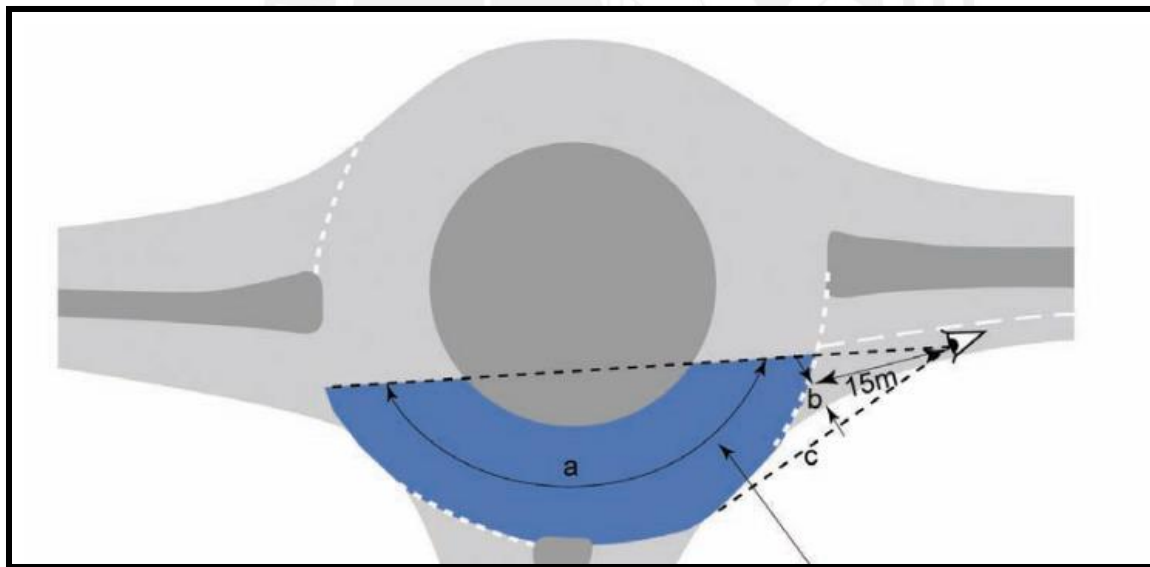


Figura 8: Áreas de visibilidad recomendada en los accesos
Fuente: DMRB (2007)

Tabla 1: Distancias 'a' de visibilidad según DMRB

Diámetro de circunferencia inscrita (m)	Distancia de visibilidad “a” (m)
<40	Toda la intersección
40-60	40
60-100	50
>100	70

Fuente: Adaptado de DMRB (2007)

En esta sección, todas las guías proponen criterios similares en cuanto a visibilidad. Esta debe ser evaluada gráficamente en cada aproximación.

3.3. Número de Vías Intersecadas

Pese a que este elemento lo determina la geometría de la intersección, la aplicación ideal es en entornos con cuatro vías y con ángulos de 90° entre sí. Esto se debe a que, de lo contrario, las curvas de entrada se traslaparían y se crearían nuevos puntos de conflicto vehicular por la cercanía de los accesos (Austroads, 2011). Sin embargo, la gestión del tráfico puede proponer soluciones favorables.

3.4. Alineamiento de las Aproximaciones

Como se muestra en la figura 9, las vías existentes generalmente determinan la ubicación de la rotonda. El NCHRP (2010) plantea que no necesariamente las aproximaciones deberían coincidir con el centro de la rotonda como se muestra en el caso 2. Sin embargo, se debe considerar el efecto de este desfase en el diseño de curvas de entrada y salida. En particular, para el caso 1 en el que el desfase es a la izquierda, el área de visibilidad a la entrada ha mejorado y la velocidad de entrada se puede controlar mejor. Sin embargo, el reto en este caso es lograr que la curva de salida sea adecuada para controlar la velocidad. Por otro lado, para el caso 3 en el que el desfase es a la derecha, el espacio que requiere un vehículo pesado para girar se ha reducido. Sin embargo, se

debe lidiar con que el control de las velocidades a la entrada no sea adecuado y pueda afectar los cruces peatonales.

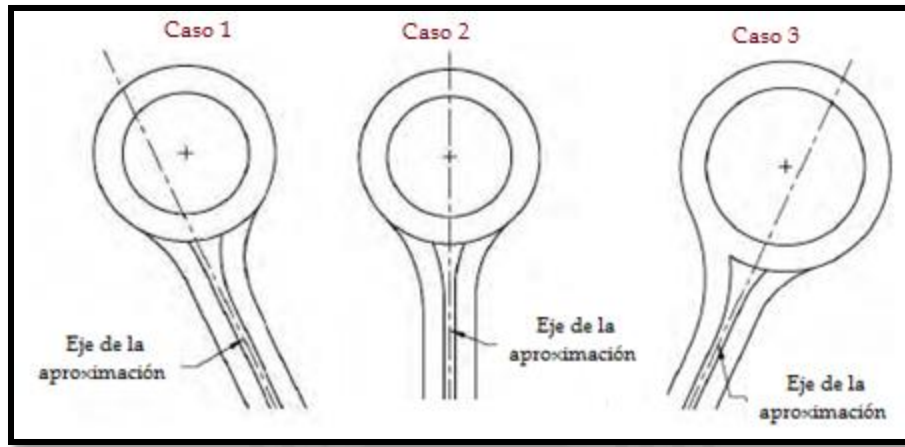


Figura 9: Áreas de visibilidad recomendadas
Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

3.5. Número de Carriles de Entrada, Salida y Circulación

El número asignado en cualquiera de estos elementos dependerá del flujo vehicular. El número de carriles debería proveer la capacidad vehicular para lograr el nivel de servicio adecuado. Sin embargo, Austroads (2011) sostiene que este debería limitarse a dos pues un número superior empeora las condiciones de seguridad vial. Desde la perspectiva de los peatones, las distancias de cruce serían extensas y, probablemente, imposibles en intersecciones no semaforizadas. La guía también menciona que el número de carriles de circulación no debería ser menor al de los carriles de entrada en una aproximación. Así mismos, los carriles de salida en una aproximación no deberían exceder al número de carriles de circulación.

3.6. Isla Central

La forma de las islas centrales es usualmente circular. Sin embargo, debido a la geometría del entorno y sus necesidades, los resultados podrían ser rotondas elípticas. En este caso, se debe

considerar las velocidades relativas entre los vehículos que circulan alrededor del anillo y a que estas pueden confundir la circulación. Esto se debe a las diferentes curvaturas presentadas en la isla central. Así mismo, según la guía de Austroads (2011), las islas centrales de diámetro mayor a 20 y 25 metros deberían ser elevadas para proveer de visibilidad y orientación.

La guía elaborada por Austroads (2011) propone radios mínimos para rotondas de un solo carril o dos carriles. Sin embargo, para el caso de la zona de estudio no es relevante pues esta refiere a rotondas ideales de cuatro vías intersecadas en 90°. La guía sugiere tomar en consideración los vehículos de diseño y que la isla central permita geoméricamente el trazo de los otros elementos como curvas de entrada y salida.

Por otro lado, aunque el NCHRP (2010) no se refiere directamente al tamaño de la isla central sino al de la circunferencia inscrita, se menciona que estas dimensiones deben ser lo suficientemente amplias para acomodarse con la curvatura y ángulos de deflexión de los elementos exteriores. Así mismo, estima que, para rotondas con dos carriles de circulación, el diámetro de la circunferencia inscrita está alrededor de 49 a 55 metros.

Finalmente, el DMRB (2007) sí sugiere valores referenciales de diámetro de la isla central. Sin embargo, no son de interés de esta tesis pues estas consideran un espacio montable para vehículos de diseño considerablemente más grandes.

Pese a que se aborda cada elemento independientemente, es importante mencionar que las dimensiones elegidas para cada elemento deben ser compatibles entre sí. La velocidad que determina cada elemento en la rotonda no debería cambiar sustancialmente en el trayecto pues es

el motivo de los accidentes. Así mismo, el ancho de los carriles, el diámetro inscrito y el diámetro de la isla central son independientes: basta con definir dos de ellos.

3.7. Islas Divisorias

Las islas divisorias son elementos ubicados en las aproximaciones de la rotonda. Principalmente, dirigen el flujo vehicular para evitar espacios muertos que generan confusión. En el caso de rotondas en zonas urbanas, las islas divisorias deben también servir de refugio para peatones o ciclistas según todas las guías. Por este motivo, es esencial que estos espacios sean totalmente visibles desde la intersección y cuenten con el área adecuada para asegurar la seguridad vial de quienes la ocupan. El NCHRP (2010) y el DMRB (2007) sostienen, que para asegurar la seguridad de los peatones, la isla divisoria debería ser de ancho mínimo 1.8 metros y 2.5, respectivamente.

Con respecto a la longitud de la isla divisoria, esta debería ser como mínimo 30 metros de modo que permita advertir a los conductores del cambio de la geometría. Así mismo, de los 30 metros, 3 metros deben estar destinados para el cruceo peatonal como mínimo (NCHRP, 2010). Así mismo, para mantener el cruceo peatonal más corto, la isla debería ubicarse a una distancia 'd' de la línea de parada de entre 5 y 20 metros como se muestra en la figura 10 (DMRB, 2007).

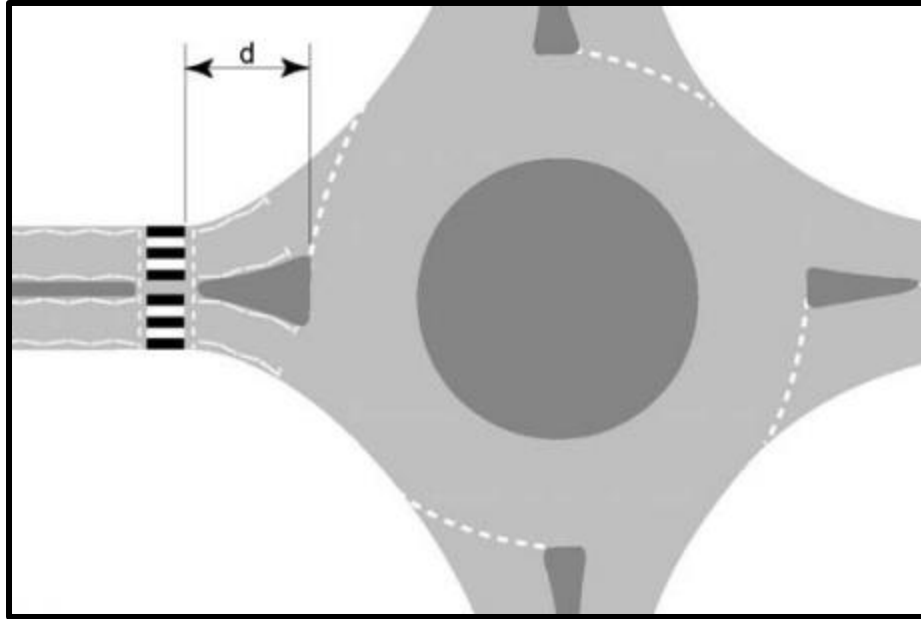


Figura 10: Ubicación de la isla peatonal con respecto a la línea de entrada
Fuente: Design Manual for Roads and Bridges (2007)

3.8. Carriles de Circulación

3.8.1. Vehículo de diseño y espacio barrido

Como se muestra en la figura, el espacio barrido por un vehículo al describir una trayectoria curva determina el ancho de los carriles de circulación. Este espacio se hace crítico en vehículos pesados. En el diseño, se debería tomar en cuenta cómo es la composición del tráfico y los radios descritos en los giros (Austroads, 2011). Como lo sugiere esta guía, se pueden emplear programas como Autoturn o Autocrack para evaluar la pertinencia del espacio. Por otro lado, el NCHRP (2010) sostiene que en vías locales, se debería restringir las rutas de vehículos muy pesados ya que su circulación podría ser contraproducente en las rotondas. Esto se debe a que los sobrecanchos para los giros permitirán maniobrar más fácilmente a los vehículos pequeños con una mayor velocidad a la esperada. Desde la perspectiva de ambas guías, como se muestra en la figura 11, se debe considerar el espacio de barrido que se requiere para la trayectoria de los vehículos pesados.



Figura 11: Espacio barrido por giro de un vehículo

Fuente: <https://www.transoftsolutions.com/press-release/transoft-solutions-and-vectorworks-partnership-offers-vehicle-swept-path-analysis-within-leading-design-and-bim-platform/>

Revisado: 18 de junio de 2018

3.8.2. Ancho de los carriles de circulación

Los factores más importantes de este apartado son el número de carriles propuestos y el vehículo de diseño considerado (Austroads, 2011). La guía desarrolla ampliamente anchos sugeridos para distintos vehículos de diseño pesados y números de carriles que para el caso de estudio no son relevantes. Sin embargo, propone la iteración del diseño preliminar de la rotonda por medio de softwares como Autoturn o Autocrack hasta asegurar el ancho eficiente de los carriles para las maniobras de vehículos pesados.

Por otro lado, el NCHRP (2010) sugiere que los anchos de los carriles de circulación no deberían ser menor al de los carriles de entrada o salida. Así mismo, consideran que el ancho destinado a este elemento debe ser el necesario para no confundir a los conductores sobre cuántos carriles de circulación hay. En el DMRB (2007), se propone que no exceda de 15 metros o de 1 a 1.2 veces el ancho de la entrada o salida.

3.9. Curvas de Salida

Uno de los puntos en los que ocurren accidentes en las rotondas es en las salidas. Mientras mayor sea la velocidad relativa entre vehículos en el anillo circulante y en la rotonda, la siniestralidad aumenta. Por otro lado, según lo señala Austroads (2011), la tendencia de los vehículos al estar cerca de las salidas es de acelerar. Para maximizar la seguridad de los usuarios, la guía propone evitar curvas de salida de radios pequeños y que no sean tangentes a la isla central.

3.10. Anchos de Entrada y Salida

La elección de determinados anchos está básicamente determinada por la velocidad que se requiera en ese punto y el espacio de barrido del vehículo de diseño. Anchos de entrada y salida de gran dimensión perjudicarán la reducción de velocidad que se requiere en zonas urbanas, ya que los vehículos tienen más espacio en el que pueden maniobrar. Por otro lado, estos anchos deberían permitir la circulación de los vehículos de diseño según el ángulo de barrido. En casos de conflicto entre ambos criterios, las guías sugieren elegir el menor ancho y emplear medidas alternas como los sobreamplios montables.

3.11. Separación entre las Vías de la Intersección

En el diseño geométrico, estas limitan el diámetro inscrito de la rotonda y el esquema tentativo de curvaturas, para cada acceso, podría traslaparse. Así mismo, la distancia entre las vías que se intersecan en la rotonda determina la trayectoria que podrían seguir los vehículos en circulación. El DMRB (2007) menciona que, en rotondas de dimensiones pequeñas, el flujo entrante podría ser influenciado por el flujo inmediatamente siguiente que sale. En ese caso, se debe lograr un balance al aumentar las dimensiones de la rotonda.

3.12. Tratamiento Especial en Vías de Distintas Jerarquías y Medianas

Como se muestra en la figura 12, las medianas y el ancho de las vías que se intersecan tienen impacto en la forma de la rotonda. Pese a que existen rotondas elípticas, Austroads (2011) no recomienda su aplicación pues definen distintas velocidades de circulación a lo largo del anillo. Estas velocidades relativas perjudican el desempeño y la seguridad vial, además, hacen más incomprensibles las condiciones de circulación.

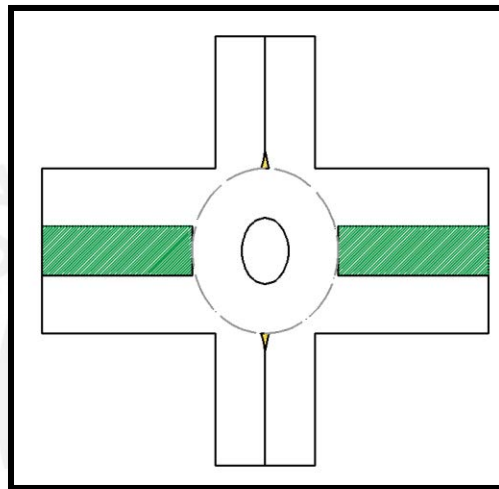


Figura 12: Rotondas elípticas
Fuente: Adaptado de Austroads (2011)

3.13. Diseño Inclusivo para Peatones y Ciclistas

La guía propuesta por Austroads (2011) reconoce que el flujo de peatones y ciclistas debe ser considerado desde el inicio del diseño geométrico. Pese a que no se menciona explícitamente a peatones y ciclistas en la sección de cada elemento, la guía hace una distinción sobre rotondas ubicadas en zonas locales urbanas. Así mismo, para el dimensionamiento de cada elemento se ha tenido como premisa el control de las velocidades por curvatura.

Por otro lado, el manual DMRB (2007) expone extensamente los requerimientos específicos de cada tipo de usuario. De acuerdo a cada contexto, se sugiere implementar alguna facilidad para estos usuarios aunque no esté integrada con los elementos de diseño mencionados anteriormente.

Peatones:

Con respecto al espacio destinado para los peatones, los cruces peatonales deben ubicarse a una distancia de uno o dos vehículos de la línea de espera para que estos no sean invadidos. En zonas de baja velocidad, como zonas comerciales, se pueden ubicar estos inmediatamente después de la línea de espera y evaluar la influencia de esto en la circulación vehicular. Así mismo, deben proveer el espacio necesario para el flujo de peatones.

El uso de rampas continuas o veredas a nivel son esenciales para personas con alguna discapacidad. Si existen estacionamientos en las vías, estos deben reubicarse lejos de la rotonda para no afectar la visibilidad. Se debe considerar que, para zonas en las que la velocidad no excede 35 mph (56 km/h), no se requiere implementar cruces con señales de control.

Ciclistas:

Como se mencionó anteriormente, los ciclistas son los usuarios más vulnerables en este tipo de intersección: no se tiene claro si es que deberían circular junto al flujo peatonal y vehicular. Según el DMRB (2007), ninguna de las propuestas elimina por completo las dificultades para estos usuarios. Sin embargo, Austroads (2011) sostiene que las rotondas pueden proveer aceptables condiciones de seguridad vial.

Por un lado, la guía Austroads (2011) propone el uso de ciclovías segregadas ubicadas fuera de los carriles de circulación como la forma más segura de circulación como se muestra en la figura 13. Se deben considerar la separación en las zonas de giro vehicular. Por otro lado, la guía sostiene

que, en zonas en las que la velocidad de circulación es menor a 50 km/h, ciclistas y vehículos podrían compartir el espacio.

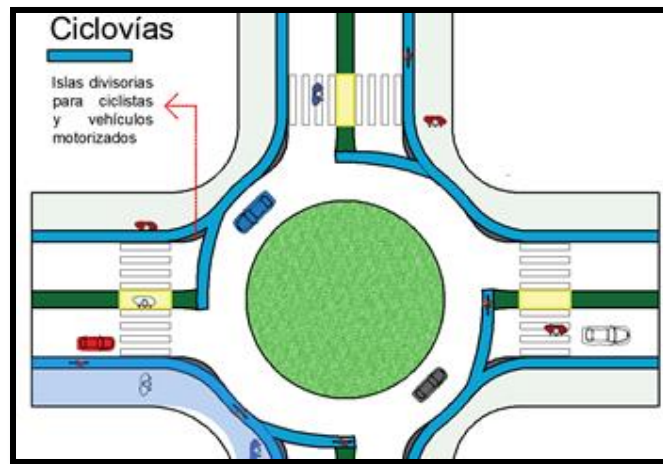


Figura 13: Ciclovías separadas en rotondas
Fuente: Adaptado de Austroads (2011)

Así mismo, en el manual DMRB (2007), se proponen cuatro formas de trazar las rutas para ciclistas. La primera es sin segregarla del vehículo motorizado. La segunda es mediante ciclovías periféricas a la rotonda. La tercera propone la construcción de ciclovías a desnivel. Por último, se podría canalizar los flujos de ciclistas fuera de la rotonda.

4. Metodología

En este capítulo, se presenta la sucesión de pasos realizada para obtener los datos necesarios para el rediseño geométrico. Se ha procesado esta información para la construcción del modelo en el software Vissim. De este modo, a partir del análisis realizado en esta sección, se han definido los lineamientos del proyecto de rediseño geométrico.

4.1. Inspección Visual Detallada del Espacio y Usuarios

Previamente, se ha obtenido los planos del estado actual de la intersección. Así mismo, mediante la revisión del espacio y el análisis de los videos, se determinó los principales flujos de interés para el estudio. En la figura 14, las flechas azules muestran los sentidos de circulación. Alrededor de la rotonda, la circulación se da en sentido horario en dos carriles.

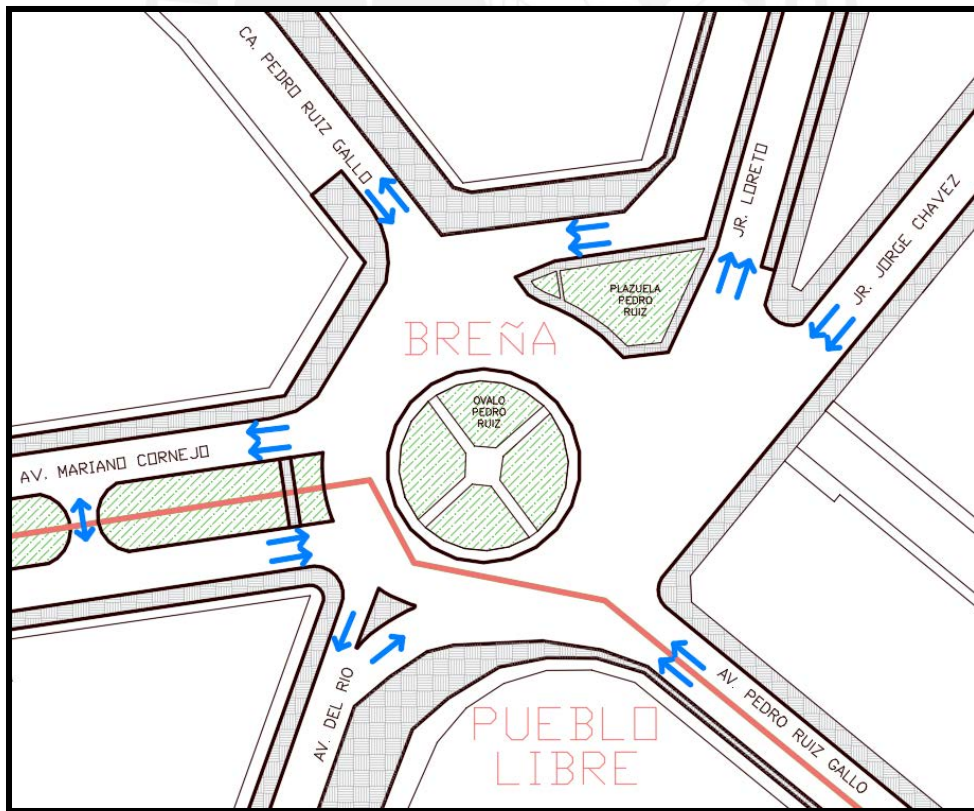


Figura 14: Plano de Óvalo Pedro Ruiz Gallo
Fuente: Planos de Catastro Lima (2013)

4.1.1. Entrevista a peatones, ciclistas y conductores

A menudo, quienes proponen soluciones para intervenir alguna zona de estudio no están del todo involucrados con las condiciones de la zona de estudio. Esto propicia que las decisiones tomadas no estén acordes a las exigencias de las personas. Por este motivo, se entrevistaron a alrededor de cinco usuarios de cada grupo: peatones, ciclistas y conductores con las siguientes preguntas presentadas en la tabla 2.

Tabla 2: Preguntas para entrevista a usuarios

Preguntas generales	Preguntas para peatones
¿Qué tan frecuente es su circulación por el lugar? ¿Ha tomado alguna ruta alterna para evitar cruzar por el óvalo? ¿Ha sufrido algún accidente en la intersección? ¿Cuánto tiempo demora en su trayecto por el óvalo? ¿Cuáles son los problemas más importantes para su circulación en la rotonda? ¿Qué facilidades se deberían implementar en un futuro diseño? ¿Qué puntos de la rotonda debería ver para sentirse resguardado?	¿Se siente amenazado por la velocidad a la que circulan los vehículos saliendo del óvalo? ¿Le resulta sencillo entender el sentido de la circulación?
	Preguntas para ciclistas
	¿Usa las ciclovías de la Av. Mariano Cornejo o Del Río? ¿Circularía por ciclovías segmentadas alrededor de la rotonda?
	Preguntas para conductores
	¿Qué tan familiarizado está con la circulación en el óvalo? ¿Entiende las reglas de prioridad en la rotonda?

Fuente: Elaboración propia

La muestra de personas entrevistadas podría parecer inconsistente. En investigaciones, incluso, se prueba que el número de opiniones sea estadísticamente válido. Sin embargo, en esta tesis las entrevistas son una herramienta de referencia para lograr el nivel de desempeño adecuado y la inclusión de los usuarios en la zona de intervención. Estas entrevistas fueron totalmente descriptivas y de respuestas de tipo abiertas.

En el caso de los peatones, estos manifestaron que no suelen tomar rutas alternativas al óvalo principalmente porque la consideran la ruta más rápida y más amplia. Así mismo, ninguno de ellos ha sufrido algún accidente. Sin embargo, su desplazamiento en los cruces peatonales les resulta

complicado debido a que no tienen la prioridad frente a los vehículos. Además, deben calcular si el flujo vehicular presenta brechas para su desplazamiento desde la mitad del pavimento vehicular debido a los carros estacionados impidiendo la visibilidad. El punto más crítico desde su perspectiva es la salida por la Av. Loreto: los vehículos toman trayectorias rectas y tangenciales a la rotonda sin control de velocidad. Las medidas de solución planteadas por estos usuarios fueron la implementación de semáforos o personas que controlen el tráfico durante horas del colegio.

Con respecto a los ciclistas, estos suelen emplear la ciclovía paralela de la Av. Colombia si es posible para su trayectoria. De lo contrario, usan los carriles vehiculares o las aceras de acuerdo a su destreza con la bicicleta. Por otro lado, no han experimentado accidentes severos en el óvalo. Sin embargo, les resulta difícil visualizar los flujos vehiculares en conflicto debido a que no existe el espacio adecuado para sus bicicletas en los cruces. Además, cuando comparten la acera con los peatones, han percibido que el ancho es insuficiente. Por este motivo, todos estuvieron de acuerdo con ciclovías segregadas del flujo vehicular como propuesta de solución. Así mismo, les gustaría que estas nuevas ciclovías tengan proyección hacia otras zonas, como el centro de Lima, y que estén articuladas con las existentes.

En las entrevistas con algunos conductores, estos manifestaron que no suelen evitar la intersección porque la perciben fluida. Sin embargo, si es que ingresan por vías como las avenidas Chávez o Pedro Ruiz Sur, los tiempos de viaje aumentan significativamente. Esto se debe a que no identifican la prioridad de 3 flujos que se intersecan. Por ello, priorizando su tiempo de viaje individual, ingresan y bloquean las áreas de cruce. Los conductores manifestaron que sí entendían cómo funcionaba el óvalo. Sin embargo, como el pavimento está en mal estado y no hay

demarcación, seguían trayectorias diferentes entre ellos y, en ocasiones, circulaban en 3 o 4 carriles por la rotonda. Las mejoras que sugirieron están relacionadas con el estado de la infraestructura vial más que con la gestión.

4.1.2. Lista de chequeos

Esta etapa está basada en la lista de chequeo propuesta por CONASET. A pesar de que se proponen 12 secciones para evaluar la seguridad, esta tesis se enfocará en la evaluación del diseño geométrico, señalización horizontal y delineadores, señalización vertical, mobiliario vial, gestión de tránsito, usuarios y vehículos de la vía.

A partir de la observación en campo y las grabaciones de tráfico realizadas, se ha analizado la circulación en el óvalo Pedro Ruiz Gallo. En la tabla 3, se muestra el resumen de la inspección realizada.

Tabla 3: Lista de chequeo del óvalo Pedro Ruiz Gallo

Criterios	Descripción
Aspectos generales	La rotonda tiene dos sectores que pertenecen a los distritos de Pueblo Libre y Breña. Los usuarios principales de la rotonda son vehículos de uso particular y mototaxis. La dinámica de peatones sucede en torno al colegio Elvira García ubicado a una cuadra de la rotonda. La intervención reciente en la rotonda fue la habilitación de la isla y cruce peatonal en la Av. Del Río.
Entorno de las vías	En todas las avenidas, hay un espacio de la vereda asignado para estacionamientos. La ocupación de estos espacios es durante todo el día. Esto dificulta la visibilidad de los peatones al cruzar. Por otro lado, la presencia de arbustos en el centro de la rotonda no representa un problema para la visibilidad de esta.
Áreas congestionadas	En la Av. Del Río se producen colas de una distancia aproximada de 50 metros por la ubicación de un semáforo a dos cuadras de la rotonda. Sin embargo, este flujo no pertenece a la zona de influencia del estudio realizado. En particular, en la rotonda se producen instantes de congestión debido a puntos de conflicto por el mal diseño.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Lista de chequeo del óvalo Pedro Ruiz Gallo

Continuación de tabla 3	
Red Vial	La prioridad de la circulación se presenta en el flujo alrededor de la rotonda. Así mismo, las vías que se intersecan en este punto son de diferentes categorías: Pedro Ruiz y Chávez son vías locales, y Mariano Cornejo, Del Río y Loreto son vías colectoras. Este cambio de categoría muestra flujos desproporcionados en la rotonda.
Área de escuela	Para reducir la distancia de cruce al colegio Elvira García, la av. Del Río se reduce a un carril cerca a la rotonda. Sin embargo, el espacio ganado se ha destinado a estacionamientos que obstruyen la visibilidad. Así mismo, en el área de la rotonda que pertenece a Breña, no hay carriles delimitados y el espacio para maniobrar es amplio. Por este motivo, en esa zona la velocidad de circulación no es adecuada. Los cruces peatonales no están delimitados en el área de Breña.
Señalización	No existe señalización alrededor que indique el ingreso a una rotonda ni que anticipe la ubicación del colegio.
Demarcación del pavimento	Solo en las avenidas Mariano Cornejo y Del Río existe delimitación de los carriles que dirija el flujo vehicular y peatonal. En la zona de Breña y alrededor de la rotonda, no hay marcas en el pavimento. Por este motivo, el flujo vehicular y peatonal se da de forma atípica.
Semáforos y señales de control	En la zona de la influencia de la rotonda, no existen señales de control que regulen o modifiquen el tránsito.
Visibilidad	El estacionamiento de los vehículos en los accesos de la rotonda dificulta la visibilidad de los peatones. Estos, al cruzar las avenidas, no pueden ver el flujo vehicular aproximándose.
Estacionamientos	Todas las avenidas tienen un espacio de berma permitido para estacionamientos. Sin embargo, en vías como Pedro Ruiz y Chávez, estos se estacionan a ambos lados de la vía. Este escenario dificulta la circulación en los dos carriles de la vía. En su mayoría, la circulación se da en un solo carril por el medio de la vía de aproximación.
Peatones	La trayectoria de los peatones es variada en la zona de Breña. Como no hay delimitación de los cruces peatonales, los peatones eligen cruzar por líneas de menor distancia, mayor visibilidad o menor velocidad. Por otro lado, en los cruces de Mariano Cornejo y Del Río, la trayectoria de los peatones es más recurrente debido a que el cruce tiene rampas y está al nivel del pavimento.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Lista de chequeo del óvalo Pedro Ruiz Gallo

Continuación de tabla 3	
Ciclistas	La cercanía a las ciclovías de Mariano Cornejo y Del Río motiva la presencia de ciclistas. Sin embargo, el desplazamiento de estos se da en el mismo espacio destinado al peatón ya que no existe infraestructura específica para estos. Así mismo, en la rotonda se pierde la continuidad de la red de ciclovías existentes.
Transporte Público	En la zona de estudio, no existen líneas de transporte público.
Vehículos pesados	Aunque porcentualmente la presencia de vehículos pesados es menor al 1%, se debe considerar que el vehículo de mayores dimensiones observado es el camión que transporta concreto. No se ha observado que en el diseño actual presente problemas en su desplazamiento por la curvatura de las vías.

Fuente: Elaboración propia

4.2. Recolección de Datos de Entrada en la Zona de Estudio

Los datos requeridos para el análisis y modelamiento del tráfico son definidos de acuerdo a los objetivos que tiene el estudio. Así mismo, los elementos relevantes pueden variar de acuerdo al software con el que se planea microsimular. Los datos que usualmente se recolectan son los relacionados con la geometría de la zona de estudio, las señales de tráfico, las demandas y los parámetros de calibración.

Datos geométricos: Los datos básicos a recolectar son la longitud de aproximaciones, anchos de carriles, ángulos de deflexión, curvaturas, velocidad de diseño, configuración de la red de tráfico, etc. Este grupo de datos puede ser obtenido de planos de catastro o de intervención de la zona de estudio o herramientas alternativas como fotogrametría o GPS.

Señales de tráfico: El comportamiento de los vehículos y personas podría ser modificado por semáforos, señales de parada, reductores de velocidad, etc. En ocasiones, estos no pueden ser caracterizados con un valor y una magnitud fija como los tiempos del semáforo, por ejemplo. Sin

embargo, debería considerarse el impacto cualitativo en el desplazamiento de los usuarios para ser replicado en el modelo por medio de las herramientas del software.

Demandas: Para caracterizar la zona de estudio, se necesitará realizar conteos de los flujos que se desplazan en el sistema y la forma en cómo estos se hacen. En particular, datos como los volúmenes de entrada en los accesos, los giros realizados o matrices de origen-destino muestran cuál es la tendencia de circulación en el área de intervención. Así mismo, de acuerdo a la precisión y los objetivos del estudio, se puede desglosar el conteo de acuerdo al tipo de vehículo según velocidad o dimensión.

Parámetros de calibración: Aparte de los datos anteriores que ayudan la construcción del modelo, es necesario registrar datos para evaluar la correspondencia entre el modelo y la circulación real. Usualmente, los flujos de saturación o capacidad, velocidad de circulación, tiempos de recorrido o longitudes de colas se emplean como parámetros de calibración. La elección de estos debe ser definida antes de la recolección de datos y de acuerdo con los objetivos y alcances del estudio.

4.2.1. Datos geométricos

Se obtuvo el plano de catastro de los distritos de Pueblo Libre y Breña los cuales corresponden al año 2013. En la visita, se verificó la configuración de los elementos del óvalo y se preguntó acerca de la fecha de las intervenciones en la zona. Se identificaron ligeras variaciones en la parte que pertenece a Pueblo Libre como la ubicación de los cruceos e islas peatonales en la Av. Del Río. Por este motivo, mediante fotos aéreas se actualizaron las dimensiones del óvalo.

En la tabla 4, se muestran las dimensiones relevantes del óvalo para este estudio. Como se muestra en la figura 15, las dimensiones en todos los accesos no son constantes. Por ello, se han asumido valores promedios o efectivos.

Tabla 4: Datos geométricos del óvalo Pedro Ruiz Gallo

Diámetro inscrito promedio (a)	50.38 m
Diámetro isla central (b)	27.44 m
Ancho de carril de circulación mínimo (c)	8.88 m

Fuente: Elaboración propia

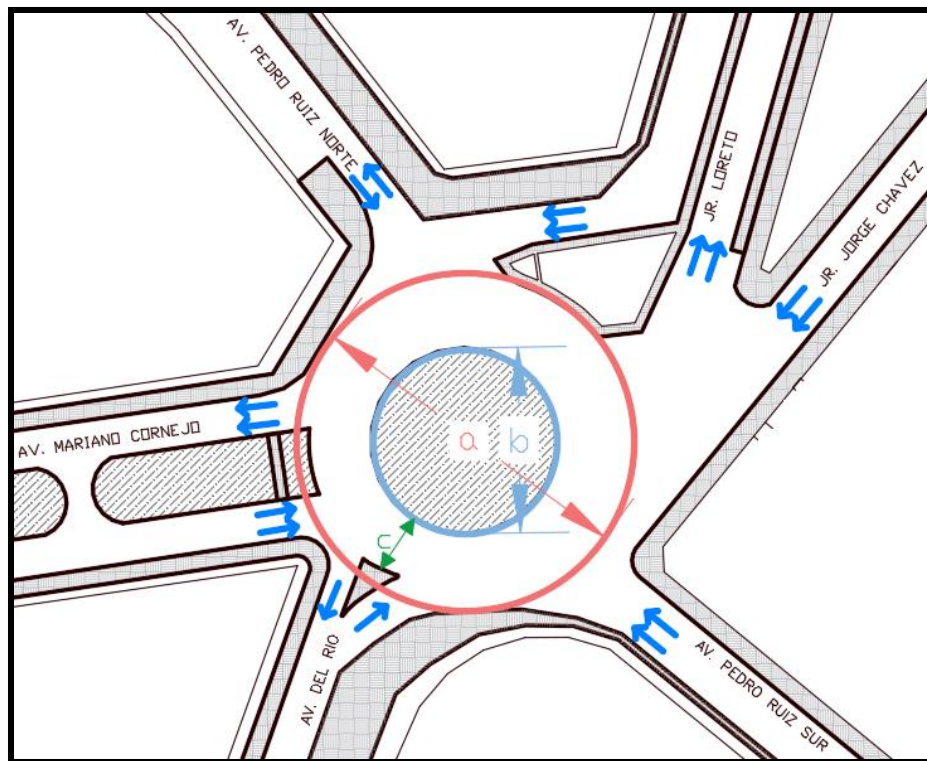


Figura 15: Dimensiones de Óvalo Pedro Ruiz Gallo
Fuente: Planos de Catastro Lima (2013)

Así mismo, en la tabla 5, se presenta los anchos de carril por cada avenida empleados en la construcción del modelo.

Tabla 5: Anchos de carriles de las vías del óvalo Pedro Ruiz Gallo

Avenida	N° de carriles por sentido	Ancho de carril	
Mariano Cornejo	2	3.00	m
Del Rio	1	3.30	m
Pedro Ruiz Sur	2	4.10	m
Chavez	2	2.95	m
Loreto	2	3.45	m
Pedro Ruiz Norte	1	2.85	m

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Señales de control

Se verificó la existencia de señales que influyeran en la circulación; sin embargo, no se identificó ninguna relevante. El óvalo está regulado por prioridad de paso: circulación alrededor de la rotonda como primarios y flujos en los accesos como secundarios.

4.2.3. Demandas

Como el número de vías que se intersecan en el óvalo son seis, existen rutas dentro del Grifo y hay giros en U en la Av. Mariano Cornejo, se ha preferido realizar el conteo del tráfico por medio de una matriz Origen-Destino. Así mismo, se ha caracterizado este flujo de acuerdo a tipo de usuario como personas y vehículos, que a su vez se distinguen por tipo: automóviles, motocicletas, furgonetas, camiones y mototaxis. El fin de esta distinción es para asignar velocidades y dimensiones pertinentes a la composición del tráfico.

Tabla 6: Matriz origen-destino del flujo con destino Av. Mariano Cornejo

Destino	Mariano Cornejo				
	A	M	C	F	T
Origen					
Mariano Cornejo	3	-	-	-	-
Del Río	71	7	-	2	1
Pedro Ruiz Sur	104	5	2	1	-
Chavez	199	11	4	2	13
Loreto	35	2	2	-	2
Pedro Ruiz Norte	1	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Matriz origen-destino del flujo con destino Av. Del Río

Destino	Del Río				
Origen	A	M	C	F	T
Mariano Cornejo	77	2	1	3	-
Del Río	2	-	-	-	-
Pedro Ruiz Sur	15	1	-	-	-
Chavez	112	3	2	2	3
Loreto	77	8	1	4	5
Pedro Ruiz Norte	3	3	-	-	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Matriz origen-destino del flujo con destino Av. Loreto

Destino	Loreto				
Origen	A	M	C	F	T
Mariano Cornejo	199	8	6	5	8
Del Río	138	13	3	10	16
Pedro Ruiz Sur	48	3	1	-	6
Chavez	9	-	-	-	1
Loreto	2	-	-	-	-
Pedro Ruiz Norte	9	2	-	-	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Matriz origen-destino del flujo con destino Av. P. Ruiz Norte

Destino	Pedro Ruiz Norte				
Origen	A	M	C	F	T
Mariano Cornejo	-	-	-	-	-
Del Río	14	2	-	2	2
Pedro Ruiz Sur	15	3	-	1	2
Chavez	8	2	-	2	2
Loreto	5	2	-	-	1
Pedro Ruiz Norte	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Como se muestran en las tablas 6, 7, 8 y 9 el flujo motorizado es descompensado: se concentran viajes en las vías de Del Río, Mariano Cornejo y Loreto.

4.2.4. Parámetros de calibración

El número de veces en las que se mide dicho parámetro debe ser estadísticamente aceptable. La fórmula 5 muestra la condición que se debería cumplir mediante la distribución estadística t-Student.

$$N = (2 * t_{0.025, N-1} * \left(\frac{s}{R}\right)^2) \quad (5)$$

N: número de datos recolectados
 $t_{0.025, N-1}$: función estadística t – Student de dos colas con confiabilidad 95%
s: desviación estándar de los datos recolectados
R: error esperado del valor medido

Se recolectaron tanto los datos de demanda como de calibración durante la hora del día con mayor demanda, preferiblemente entre antes y después de la congestión. Para este objetivo, se ha utilizado grabaciones con dron a una altura de 180 metros de altura. La elección de los días de grabación ha sido en función de los días de asistencia al colegio. Así mismo, se tuvo en consideración los días soleados debido a que la nubosidad no permite el registro del dron con claridad. Este período de hora pico corresponde al intervalo entre 12:45 p. m. y 1:20 p.m.

Se ha elegido como parámetro de calibración a los tiempos de viaje en los accesos y salidas de la rotonda como se muestra en la figura 16. Para este fin, se han marcado tramos en las avenidas y se registraron los tiempos de viaje. En relación con la cantidad de datos, se ha registrado alrededor de 50 para cada parámetro.

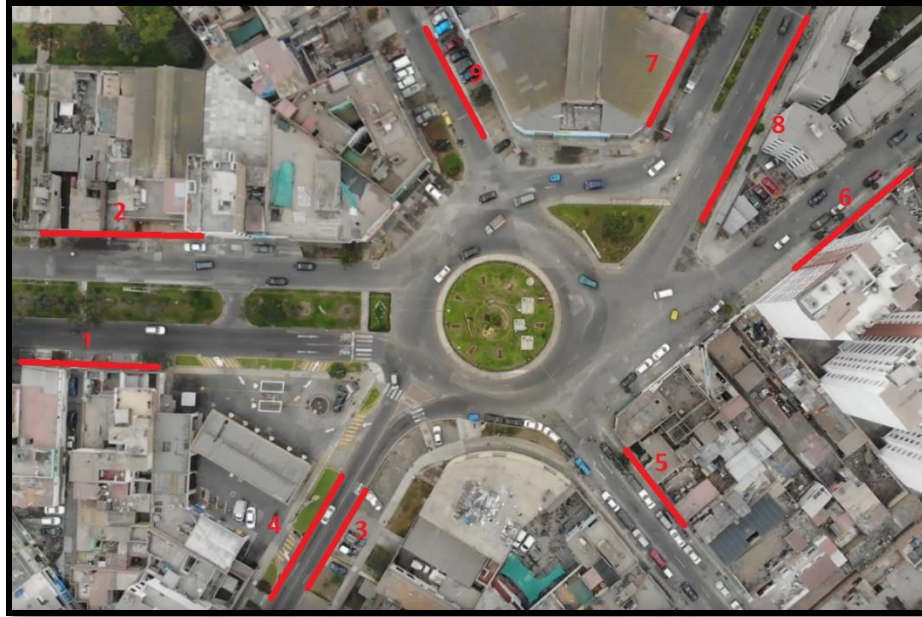


Figura 16: Tramos en los que se registró los tiempos de viaje para calibración
Fuente: Fotografía aérea propia

Por otro lado, después de la recolección de los parámetros de calibración, se ha evaluado la validez estadística de la muestra para asegurar un 95% de confiabilidad en la microsimulación. En la tabla 10, se muestra los cálculos y resultados de uno de los parámetros de calibración que corresponde al flujo que entra por la Av. Mariano Cornejo. De acuerdo con la fórmula 5, descrita anteriormente, se necesitan como mínimo 37 datos para asegurar la validez estadística de la muestra. Al igual que en los otros tiempos de viaje, como se ha superado el tamaño de la muestra, las mediciones son válidas.

Tabla 10: Datos y cálculos de validez estadística del tiempo de viaje 1 en la Av. Mariano Cornejo.

Promedio	3.694	s
Desviación estándar muestral	0.752	s
Número de datos registrados	51	
T-student $t_{0.025, N-1}$	2.0086	
Intervalo de confianza R	+/- 0.5	s
Número de datos necesarios	37	

Fuente: Elaboración propia

4.3. Construcción del Modelo en Vissim

La simulación de las operaciones de tráfico en una rotonda presenta frecuentemente muchas complejidades, ya que no es fácil definir todas las características geométricas y de conducta. De acuerdo a las grabaciones con dron y al procesamiento de datos, se ha tratado de caracterizar los elementos y configuraciones siguientes que componen el modelo de tráfico.

4.3.1. Enlaces y conectores

Se ha creado los enlaces y conectores que definen la circulación por el óvalo en el software Vissim. Se trabajó con las configuraciones por defecto a excepción de los anchos de carril. Por otro lado, la Av. Pedro Ruiz Sur se ha configurado como un solo carril debido a que los automóviles se estacionan en ambas bermas y reducen el espacio efectivo. En la figura 17 a y b, se muestran los enlaces creados en amarillo para la circulación motorizada y peatonal.

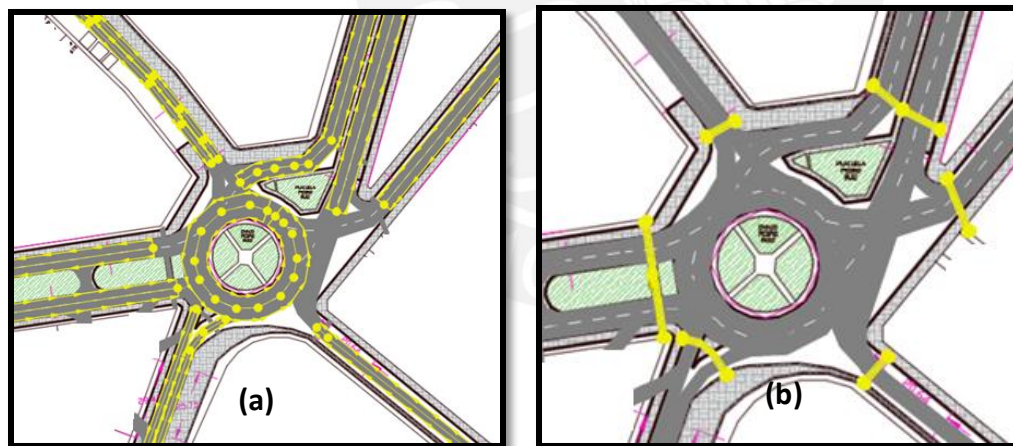


Figura 17a: Enlaces y conectores de circulación motorizada

Figura 17b: Enlaces y conectores de circulación peatonal

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Tipos de vehículos y composición vehicular y peatonal

Se han caracterizado 5 tipos de vehículos en el software. Para los automóviles y camiones, se ha optado por asumir los valores por defecto del software. Para las motocicletas y furgonetas se han

ajustado las dimensiones. Para las mototaxis, se ha configurado dimensiones, velocidad deseada y desaceleración de acuerdo a los valores propuestos por Araujo y Lazo (2017) en su tesis de microsimulación de vehículos atípicos. En la tabla 11, se muestra la configuración ingresada al software Vissim y obtenida de acuerdo a la grabación durante la hora pico.

Tabla 11: Configuración de composición vehicular en el software Vissim

Tipo	Velocidad deseada	Composición
Automóvil	50 km/h	89.44%
Camión	40 km/h	2.48%
Motocicleta	50 km/h	3.11%
Furgoneta	50 km/h	2.48%
Mototaxi	35 km/h	2.48%

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se emplearon los valores por defecto para la circulación peatonal como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12: Configuración de composición peatonal en el software Vissim

Tipo	Velocidad deseada	Composición
Varones	5 km/h	50.00%
Mujeres	5 km/h	50.00%

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Demandas de tráfico y elección de rutas

A partir de los conteos presentados en la matriz origen-destino, se establecieron las proporciones de vehículos que se desplazan en determinada ruta. En la figura 18, se muestran en amarillo la creación de rutas que ingresan por la Av. Del Río.

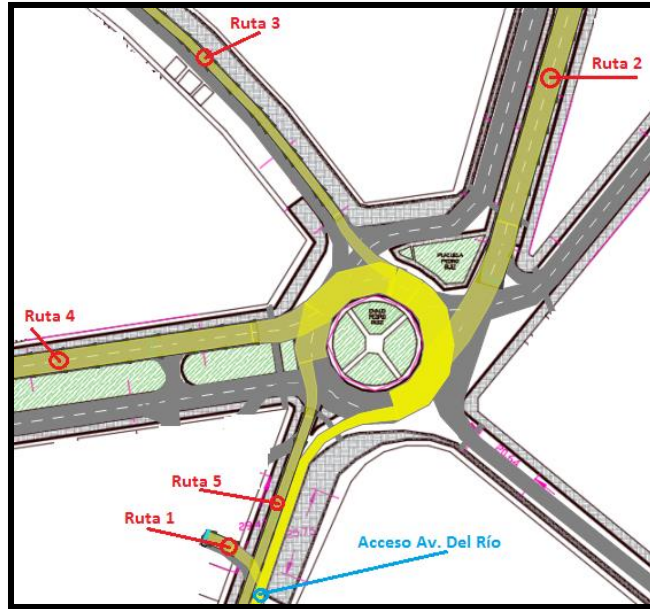


Figura 18: Rutas de desplazamiento vehicular que ingresa por la Av. Del Río
Fuente: Captura de modelo propio creado en Vissim

4.3.4. Velocidades deseadas

De acuerdo a las grabaciones, se percibió que los vehículos circulaban alrededor de la rotonda con velocidades distintas a los accesos y salidas por la curvatura. Por este motivo, se creó una distribución de velocidad deseada a partir del muestreo de vehículos aleatorios. En la figura 19, se demuestra la distribución de frecuencia acumulada de la velocidad deseada al circular por la rotonda cuyo valor promedio es de 21.3 km/h.

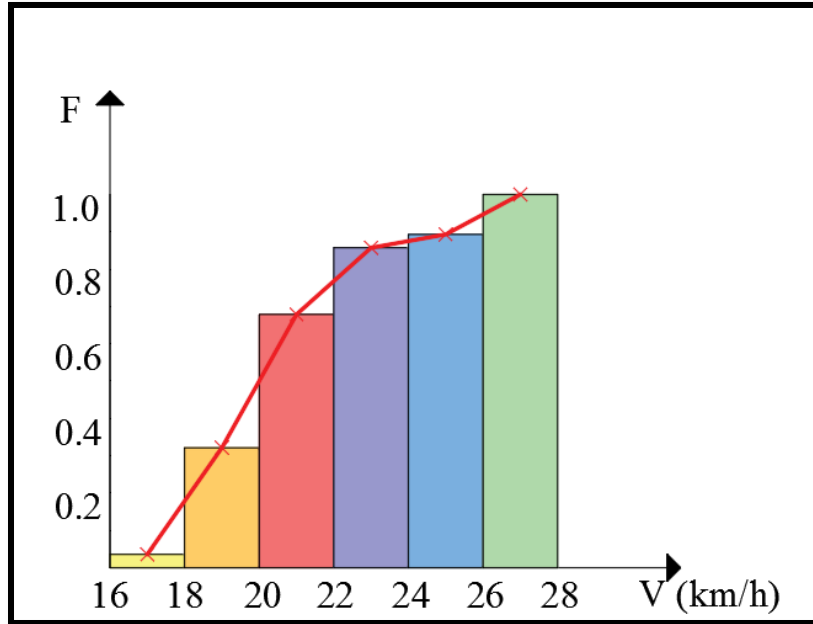


Figura 19: Curva de velocidad deseada dentro de los carriles del óvalo
 Fuente: Elaboración propia

4.3.5. Reductores de velocidad

En secciones cortas, como en los giros o curvas, es preferible el uso de los reductores de velocidad (PTV, 2012). En el caso del óvalo en estudio, se ha definido tramos de reducción de velocidad en los accesos a la rotonda y salidas de esta. En la configuración del software, se ha empleado la distribución de velocidad por defecto de 20 km/h.

4.4. Chequeo de Errores

En esta etapa, las grabaciones del tráfico ayudan a compatibilizar el escenario real con el creado. Específicamente, se revisa que las configuraciones empleadas son razonables y que estas corresponden a la circulación realizada en la zona de estudio. Así mismo, se revisa que todos los datos de entrada correspondan a la colección de los datos.

4.5. Calibración

En esta etapa se verifica que el modelo creado pueda predecir satisfactoriamente las condiciones de circulación. Esto se hace mediante el ajuste de los parámetros de Wiedemann hasta lograr representar el comportamiento de los conductores locales y la igualdad de los parámetros de desempeño. Seguidamente, se evaluó el modelo con los parámetros de calibración elegidos. Para ello, fue necesario realizar las múltiples corridas y ajustar los parámetros de simulación como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13: Configuración de los parámetros de simulación y evaluación

Características	Descripción
Actualización del sistema	Intervalos fijos de 0.1 seg.
Generación de vehículos	Forma aleatoria
Características conductor-vehículo	En base a funciones de distribución
Warmup period	10min
Tipo de asignación	Estática (proporción de giros)
Interacción entre vehículos	Modelo de Wiedemann
Parámetros para calibrar y validar	Parámetros del modelo de Wiedemann
Parámetros medidos para calibrar y validar	Tiempos de viaje
Múltiples simulaciones	20 simulaciones para cada grupo de datos
Grado de confiabilidad	95%

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma, se han evaluado repetidamente diversos escenarios con diferentes parámetros de comportamiento de los conductores. Los parámetros con los que se logró la prueba de hipótesis mostrada más adelante son los siguientes:

$ax = 1$: distancia promedio deseada entre vehículos detenidos
 $bx_add = 3$: valor aditivo de distancia de seguridad
 $bx_mult = 5$: valor multiplicativo de distancia de seguridad

La igualdad de los valores medidos y procesados se evalúa mediante prueba de hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$. La herramienta usada es randomization test. Esta toma muestras aleatorias de dos datos,

una de cada grupo, y evalúa la diferencia entre ellas. La diferencia de medias debe estar en la gráfica del 95% de confiabilidad a dos colas para que el modelo esté calibrado.

Para el caso de este estudio, se muestra en la figura 20 la prueba de hipótesis nula realizada para el tiempo de viaje de flujo entrante por la Av. Mariano Cornejo. Como datos de entrada, se han tomado 14 datos corridos por el software Vissim y 51 datos medidos en campo. Como resultado, se puede observar que, con una muestra de 10 000 datos aleatorios diferentes, la diferencia de medias es 0.11. Este valor está dentro del área que acumula el 95% de confiabilidad y el modelo es aceptado como calibrado.

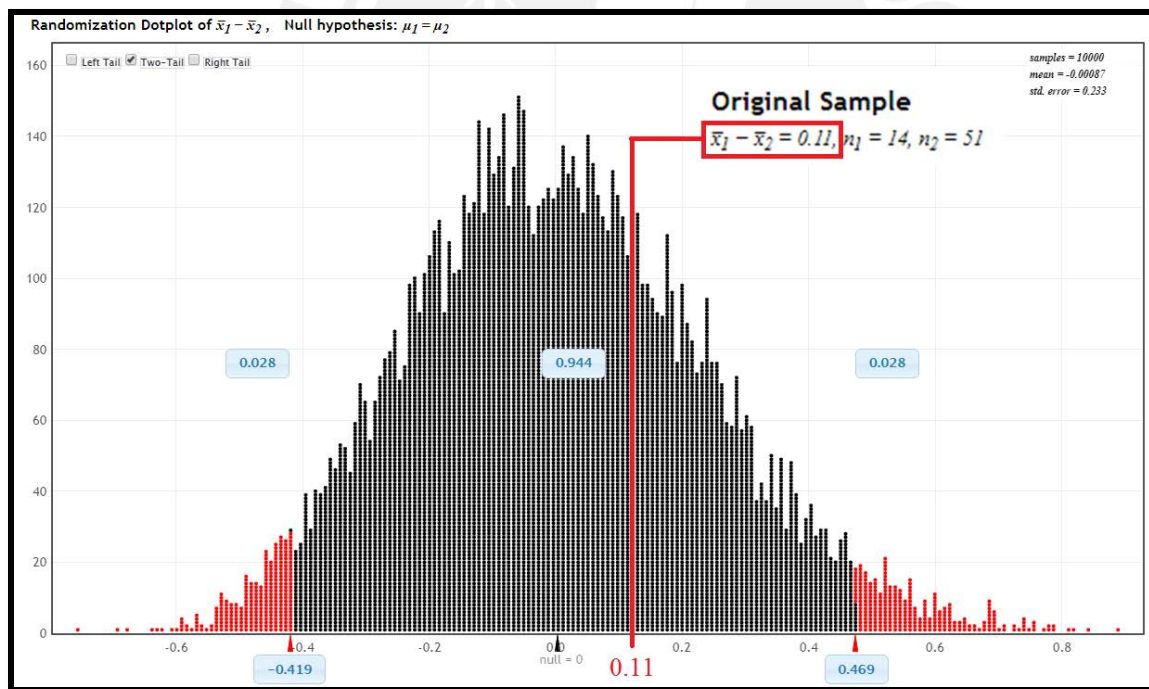


Figura 20: Hipótesis nula de diferencia de medias para la calibración del modelo
Fuente: Elaboración propia

4.6. Validación del Modelo

En el modelo creado anteriormente con el comportamiento vehicular calibrado, se ha ingresado los flujos vehiculares y peatonales recolectados en el segundo día de toma de datos. El fin de esto es corroborar que el modelo creado puede simular con 95% de confiabilidad el comportamiento de la red en la rotonda. Con los mismos tiempos de viaje detallados en la validación, se comparó mediante pruebas de hipótesis nulas que el parámetro medido en campo sea igual al estimado por el Software Vissim. Como se muestra en la figura 21, para el tiempo de viaje en Mariano Cornejo, la diferencia de medias es de 0.07 segundos. Ubicando este valor en la distribución creada, se nota que está dentro de la curva de aceptación con 95% de probabilidad.

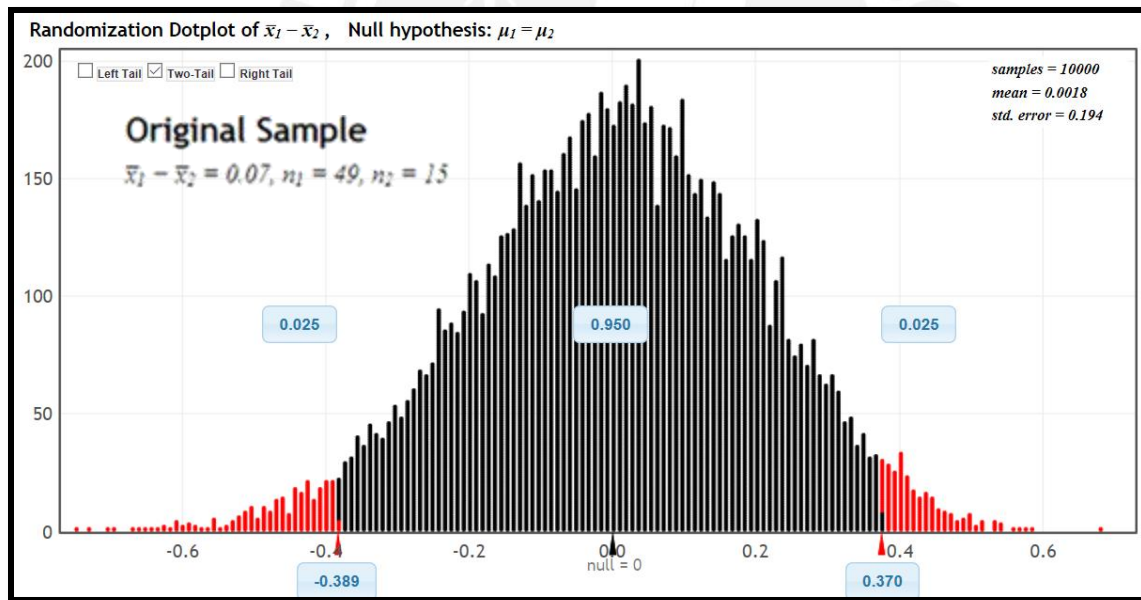


Figura 21: Hipótesis nula de diferencia de medias para la validación del modelo
Fuente: Elaboración propia

5. Rediseño Geométrico de la Intersección

En este capítulo, se presenta el detalle del rediseño geométrico propuesto. Con el diagnóstico de la intersección realizado en el capítulo anterior, se han propuesto lineamientos guías que ayudarán a la toma de decisiones según prioridad del usuario. El procedimiento empleado ha sido el propuesto por Austroads (2011). Como ya se mencionó antes, este es iterativo, Por este motivo, se ha comentado en cada sección las asunciones realizadas. Al final del capítulo, se muestran vistas del estado actual de la intersección y el diseño final propuesto.

5.1. Lineamientos de Intervención de la Zona de Estudio

En la revisión de guía de diseño de rotondas, se notó que las medidas y criterios propuestos representaban facilidades para un tipo de usuario y perjuicios para otro. Es por ello que, durante el rediseño geométrico, se deberán evaluar distintas propuestas bajo diferentes perspectivas y seleccionar la adecuada de acuerdo a las prioridades. Después del diagnóstico y entrevistas se han establecido lineamientos de intervención de la zona de estudio presentados a continuación en la figura 22.

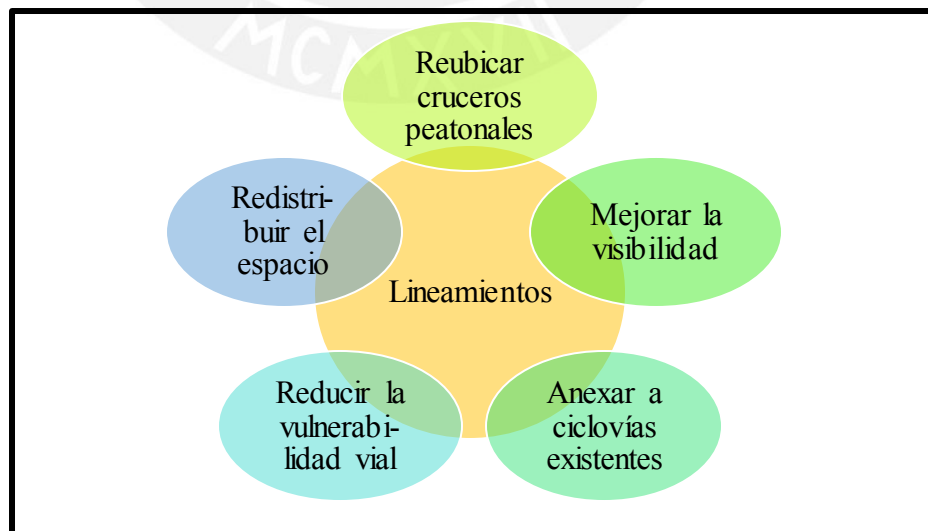


Figura 22: Lineamientos del diseño geométrico propuesto
Fuente: Elaboración propia

5.2. Elección de Tipo de Intersección

Para decidir el tipo de intersección a diseñar, se ha considerado la proporción de trayectorias que se realizan en la zona de estudio. En la tabla 14, se muestra la composición porcentual de las trayectorias asumiendo que no existe la rotonda. Por la geometría atípica de la intersección, el porcentaje de vehículos que irían de frente sería poco relevante, 1.6%. Así mismo, como se puede observar, los giros en un solo sentido (derecha) y a la izquierda serían aproximadamente iguales. Sin embargo, para lograr mejores niveles de desempeño, se optó por rediseñar el óvalo de modo que se reduzcan los puntos de conflicto que representan el 50.9% de trayectos.

Tabla 14: Composición de trayectorias en el óvalo Pedro Ruiz Gallo

Giros en U	0.5%
Giros derecha	47.0%
Giros izquierda	50.9%
De frente	1.6%

Fuente: Elaboración propia

Para el rediseño geométrico del óvalo Pedro Ruiz Gallo, se ha seguido la metodología propuesta por Austroads (2011) ya que presenta una perspectiva más inclusiva de los usuarios. Así mismo, se ha analizado en cada secuencia los lineamientos sugeridos en las guías *Design Manual for Roads and Bridges* (Standards for Highways UK, 2007) y *Report 672 Roundabouts: An informational guide* (National Cooperative Highway Research Program, 2010). A continuación, se explica la metodología, justificación y diseño adoptado.

5.2.1. Criterios generales de diseño de la rotonda

5.2.1.1. Vehículo de diseño y radios de giro

Durante las horas de grabación y la inspección diaria de campo, se observó que todo el transporte es de uso privado. Así mismo, se observó que los vehículos de mayores dimensiones que transitan

por la intersección son los camiones de concreto. Se ha revisado catálogos de vehículos de este tipo y se han seleccionado las dimensiones típicas, las cuales se presentan en las figuras 23 a y b.

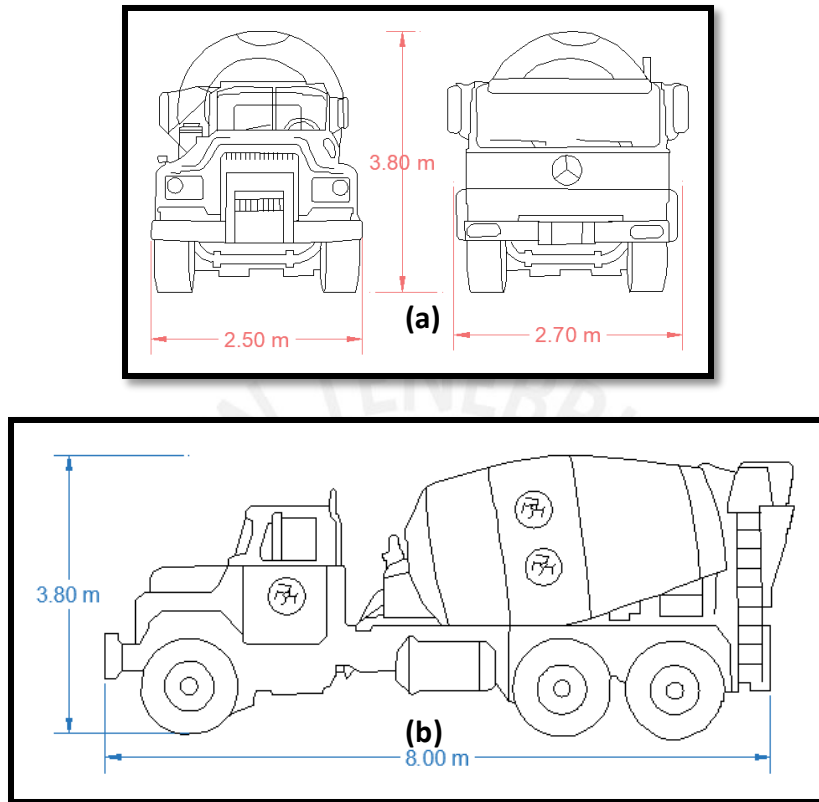


Figura 23a: Vista frontal de camión de concreto típico

Figura 23b: Vista perfil de camión de concreto típico

Fuente: Ready Mix Colombia (2015)

Con el fin de estandarizar el vehículo, se han revisado guías de vehículos de diseño que han estudiado los radios de giro de los vehículos. De acuerdo a la muestra de camiones observados en la rotonda, se ha optado por elegir el camión de una sola unidad (SU) presentado en la guía *Report 505: Review of Truck Characteristics as factors in Roadway Design* (National Cooperative Highway Research Program, 2003). Como se observa en las figura 24, el camión SU de longitud 9.2 metros y ancho 2.4 metros se ajusta a las dimensiones de los camiones observados en campo. Así mismo, en el reporte se explica que se ha estandarizado el vehículo de acuerdo a una muestra

de camiones cuya composición es principalmente camiones de una sola unidad de dos ejes o tres ejes.

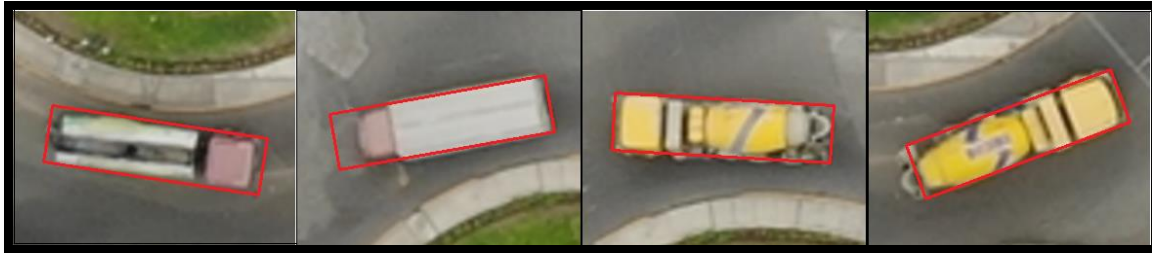


Figura 24: Estandarización de vehículo de diseño
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, AASHTO (2001) propone tres radios de giro para el camión SU que definirán el diseño geométrico: radio mínimo de giro de diseño (12.80 m), radio de giro de eje central (11.60 m) y mínimo radio interno (8.60 m), los cuales se muestran en la figura 25a. En dicho estudio, se ha minimizado la influencia de la velocidad del vehículo y del ángulo de deslizamiento de las llantas debido a la velocidad menor a 15 kph en una situación de radios mínimos de giro. En la figura 25b, se muestran las dimensiones finales elegidas para el vehículo de diseño del óvalo de este estudio.

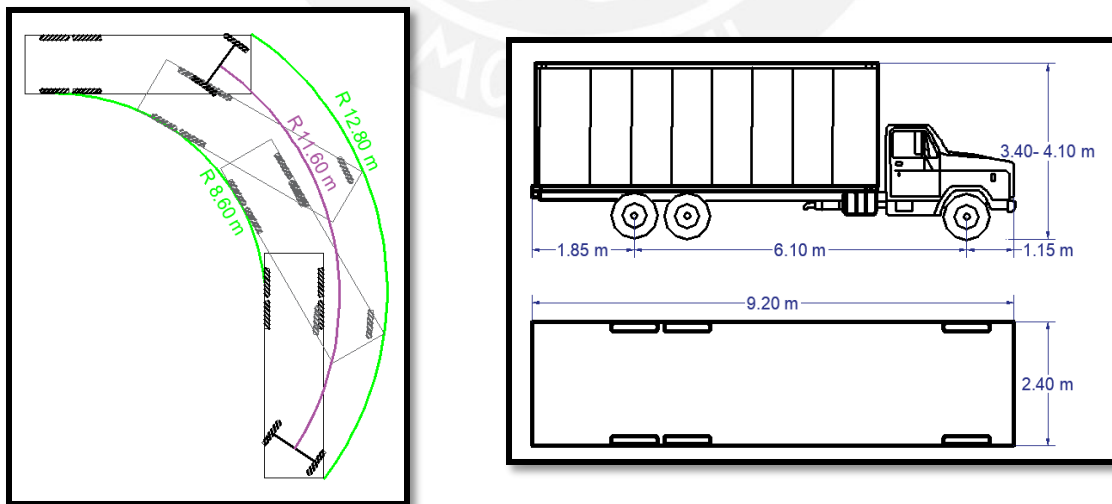


Figura 25a: Mínimos radios de giro de vehículo SU
Figura 25b: Dimensiones estándar de vehículo SU
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (2001)

5.2.1.2. *Número de carriles de entrada, salida y circulación*

En la inspección en campo, se observó las condiciones de la circulación. Durante las horas de estudio, no se observó condiciones críticas o relevantes de saturación en los accesos de la rotonda a excepción de los correspondiente a la Av. Del Río y Chávez.

Como complemento a esta información visual, se ha calculado la capacidad y grado de saturación de cada acceso. Se ha optado por evaluar la capacidad mediante un método sencillo, como lo son los empíricos, además de aquellos que no involucran datos geométricos precisos. Esto se debe a que, en el óvalo evaluado, los espacios muertos permiten que las maniobras vehiculares no se realicen con deflexiones y radios definidos.

Se tomó como referencia el modelo propuesto por Brilon, Wu & Bondzio (Brilon, Wu, & Bondzio, 1997), el cual se obtuvo a partir de estudios empíricos en rotondas alemanas. Los autores sugieren el modelo de regresión lineal, mostrado en la fórmula 5, con parámetros calibrados de acuerdo al número de carriles de circulación y entrada mostrados en la tabla 15. Los parámetros se han obtenido a partir de ajustes de mediciones de flujos vehiculares actualizados cada minuto durante períodos de saturación.

$$C_e = A + B * Q_c \quad (6)$$

C_e : capacidad en una vía de acceso *veh/h*

A y B: parámetros empíricos de la regresión lineal presentados en la tabla 14

Q_c : flujo que circula frente al acceso *veh/h*

Tabla 15: Parámetros del modelo empírico alemán de capacidad de rotondas

Número de carriles		A	B
Anillo	Entrada		
3	2	1409	0.42
2	2	1380	0.5
2 o 3	1	1250	0.53
1	1	1218	0.74

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del óvalo Pedro Ruiz Gallo, se han definido los flujos que circulan frente a los 6 accesos a partir de la matriz Origen-Destino de la calibración. Así mismo, se definieron los parámetros A y B del modelo empírico alemán según el número de carriles efectivos en cada acceso. Los resultados del cálculo de capacidad se muestran en la tabla 16.

Tabla 16: Cálculo de capacidad y saturación en los accesos del óvalo Pedro Ruiz Gallo según el método empírico alemán

Acceso	Número de carriles	Flujo de circulación Qc (veh/h)	A	B	Capacidad (veh/h)	Flujo entrante Qe (veh/h)	Saturación
Mariano Cornejo	2	447	1380	0.50	1156	545	0.47
Del Rio	1	425	1250	0.53	1025	495	0.48
Pedro Ruiz Sur	1	1059	1250	0.53	689	362	0.53
Chavez	2	1281	1380	0.50	740	655	0.89
Loreto	2	1083	1380	0.50	838	255	0.30
Pedro Ruiz Norte	1	1015	1250	0.53	712	35	0.05
# carriles del anillo	2						

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 16, los resultados son compatibles con las observaciones del tráfico en campo. Las avenidas Pedro Ruiz Sur y Chávez son las más saturadas. A partir de estos cálculos, se tomó las decisiones de los números de carriles para el diseño geométrico.

Después del análisis de capacidad de la rotonda, se identificó que no hay necesidad de ampliar carriles debido a los niveles aceptables de saturación. En la Av. Chávez, a excepción, se considerarán otras medidas para mitigar la congestión vehicular ya que esta se atribuye principalmente a los puntos de conflicto existentes como se muestra en la figura 26. Con respecto a la Av. Pedro Ruiz Sur, se mantendrán los dos carriles y se intervendrán el espacio que ocupan los estacionamientos en la berma que limitan la circulación a un solo carril. Finalmente, pese a las recomendaciones para mantener la continuidad del número de carriles en el anillo y las aproximaciones sin importar la capacidad, se mantendrá un solo carril en la Av. Del Río. Esto se

debe a que el flujo peatonal y vehicular en esta vía son altos. El objetivo principal es que las distancias de cruce de los alumnos del colegio aledaño sean las mínimas posibles.

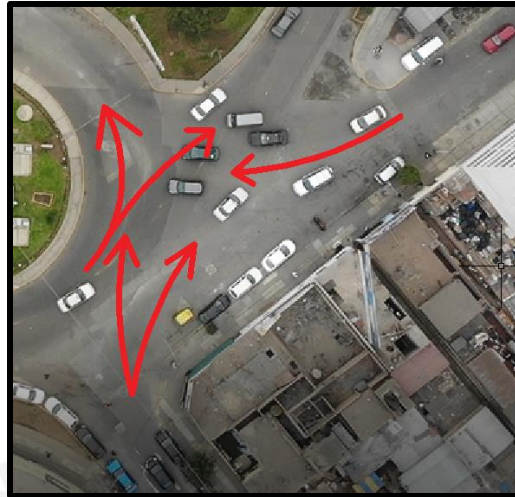


Figura 26: Flujos en conflicto para los vehículos entrantes por la Av. Chávez
Fuente: Elaboración propia

En campo, se observó que algunas trayectorias dentro de la rotonda se realizan en más de dos carriles. Para evitar esto, se limitará el espacio vehicular mediante mobiliario vial y otros elementos explicados más adelante. Se muestra la figura 27 como resumen del número de carriles que se adoptarán en la intersección.

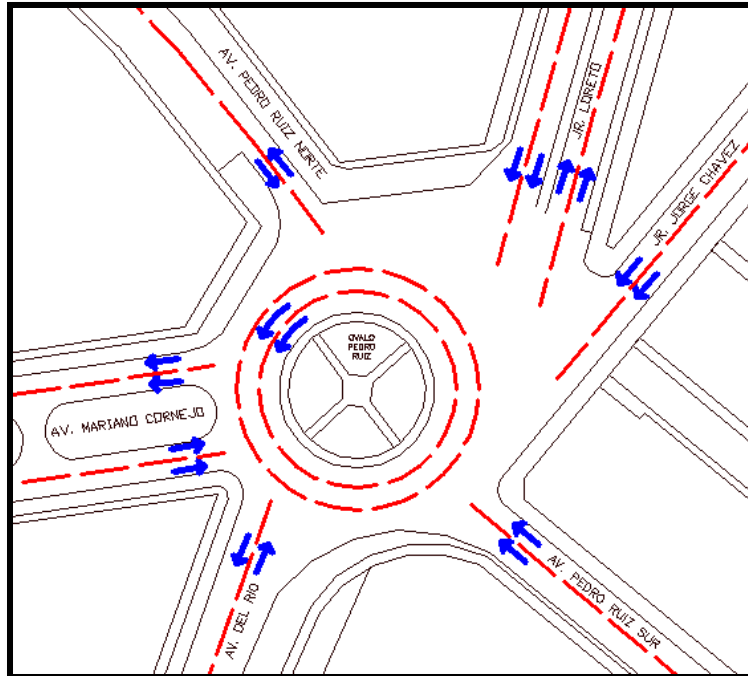


Figura 27: Distribución de carriles y sentidos en el óvalo Pedro Ruiz Gallo
Fuente: Adaptado de Plano de catastro Lima (2013)

5.2.1.3. *Longitud de cola en aproximaciones*

Mediante las grabaciones con dron durante el período de tiempo con mayor saturación, se identificó el instante en el que existe una mayor longitud de cola en las aproximaciones. La vía crítica es la Av. Chávez, lo cual coincide con el análisis de capacidad previo. La longitud de cola máxima observada es de 30.17 metros como se muestra en la figura 28. En ninguna de las aproximaciones, se han observado longitudes de colas que representen alguna consideración adicional para el rediseño geométrico. Sin embargo, en adelante, se analizará la ubicación de los cruces peatonales para que no sean obstruidos.



Figura 28: Longitud de cola máxima observada en todas las aproximaciones
Fuente: Elaboración propia

5.2.1.4. *Necesidades especiales de peatones*

Uno de las prioridades de este trabajo es implementar facilidades en la rotonda y los cruces peatonales para el desplazamiento peatonal. Con ayuda de las grabaciones a cierta altura, ha sido posible construir una tendencia en las líneas de movimiento de las personas. En la figura 29, se muestran las rutas elegidas por los peatones. Se ha hecho una distinción por color de acuerdo al grado de ocurrencia.

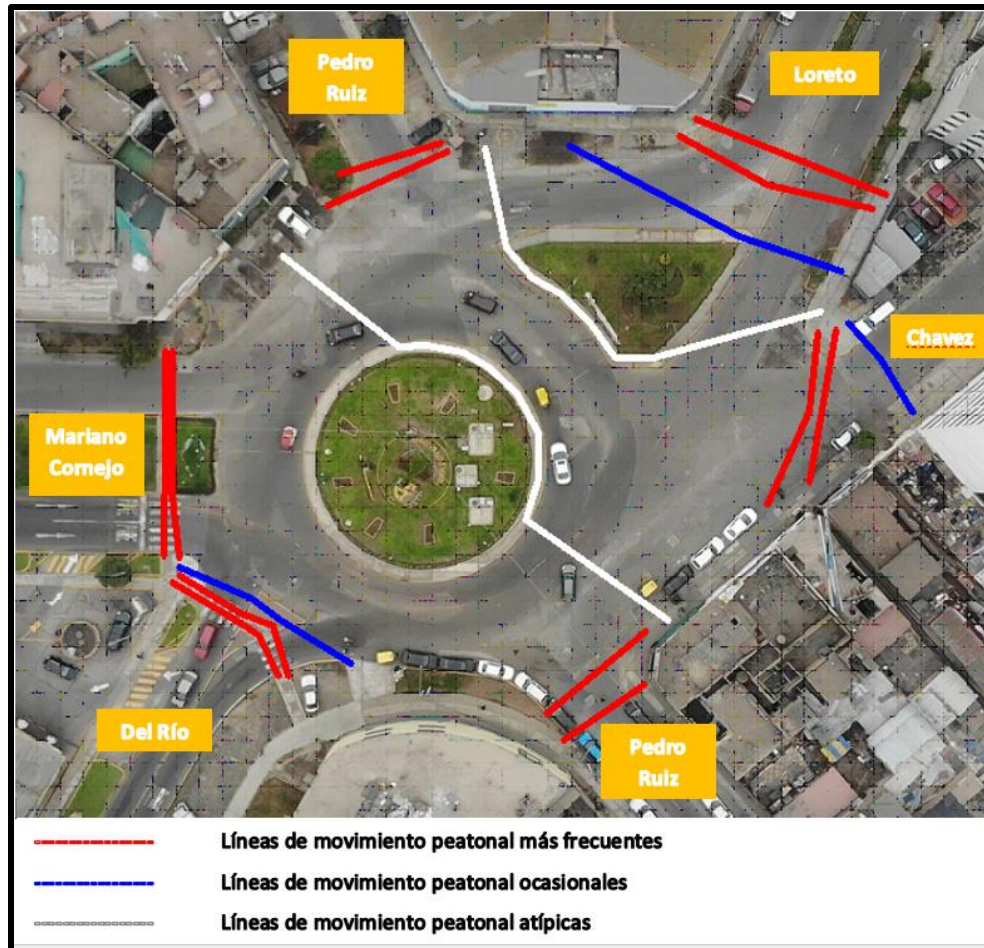


Figura 29: Líneas de movimiento peatonal
Fuente: Elaboración propia

Los cruces por Mariano Comejo y Del Río siguen tendencias parecidas: obedecen a la orientación de los cruceros peatonales. Esto se debe a que la infraestructura existente ofrece facilidades como rampas en su desplazamiento. Así mismo, estos se encuentran adecuadamente señalizados y demarcados en el pavimento. Por otro lado, los desplazamientos en la Av. Chávez y Av. Loreto son mucho más dispersos debido a que no se ha direccionado el tráfico peatonal. El tránsito se da de forma diagonal para acortar las distancias de cruce o se hace por la parte más alejada de la rotonda en la que la velocidad no representa un peligro. En las líneas de movimiento, se puede observar también que hay rutas atípicas que cruzan el óvalo. Por su carácter poco frecuente, no han sido consideradas en la construcción del modelo en Vissim.

En el modelo final propuesto, no se han obedecido todas las líneas de movimiento observadas. Esto se debe a que, de acuerdo con la nueva geometría, las distancias más cortas y seguras para cruzar estarán más próximas al nuevo diámetro inscrito de la rotonda.

5.2.1.5. *Necesidades especiales de ciclistas*

En la zona de intervención, no existe ninguna facilidad para los ciclistas. Sin embargo, existe una discontinuidad entre dos ciclovías importantes: Av. Mariano Cornejo y Av. Del Río como se muestra en la figura 30. Por tal motivo, existe demanda de infraestructura para ciclistas. Por ello, es necesario considerar que las propuestas en esta zona deben extender e integrar la red de ciclovías existente. Así mismo, se ha tomado en cuenta que la percepción de estos usuarios en la zona es de inseguridad por los giros de los vehículos alrededor de la rotonda. La propuesta del rediseño es implementar las ciclovías de forma segregada y compatible con los flujos peatonales y vehiculares en conflicto.

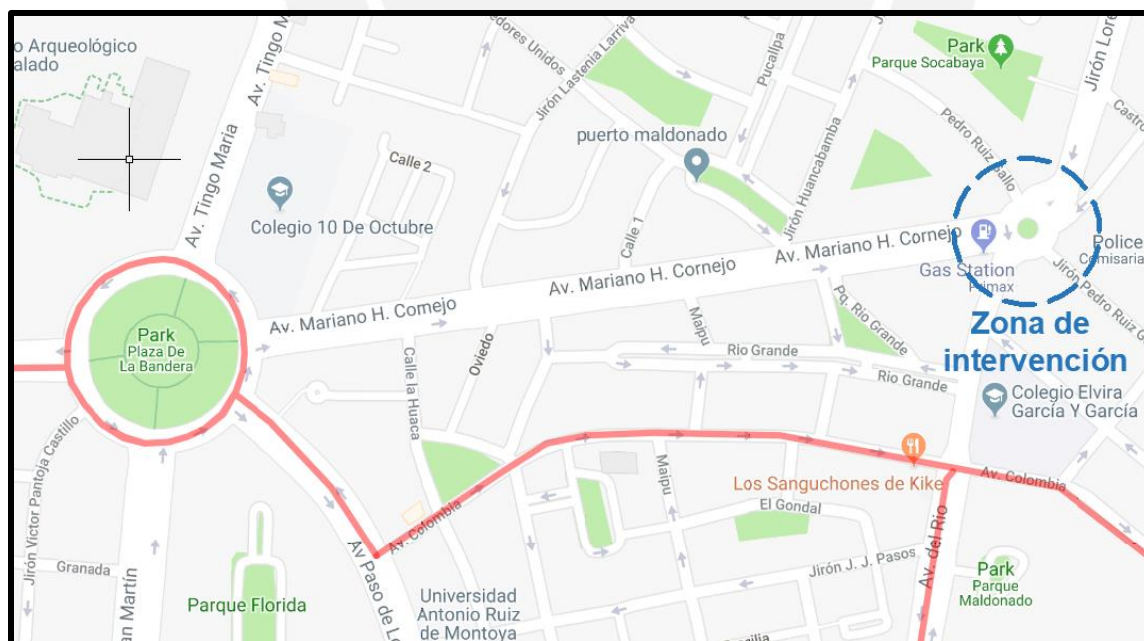


Figura 30: Ciclovías existentes

Fuente: Adaptado de <https://diariocorreo.pe/edicion/lima/mapa-de-ciclovias-rutas-en-lima-para-ir-en-bicicleta-805689/>

Revisión: 25 de agosto de 2018

5.2.1.6. *Necesidades especiales de conductores*

Se ha identificado necesidades de dos tipos en la intersección como se muestra en la figura 31. Los accesos vehiculares al grifo se encuentran en las avenidas Mariano Cornejo y Del Río. Es indispensable marcarlos como zonas despejadas. Sin embargo, no se ha considerado como zonas que contribuyen con el volumen de tráfico. Para el rediseño geométrico, también se ha considerado la ubicación de los estacionamientos al lado de la calle. Se asume que estos serán temporales y para uso de quienes ingresan o salen del colegio aledaño. En la propuesta final, se ha asignado el espacio para estacionamientos como el restante después de anchos de vereda, de ciclovías y carriles de circulación vehicular.

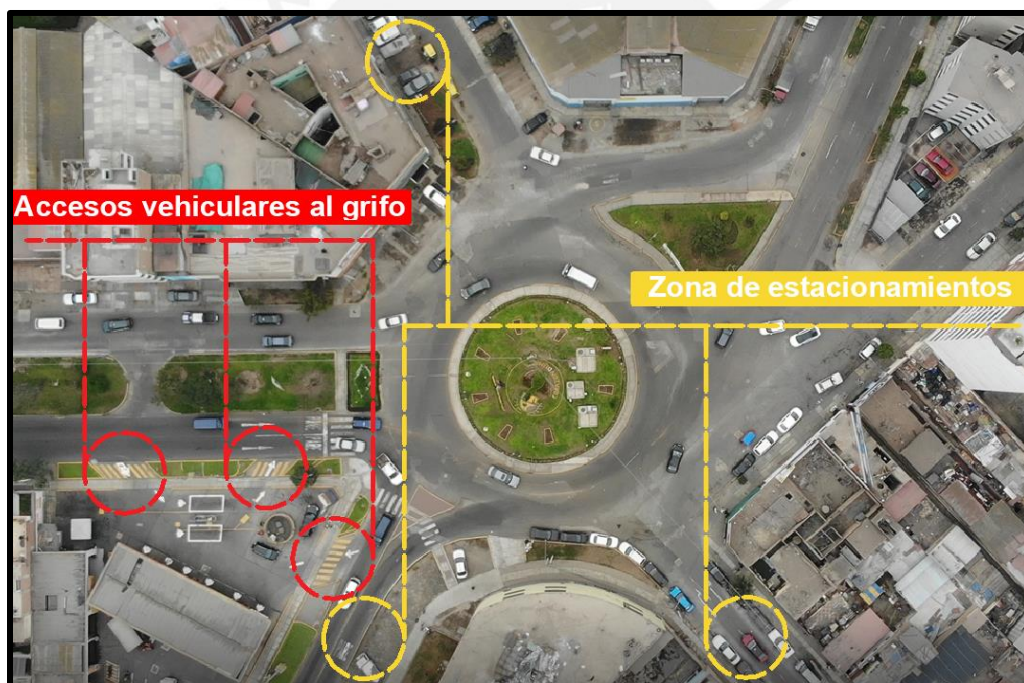


Figura 31: Ubicación espacial de necesidades de conductores
Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Limitaciones de la zona de estudio

5.2.2.1. *Actividades realizadas*

La zona de estudio es un área urbana que pertenece a los distritos de Pueblo Libre y Breña. Los usos son predominante residencial; sin embargo, también existen servicios como el grifo Prímax

y el colegio Elvira García García. Como ya se mencionó en las necesidades de los conductores, este hecho ha determinado la ubicación de los accesos al grifo y la ubicación de los estacionamientos.

5.2.2.2. *Uso de estacionamiento*

Como se mencionó antes, debido a la cercanía con un colegio, se ocupan las calles aledañas con vehículos que esperan a la entrada y salida del colegio. Como la mayoría de las calles no tiene delimitado los espacios para cada usuario, las bermas son ocupadas por vehículos. Esto obstruye la visibilidad y la circulación de todos los usuarios. En la propuesta, se ha considerado el uso de los estacionamientos, pero como prioridad secundaria.

5.2.2.3. *Uso del espacio público*

La dinámica social en la zona es casi totalmente de desplazamiento. Al medio de la isla central se han habilitado juegos recreativos infantiles. Sin embargo, al ser una rotonda pequeña, la percepción de los usuarios es de inseguridad. Así mismo, este espacio público no es accesible y es un espacio muerto debido a la proximidad con los flujos vehiculares. En el rediseño geométrico, se ha considerado que los usuarios de la zona prefieren no ocupar este espacio sino solo el que se encuentra fuera de la rotonda.

5.2.3. *Área de rotonda y alineamientos*

Una vez definidas las prioridades, se empezó a distribuir el espacio para cada tipo de usuario. En la figura 32, se muestra un esquema del área de la rotonda. La línea verde está ubicada a una distancia del límite de propiedad de 2.00 metros en la Av. Del Río y de 1.80 metros en las demás

vías. Esta línea demarca el espacio prudente para la circulación peatonal. Así mismo, con la línea naranja se ha demarcado el espacio para mobiliario vial de ancho 0.50 metros. El área remanente es el área disponible para la rotonda vehicular y de ciclistas.

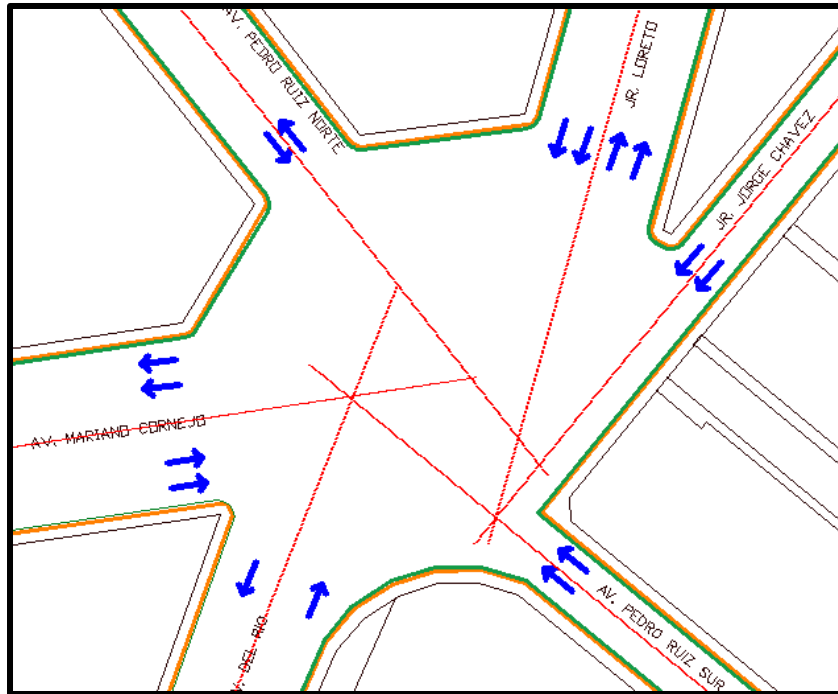


Figura 32: Espacio libre para la rotonda y alineamientos
Fuente: Elaboración propia

En la figura, también se muestra el alineamiento de las vías. Las Av. Mariano Cornejo, Del Río y Chávez se intersecan aproximadamente en el centro del área libre de la rotonda. A partir de estas, se decidirá la ubicación más favorable de la isla central de la rotonda.

5.2.4. Diámetro de isla central y ancho de carriles de circulación

Como se revisó en las guías de diseño, la velocidad de diseño nos determinará el diámetro de la isla central. En esta intersección, se espera que las trayectorias de giro se realicen con velocidades deseadas de alrededor de 25 km/h. A partir de las grabaciones, se construyó una curva de

distribución de velocidades con el diámetro actual de la isla central. Como la figura 33 muestra velocidades satisfactorias, se decidió mantener su dimensión en 26 metros.

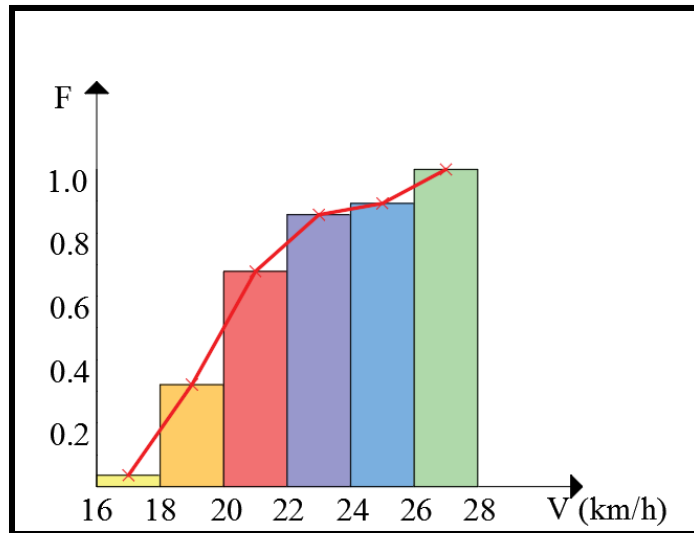


Figura 33: Curva de velocidad deseada dentro de los carriles del óvalo
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, con las grabaciones, también, se trazó el desplazamiento del vehículo de diseño y se determinó el ancho de carril necesario para que este pueda realizar su trayectoria, como se muestra en la figura 34. Para el rediseño geométrico, se ha empleado el valor de 4 metros. Así mismo, se verificó que este valor sea suficiente para realizar los radios de giro interno y externo presentados anteriormente.

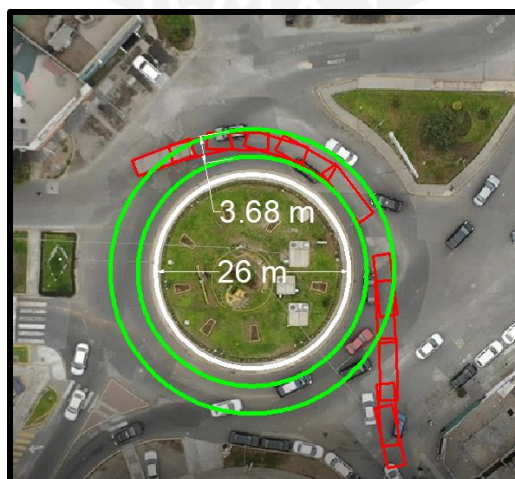


Figura 34: Espacio barrido por el vehículo de diseño en la trayectoria real
Fuente: Elaboración propia

5.2.5. Ubicación de isla central en el espacio

Una vez definidas las dimensiones de la rotonda, se procedió a ubicar tentativamente la isla central. Se ha seguido los criterios presentados por las guías revisadas. De este modo, se obtuvieron considerables modelos propuestos. En la figura 35, se muestra algunos de ellos. Se han descartado y elegido trazos de acuerdo a la proximidad segura en los accesos, los ángulos de deflexión, la visibilidad, las curvas de entrada y salida, y demás criterios revisados en las guías.

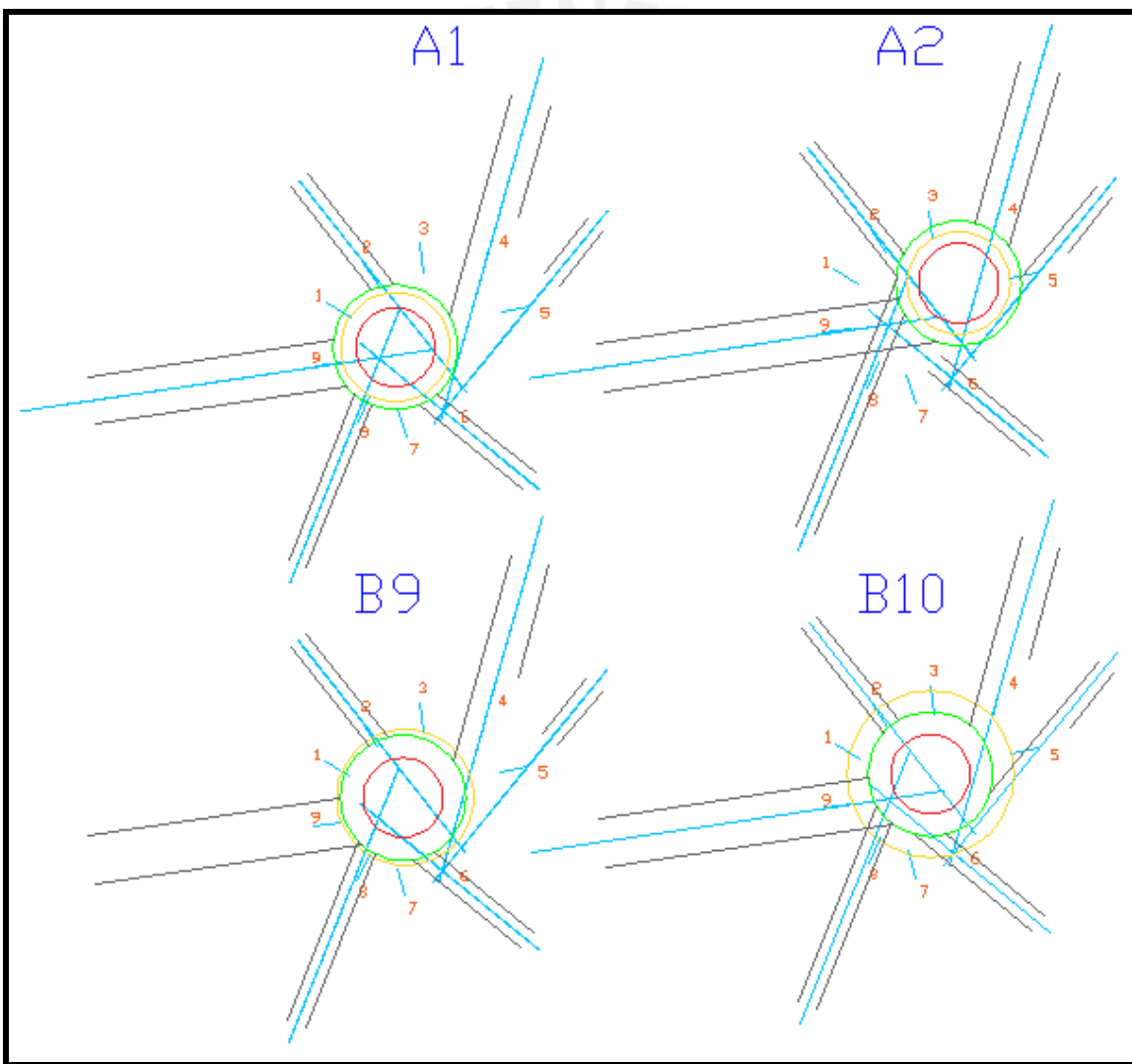


Figura 35: Modelos propuestos de ubicación de la isla central
Fuente: Elaboración propia

5.2.6. Curvas de entrada y salida

En los modelos propuestos, se han trazado las curvas de entrada y salida. Para esto, se ha considerado los radios de giro interior y exterior descritos por el vehículo de diseño como 9 y 13 metros, respectivamente. En la figura 36, se muestra el trazo en un acceso a la rotonda. Con los modelos propuestos anteriormente, se ha verificado que la ciclovía y la guarda de esta, no sea invadida por la trayectoria vehicular.

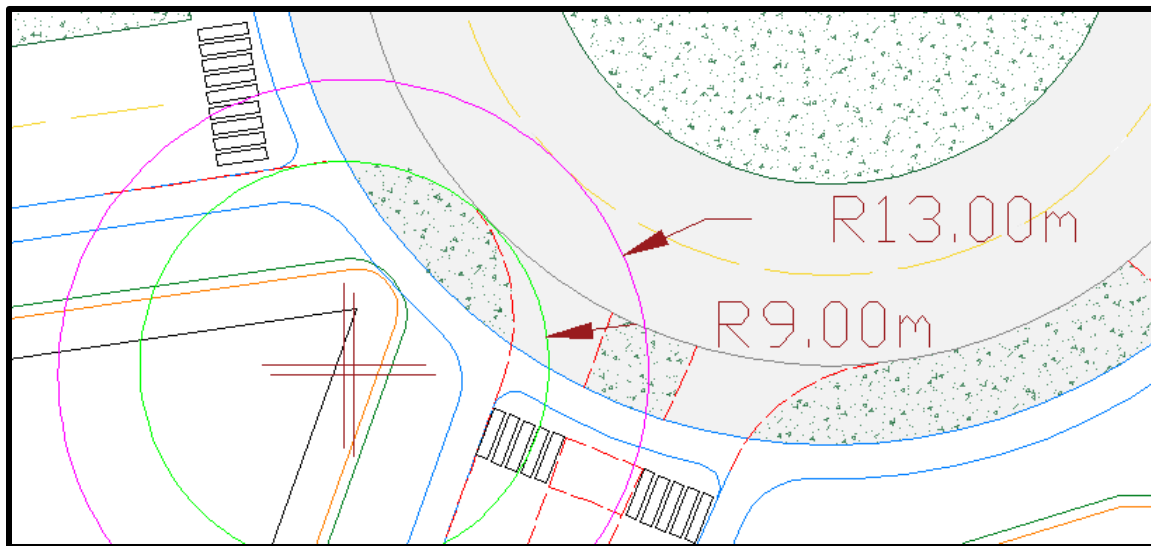


Figura 36: Trazo de curva de entrada para vehículo de diseño tipo SU
Fuente: Elaboración propia

5.2.7. Plano del óvalo actual

En la figura 37, se muestra una vista del plano actual de la intersección. Esta es una referencia para evaluar las mejoras que se han implementado. El plano a escala está presentado en EL Anexo A de esta tesis.

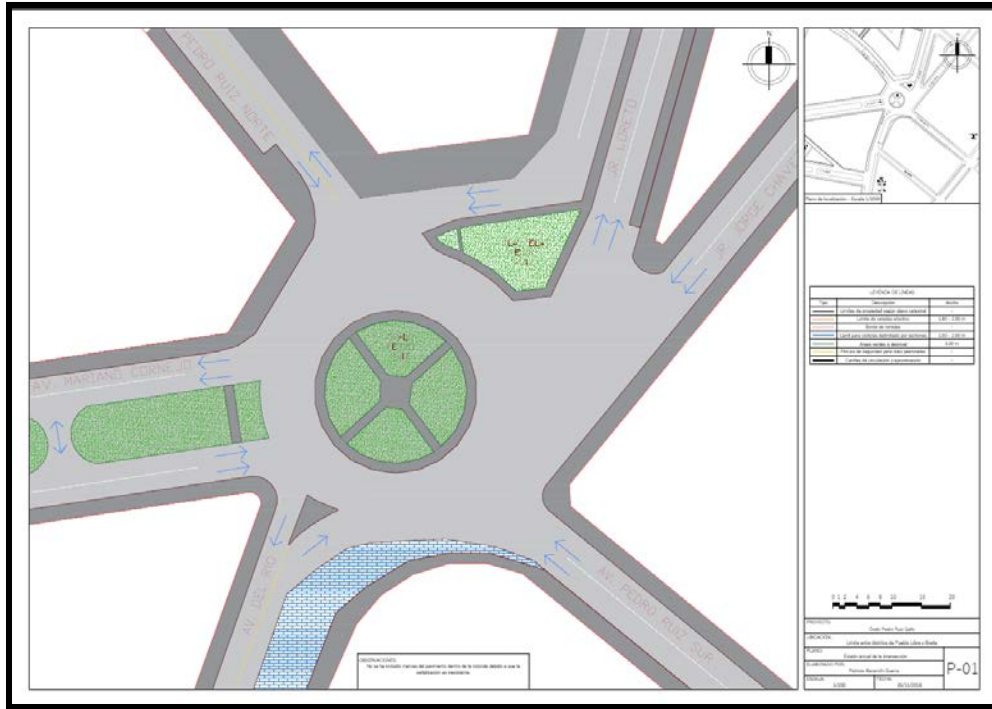


Figura 37: Vista del plano de estado actual de la intersección
Fuente: Elaboración propia

5.2.8. Propuesta final de rediseño geométrico

Con la secuencia presentada en este capítulo, se ha rediseñado geoméricamente el óvalo. Pedro Ruiz Gallo. En cada ítem se ha presentado las consideraciones relevantes del diseño. Así mismo, es importante mencionar que, como lo proponían las guías revisadas, este procedimiento es iterativo y hay una relación de interdependencia entre todos los elementos y criterios. En la figura 38, se muestra una vista del plano final de propuestas de mejora. Se ha complementado las propuestas con la señalización adecuada normada por el Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2016). Este plano está presentado en el Anexo B de esta tesis.

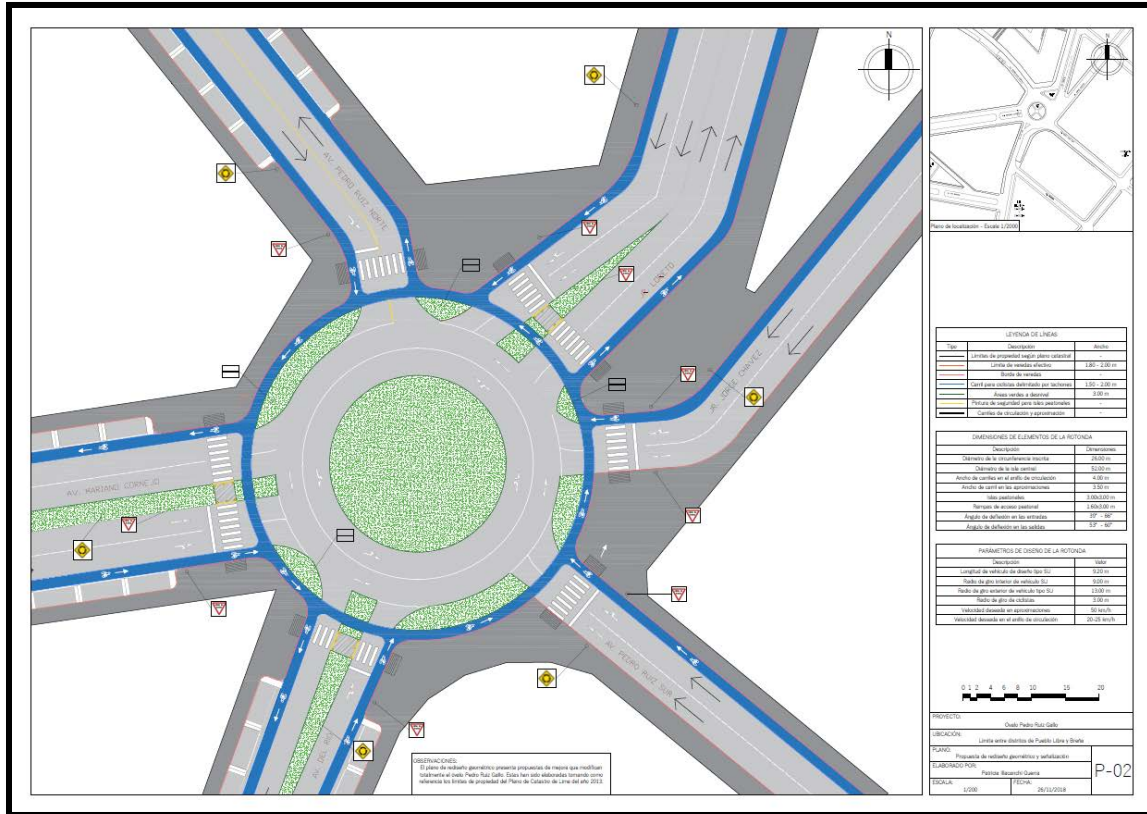


Figura 38: Vista del plano propuesto de rediseño geométrico de la intersección
Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en las tablas 17 y 18, se resumen los parámetros que han direccionado el rediseño geométrico y las dimensiones finales de la rotonda.

Tabla 17: Parámetros de rediseño geométrico del óvalo Pedro Ruiz Gallo

PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA ROTONDA	
Descripción	Valor
Longitud de vehículo de diseño tipo SU	9.20 m
Radio de giro interior de vehículo SU	9.00 m
Radio de giro exterior de vehículo tipo SU	13.00 m
Radio de giro de ciclistas	3.00 m
Velocidad deseada en aproximaciones	50 km/h
Velocidad deseada en el anillo de circulación	20-25 km/h

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Dimensiones finales de los elementos del óvalo Pedro Ruiz Gallo

DIMENSIONES DE ELEMENTOS DE LA ROTONDA	
Descripción	Dimensiones
Diámetro de la circunferencia inscrita	52.00 m
Diámetro de la isla central	26.00 m
Ancho de carriles en el anillo de circulación	4.00 m
Ancho de carril en las aproximaciones	3.50 m
Islas peatonales	3.00x3.00 m
Rampas de acceso peatonal	1.60x3.00 m
Ángulo de deflexión en las entradas	39° - 66°
Ángulo de deflexión en las salidas	53° - 60°

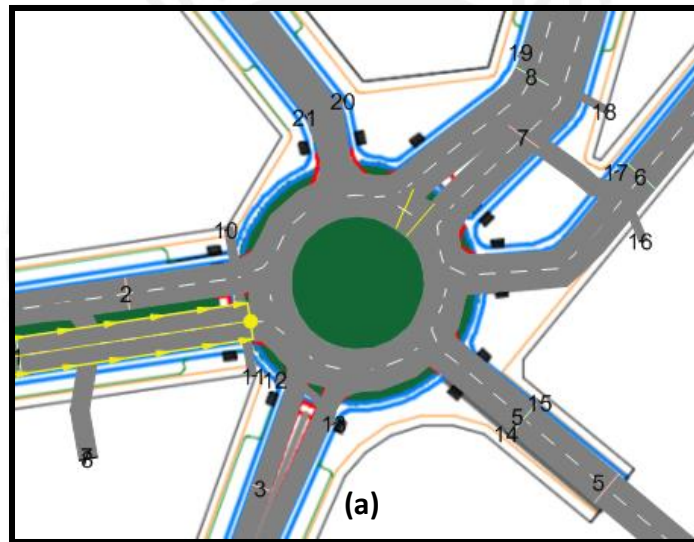
Fuente: Elaboración propia



6. Análisis y discusión de resultados

6.1. Análisis de Impacto Vial de Propuestas de Mejora Mediante Modelo de Tráfico

El software Vissim ofrece una interfaz gráfica y resultados numéricos que permiten estudiar las condiciones de circulación en un entorno simulado que toma como base los parámetros psicofísicos configurados en la calibración del modelo. Se ha modelado previamente las nuevas condiciones geométricas y los flujos de usuarios recolectado durante la calibración, como se muestra en la figura 39 a y b, y se ha evaluado bajo los mismos parámetros de evaluación enunciados.



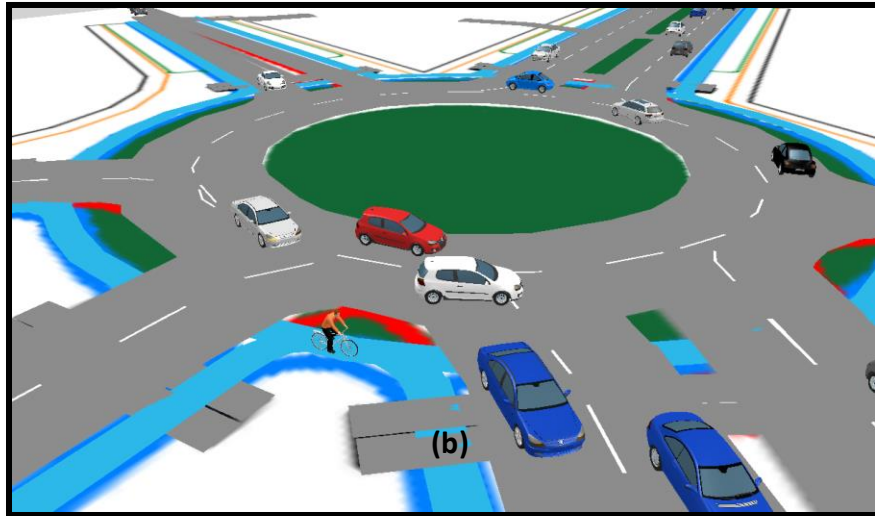


Figura 39a: Vista en planta de la propuesta de rediseño creada en Vissim

Figura 39b: Simulación de propuesta de rediseño creada en Vissim

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de este análisis se han enfocado en los tiempos de viaje de los usuarios, el desempeño de la red vehicular y el análisis específico nodos. Estos últimos, han sido definidos en las aproximaciones a la rotonda como se muestra en las figuras 40 a y b. El objetivo de esto es analizar cómo las nuevas propuestas han mejorado o perjudicado la circulación en los puntos de conflicto. Todos los criterios de evaluación han sido tomados de las tablas de resultados presentados en Vissim.

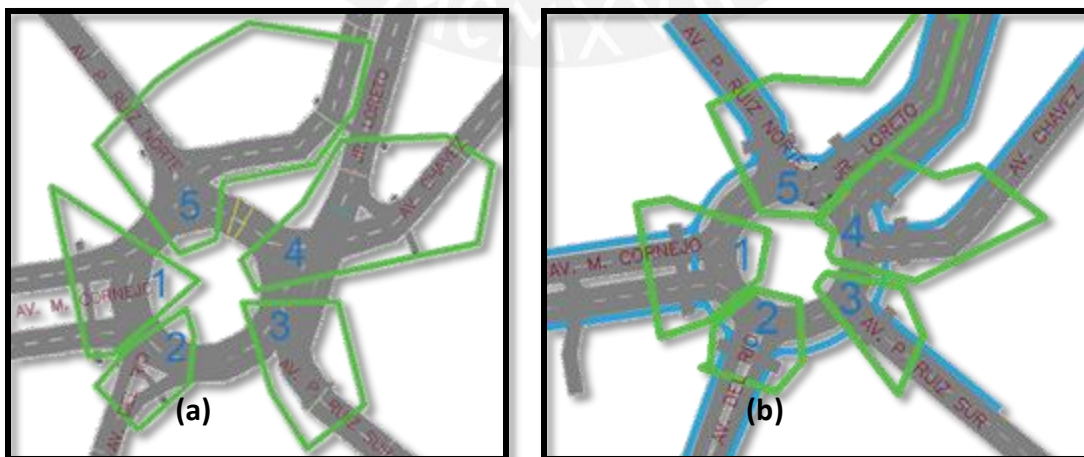


Figura 40a: Definición de nodos en el modelo de estado actual del óvalo

Figura 40b: Definición de nodos en el modelo propuesto del óvalo

Fuente: Elaboración propia

6.1.1. Tiempos de viaje peatonales

El análisis comparativo ha tomado como referencia tiempos de viaje promedios de la calzada vehicular y ciclovía en cada cruce peatonal. Como se muestra en la tabla 19, las variaciones entre el estado actual y el escenario proyectado son, como máximo, 9.6 segundos y una disminución del 28%. Así mismo, en 7 de los 12 cruces peatonales se ha reducido el tiempo de viaje de los peatones. Sin embargo, estas reducciones, numéricamente, no resultan sumamente relevantes, ya que se trata de variaciones alrededor de 1.5 segundos en promedio.

Tabla 19: Análisis comparativo entre tiempos de viaje peatonales

Sección/Tramo			Actual s	Propuesta s	Diferencia s	Variación %
1	Sur-Norte	M. Cornejo	24.94	18.02	-6.92	-28%
2	Norte-Sur	M. Cornejo	24.34	29.98	5.64	23%
3	Oeste-Este	Del Rio	21.29	16.64	-4.65	-22%
4	Este-Oeste	Del Rio	17.82	17.70	-0.12	-1%
5	Este-Oeste	P. Ruiz Sur	15.02	14.12	-0.90	-6%
6	Oeste-Este	P. Ruiz Sur	17.33	16.96	-0.37	-2%
7	Sur-Norte	Chávez	16.26	17.21	0.95	6%
8	Norte-Sur	Chávez	17.23	19.38	2.15	12%
9	Norte-Sur	Loreto	23.32	24.92	1.60	7%
10	Sur-Norte	Loreto	19.09	21.69	2.60	14%
11	Oeste-Este	P. Ruiz Norte	10.41	8.29	-2.12	-20%
12	Este-Oeste	P. Ruiz Norte	11.40	8.23	-3.17	-28%

Fuente: Elaboración propia

En base a este análisis, se pudo verificar que las intervenciones propuestas no dificultan el desplazamiento peatonal en la rotonda en cuestión del tiempo que emplean. Sin embargo, será necesario evaluar su desplazamiento bajo otros criterios analizados más adelante.

6.1.2. Tiempos de viaje vehiculares

Se analizaron los tiempos de viaje en las mismas secciones definidas para la calibración y validación del modelo. Para el análisis comparativo, mostrado en la tabla 20, se han usado los

valores promedio de la intersección actual medidos en campo. Los tiempos de viaje de la propuesta son valores promedios de las 15 corridas realizadas en Vissim.

Tabla 20: Cuadro comparativo entre tiempos de viaje de vehículos

	Sección/Tramo	Actual s	Propuesta s	Diferencia s	Variación %
1	M. Cornejo entrando	3.69	3.12	-0.57	-15%
2	M. Cornejo saliendo	6.09	4.67	-1.42	-23%
3	Del Rio entrando	3.69	3.65	-0.04	-1%
4	Del Rio saliendo	4.27	3.82	-0.45	-11%
5	P. Ruiz Sur entrando	3.23	2.52	-0.71	-22%
6	Chávez entrando	6.00	12.52	6.52	109%
7	Loreto entrando	3.09	3.17	0.08	3%
8	Loreto saliendo	5.35	6.26	0.91	17%
9	P. Ruiz Norte saliendo	4.50	3.47	-1.03	-23%

Fuente: Elaboración propia

Como era esperado, las mejoras en la intersección no representarían grandes variaciones, a excepción de la Av. Chávez. Esto se debe a que el grado de saturación de la rotonda era bajo a intermedio. Así mismo, las colas que se presentaban en las aproximaciones se disipaban fácilmente. Relacionado a los valores obtenidos, con las propuestas de rediseño no habrá variaciones en los tiempos de viaje mayores a +/- 1.5 segundos. Sin embargo, para el caso de la Av. Chávez el tiempo de viaje se ha incrementado en 6.52 segundos, 109%. Esto se debe a que, al cambiarse la geometría de la rotonda, la propuesta define de mejor manera la prioridad secundaria de esta vía: la Av. Chávez ya no alterna prioridad con el flujo saliente de la rotonda. En las figuras 41 a y b, se muestra el cambio en la circulación de la Av. Chávez a la cual se le atribuye el incremento en el tiempo de viaje.

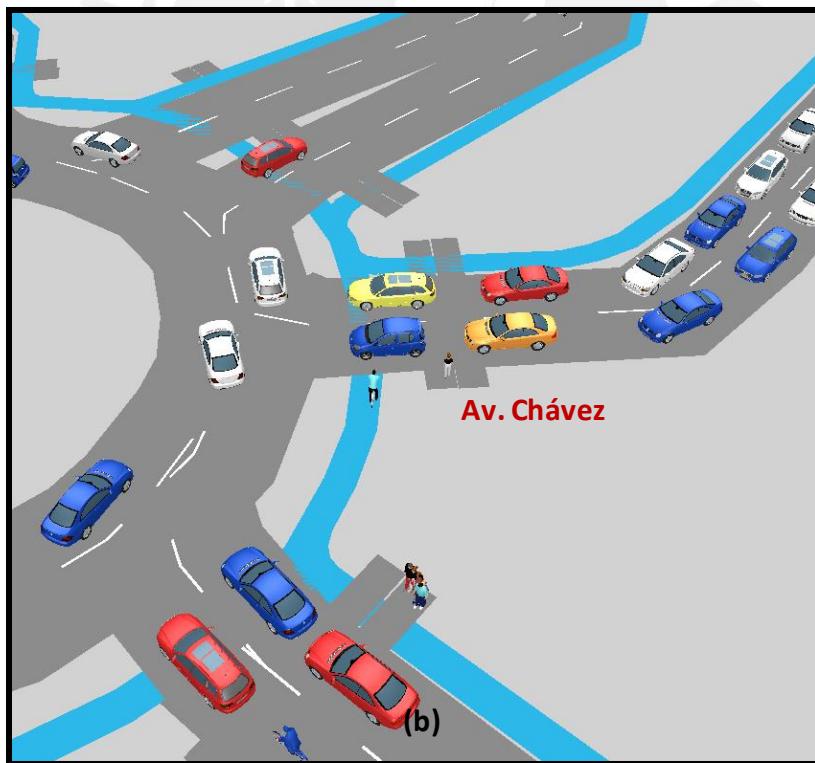
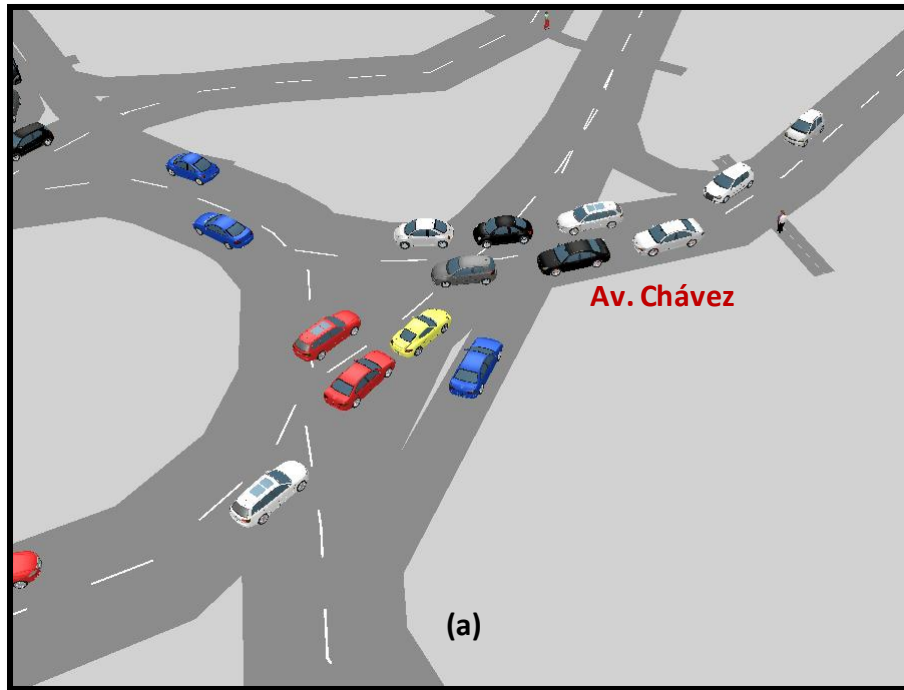


Figura 41a: Circulación actual frente a la Av. Chávez simulada en Vissim
Figura 41b: Circulación propuesta frente a la Av. Chávez simulada en Vissim
Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Variación en la velocidad deseada

La velocidad real de la circulación podría ser menor a la velocidad deseada configurada en la red y causaría incrementos en los tiempos de viaje. El tiempo en que la velocidad real es menor que la deseada puede ser analizada por el software Vissim mediante el parámetro de tiempo de demora (PTV, 2012). En la tabla 21, se muestra la comparación de este parámetro en ambos escenarios planteados.

Tabla 21: Cuadro comparativo entre tiempos de demora

	Tiempo de demora total (h)	Tiempo de demora promedio (s)
Actual	39.88	47.34
Propuesta	26.40	36.84
Diferencia	-13.47	-10.50
Variación %	-34%	-22%

Fuente: Elaboración propia

Tanto el tiempo de demora total y por vehículo han disminuido. Esto podría interpretarse negativamente como un aumento en las velocidades de circulación. Sin embargo, podría atribuírsele a un mejor orden en las reglas de la prioridad en la rotonda. En el escenario actual, tanto los vehículos que salen de la rotonda como los que ingresan, reducen su velocidad y evalúan su prioridad. Además, el espacio disponible para los vehículos es considerablemente amplio y no está demarcado, lo cual permite libertad en sus desplazamientos. Por otro lado, en el escenario propuesto, solo reducirán su velocidad o se detendrán los vehículos que quieran entrar a la rotonda. De este modo, la reducción en los tiempos de demora no es negativa considerándose que la velocidad deseada es de 50 km/h en los accesos y de 25 km/h dentro de la rotonda.

6.1.4. Detención de vehículos

De acuerdo al análisis del software Vissim, en promedio, cada vehículo se detiene en la red 31.63 segundos y se detiene 1.91 veces, como lo muestra la tabla 22. Con el rediseño geométrico propuesto, se ha logrado reducir ambos parámetros en 32% y 20% respectivamente. Estos resultados son satisfactorios en cuanto al desplazamiento de los vehículos. El estado actual de la intersección es un óvalo junto a una intersección formada por la Av. Chávez y Av. Loreto. En la nueva propuesta, todas las vías confluyen en el óvalo de modo que solo se detengan para ingresar a la rotonda.

Tabla 22: Cuadro comparativo entre tiempos de detención y número de detenciones

	Tiempo de detenciones total (h)	Tiempo de detención promedio (s)	Número de detenciones total	Número de detenciones promedio
Actual	26.64	31.63	5783	1.91
Propuesta	18.00	25.06	3904	1.52
Diferencia	-8.64	-6.57	-1879	-0.39
Variación %	-32%	-21%	-32%	-20%

Fuente: Elaboración propia

6.1.5. Estado de los vehículos en la red de tráfico

Al final de la hora de simulación del tráfico, el software Vissim genera un balance de los flujos en la red en ese instante. Como se muestra en la tabla 23, en la red actual, 65 vehículos están circulando en la red, 2970 ya han salido de esta y 13 no pudieron ingresar en la red (demanda latente). En el rediseño propuesto, el número de vehículos activos ha disminuido en 28% y puede interpretarse como una mejora en la circulación vehicular. Así mismo, el número de vehículos que no pudieron entrar en la red ha reducido en 39%. De modo que, el hecho de haber reducido el espacio de los vehículos y reordenado la geometría no ha impactado en la capacidad de la rotonda.

Tabla 23: Cuadro comparativo de balance de flujos al final de la simulación

	Número de vehículos activos	Número de vehículos que han salido	Demanda latent
Actual	65	2970	13.47
Propuesta	47	2993	8.87
Diferencia	-18	23	-5.2
Variación %	-28%	1%	-39%

Fuente: Elaboración propia

6.1.6. Condiciones generales de la circulación

La velocidad de circulación por el óvalo ha cambiado de 16.29 a 17.88 km/h como se muestra en la tabla 24. Aunque esta variación representa un aumento en 10%, no supone ningún peligro para la circulación de todos los usuarios: a 30 km/h los accidentes son leves y pueden ser previstos. Por otro lado, mediante el ordenamiento de las trayectorias en la rotonda, se ha logrado reducir los desplazamientos y los tiempos de viaje dentro de la rotonda en un 30%. Estos cambios impactan en el factor ambiental que hace más sostenibles las medidas propuestas. Así mismo, el tiempo que los autos que no pudieron entrar en la red esperaron se ha reducido en 90%. Esto significa que las propuestas son favorecedoras en cuestión de seguridad vial sin necesidad de afectar la capacidad de la rotonda.

Tabla 24: Cuadro comparativo de parámetros generales de la circulación

	Velocidad promedio (km/h)	Distancia recorrida total (km)	Tiempo de viaje total (h)	Tiempo de demora latente total (h)
Actual	16.29	621.64	57.91	11.81
Propuesta	17.88	436.55	40.12	1.20
Diferencia	1.59	-185.09	-17.80	-10.62
Variación %	10%	-30%	-31%	-90%

Fuente: Elaboración propia

6.1.7. Longitud de colas y demoras en los nodos

Para evaluar mejor cómo influyen las propuestas de mejora en la intersección, se han analizado puntos específicos de conflicto. Esto se debe a que la capacidad de la rotonda está definida por la capacidad en sus accesos. Así mismo, la circulación en el anillo influye de forma diferente en cada aproximación.

El primer nodo se ha definido en la Av. Mariano Cornejo. Como se muestra en la tabla 25, la longitud de las colas se ha reducido en 62 % debido a que todos los vehículos deben ingresar a la rotonda para realizar cualquier movimiento. En el escenario actual, al lado derecho de la vía, se forman colas de autos que van a girar por la Av. Del Río. Por otro lado, los tiempos de demora en vehículos y peatones se redujeron sutilmente. En el caso de los vehículos, podría interpretarse como una reducción en la velocidad de circulación. En el caso de los peatones, se desplazarán 0.67 segundos más en promedio con menor velocidad a la deseada. Este no es un factor determinante pues se tiene que evaluar el resto de mejoras hacia el peatón en adelante

Tabla 25: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación Mariano Cornejo

Aproximación Mariano Cornejo		Longitud de colas (m)	Longitud máxima de colas (m)	Tiempo de demora vehicular (s)	Tiempo de demora peatón (s)
1	Actual	4.03	45.78	2.63	3.75
	Propuesta	1.55	35.05	2.81	4.42
	Diferencia	-2.48	-10.73	0.18	0.67
	Variación %	-62%	-23%	7%	18%

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la Av. Del Río, la longitud de colas también se ha reducido. Así mismo, las propuestas de mejora han sido favorables para los peatones ya que se redujo en 24% el tiempo en que disminuyen su velocidad, como se muestra en la tabla 26. Sin embargo, los vehículos han

aumentado su tiempo de demora. Esto podría interpretarse como una reducción en la velocidad de circulación. Sin embargo, cómo se analizó anteriormente, estas son bajas y seguras en zonas urbanas.

Tabla 26: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación Del Rio

Aproximación Del Río		Longitud de colas (m)	Longitud máxima de colas (m)	Tiempo de demora vehicular (s)	Tiempo de demora peatón (s)
2	Actual	9.29	57.23	13.58	9.84
	Propuesta	8.73	54.6	12.83	7.44
	Diferencia	-0.56	-2.63	-0.75	-2.4
	Variación %	-6%	-5%	-6%	-24%

Fuente: Elaboración propia

El nodo ubicado en la aproximación de Pedro Ruiz Sur era una de las más críticas pues, a partir de ahí, se creaban dos flujos con varios carriles: uno en giro hacia la rotonda y otro de frente hacia Loreto. Como se ha reorganizado todos los flujos en solo dos carriles y con entrada a la rotonda, la longitud de colas ha disminuido en 52%, como se muestra en la tabla 27. Así mismo, los tiempos de demora vehicular han disminuido en 59% y se ha mejorado la circulación de los vehículos que hacían cola y obstruían el cruce peatonal. Así mismo, los peatones no enfrentan interrupciones en su trayecto y velocidad ya que su tiempo de demora es 72% menor.

Tabla 27: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación P. Ruiz Sur

Aproximación P. Ruiz Sur		Longitud de colas (m)	Longitud máxima de colas (m)	Tiempo de demora vehicular (s)	Tiempo de demora peatón (s)
3	Actual	22.52	80.32	12.98	14.6
	Propuesta	10.77	33.04	5.35	4.08
	Diferencia	-11.75	-47.28	-7.63	-10.52
	Variación %	-52%	-59%	-59%	-72%

Fuente: Elaboración propia

El punto más importante de esta zona de estudio es la intersección de las avenidas Chávez y Loreto. En esta se formaba una intersección aislada a la rotonda y no había una regla de prioridad establecida entre flujos. Con la propuesta actual, como era de esperarse, se han incrementado las colas sustancialmente de 5.75 a 11.97 metros. Como se redujo el espacio de maniobra mediante la eliminación de esta ‘intersección’, la capacidad de la Av. Chávez disminuyó y ahora es de prioridad secundaria. Aunque no resulte beneficioso para los vehículos, se debe evaluar esta zona bajo otros criterios más adelante. Esta formación de colas, ha influido en los tiempos de demora en 45% y 38% respectivamente, tabla 28. Esto quiere decir que disminuirá la velocidad a la que desean transitar.

Tabla 28: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación Chávez y Loreto

Aproximación Chávez - Loreto		Longitud de colas (m)	Longitud máxima de colas (m)	Tiempo de demora vehicular (s)	Tiempo de demora peatón (s)
4	Actual	5.75	49.8	10.98	11.47
	Propuesta	11.97	70.28	15.97	15.81
	Diferencia	6.22	20.48	4.99	4.34
	Variación %	108%	41%	45%	38%

Fuente: Elaboración propia

El último nodo de interés es la intersección de la Av. Pedro Ruiz Norte y Loreto. Aunque también no se establecía claramente las reglas de prioridad, no había problemas de congestión debido a los flujos vehiculares bajos. Como se muestra en la tabla 29, se ha perjudicado la circulación en el caso de los vehículos y peatones. Sin embargo, la magnitud de estos cambios: 0.9 y 0.34 segundos no resulta tan relevante.

Tabla 29: Cuadro comparativo de evaluación de aproximación P. Ruiz Norte y Loreto

Aproximación P. Ruiz Norte-Loreto		Longitud de colas (m)	Longitud máxima de colas (m)	Tiempo de demora vehicular (s)	Tiempo de demora peatón (s)
5	Actual	5.08	36.66	4.59	4.93
	Propuesta	3.5	32.44	3.69	5.27
	Diferencia	-1.58	-4.22	-0.9	0.34
	Variación %	-31%	-12%	-20%	7%

Fuente: Elaboración propia

6.1.8. Emisiones contaminantes

Con los resultados mostrados en las tablas 30, 31, 32, 33 y 34, se han definido tres zonas con igual variación en sus emisiones vehiculares. El primer caso: Mariano Cornejo, Pedro Ruiz Norte han reducido sus emisiones vehiculares en 6% y 20% respectivamente. Esto es positivo ya que la Av. Mariano Cornejo concentra las entradas en la red. El segundo caso: Chávez, Loreto y Pedro Ruiz Sur han aumentado las emisiones de la mayoría de sus componentes significativamente. Esto se debe a la formación de colas por la eliminación de carriles fuera del anillo de circulación. Así mismo, como se han definido de forma más clara las reglas de prioridad, los automóviles permanecen detenidos o avanzan por tramos.

Tabla 30: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación Mariano Cornejo

Aproximación Mariano Cornejo		Emisiones de CO (gr)	Emisiones de NOx (gr)	Emisiones de COV (gr)	Consumo de gasolina (gal)
1	Actual	347.53	67.62	80.54	4.97
	Propuesta	325.82	63.39	75.51	4.66
	diferencia	-21.71	-4.22	-5.03	-0.31
	variación %	-6%	-6%	-6%	-6%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación Del Río

Aproximación Del Río		Emisiones de CO (gr)	Emisiones de NOx (gr)	Emisiones de COV (gr)	Consumo de gasolina (gal)
2	Antes	275.19	209.19	249.19	15.38
	Propuesta	243.13	247.30	256.35	13.48
	diferencia	-32.06	38.11	7.16	-1.90
	variación %	-12%	18%	3%	-12%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación P. Ruiz Sur

Aproximación P. Ruiz Sur		Emisiones de CO (gr)	Emisiones de NOx (gr)	Emisiones de COV (gr)	Consumo de gasolina (gal)
3	Antes	368.79	305.23	363.58	22.44
	Propuesta	345.79	367.28	380.14	24.95
	diferencia	-23.00	62.05	16.56	2.50
	variación %	-6%	20%	5%	11%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación Chávez - Loreto

Aproximación Chávez - Loreto		Emisiones de CO (gr)	Emisiones de NOx (gr)	Emisiones de COV (gr)	Consumo de gasolina (gal)
4	Antes	439.15	221.64	264.01	16.30
	Propuesta	402.91	311.87	371.49	22.93
	diferencia	-36.24	90.23	107.48	6.63
	variación %	-8%	41%	41%	41%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Cuadro comparativo de emisiones vehiculares en la aproximación P. Ruiz Norte - Loreto

Aproximación P. Ruiz Norte - Loreto		Emisiones de CO (gr)	Emisiones de NOx (gr)	Emisiones de COV (gr)	Consumo de gasolina (gal)
5	Antes	291.87	56.79	67.64	4.18
	Propuesta	234.60	45.64	54.37	3.36
	diferencia	-57.27	-11.14	-13.27	-0.82
	variación %	-20%	-20%	-20%	-20%

Fuente: Elaboración propia

6.2. Análisis Cualitativo de la Circulación

6.2.1. Longitud y ubicación de cruces

En el escenario actual, solo estaban definidos los cruces peatonales en las avenidas Mariano Cornejo y Del Río y estos se encontraban a distancia prudente de la rotonda para ser visibles y compatibles con la velocidad vehicular. Sin embargo, el resto de cruces no estaban definidos y se han determinado de acuerdo a las líneas de movimiento de los peatones. Estos tienden a ser diagonales porque no estaban demarcados como se muestra en la figura 42.

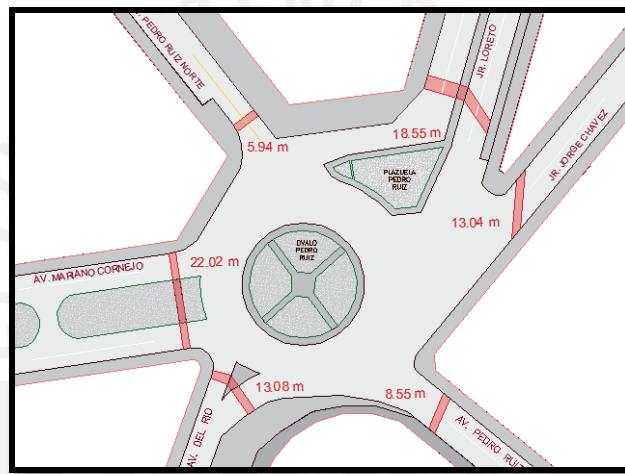


Figura 42: Longitud y ubicación de cruces peatonales en la situación actual
Fuente: Elaboración propia

Con las propuestas de mejora, figura 43, se pensó principalmente en reducir las longitudes de los cruces peatonales y que estas se ubican a distancia prudente de los giros de los vehículos para no exponerse a velocidades altas. Así mismo, en comparación con el anterior, se ha procurado que todos los cruces sean perpendiculares a la vía para facilitar el desplazamiento de sillas de rueda. Por otro lado, aunque los cruces no se han alineado en algunos casos con las líneas de movimiento, se prefirió hacer más intuitivo el desplazamiento alrededor del óvalo para personas con visión restringida. Así mismo, los peatones tienen a utilizar estos cruces mientras estos ofrezcan las facilidades necesarias como rampas de acceso continuas.

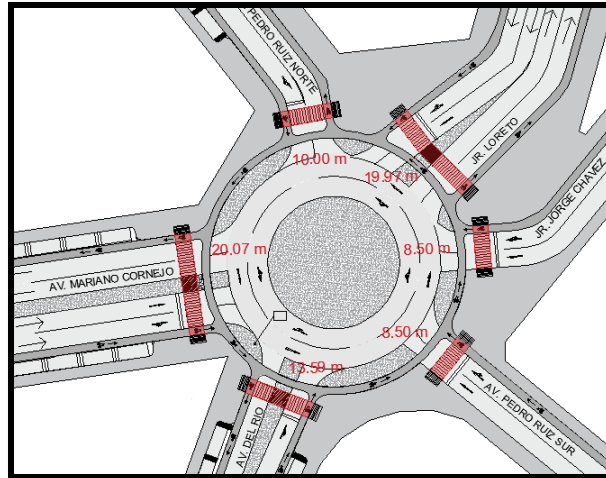


Figura 43: Longitud y ubicación de cruces peatonales en el modelo propuesto
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se ha comparado la longitud de los cruces peatonales en ambos escenarios como se muestra en la tabla 35. En tres de las cinco vías, se ha logrado reducir la longitud de cruce. En el caso de la Av. Del Río y Av. Loreto, el aumento no ha sido considerable. La extensión para la Av. Pedro Ruiz Norte sí resulta relevante. Sin embargo, se debe considerar que los carriles vehiculares eran muy angostos e invadían la vereda. Así mismo, se ha incluido facilidades para los ciclistas que han extendido el cruce peatonal.

Tabla 35: Cuadro comparativo de longitud de cruces peatonales.

Longitud de cruce peatonal (m)			
Cruce	Actual	Propuesta	Variación %
Mariano Cornejo	22.02	20.07	-9%
Del Río	13.08	13.59	4%
P. Ruiz Sur	8.55	8.50	-1%
Chávez	13.04	8.50	-35%
Loreto	18.55	19.97	8%
P. Ruiz Norte	5.94	10.00	68%

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Distribución del espacio en función a los usuarios

Para comparar ambos escenarios, se ha definido una zona de evaluación. Esta está delimitada por la extensión de los cruces peatonales y los límites de propiedad. A partir de ahí, se ha delimitado la proporción de espacio que cada tipo de usuario ocupa.

En la situación actual, solo se distingue espacio para peatones y vehículos como se muestra en la figura 44. Los ciclistas no tienen facilidades propias, pero suelen compartir espacios en ambas zonas. Así mismo, la diferencia entre ambos, de 76 a 24% es relevante considerando un área urbana.

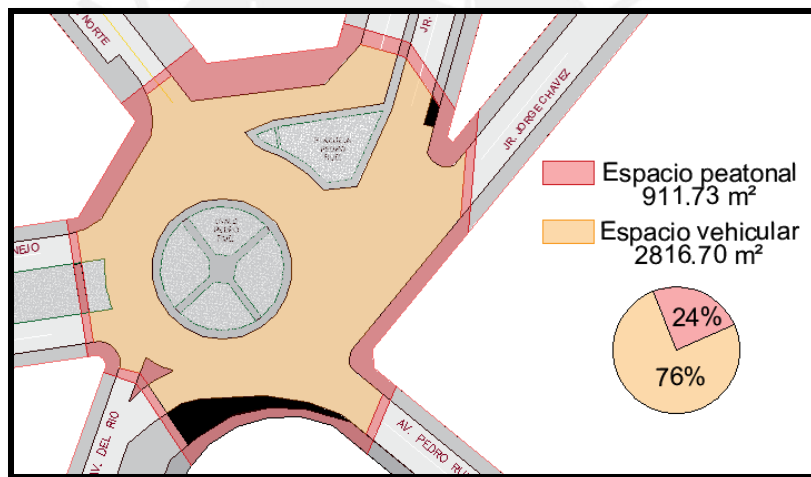


Figura 44: Distribución gráfica del espacio por usuario en el escenario actual
Fuente: Elaboración propia

En la propuesta de mejora, figura 45, se ha considerado definir espacio propio para los ciclistas de modo que se articule con la red de ciclovías existentes y se fomenten los viajes en modos de transportes más sostenibles. En este caso, se ha tratado de reducir al máximo posible el espacio de los vehículos a 52% para ordenar sus trayectorías. Así mismo, la ocupación de los peatones se ha incrementado a 35% y tienen mayor visibilidad de la circulación dentro de la rotonda. Esta nueva

distribución de los espacios favorece el transporte multimodal y brinda facilidades equitativas y proporcionales a la prioridad de cada tipo de usuario.

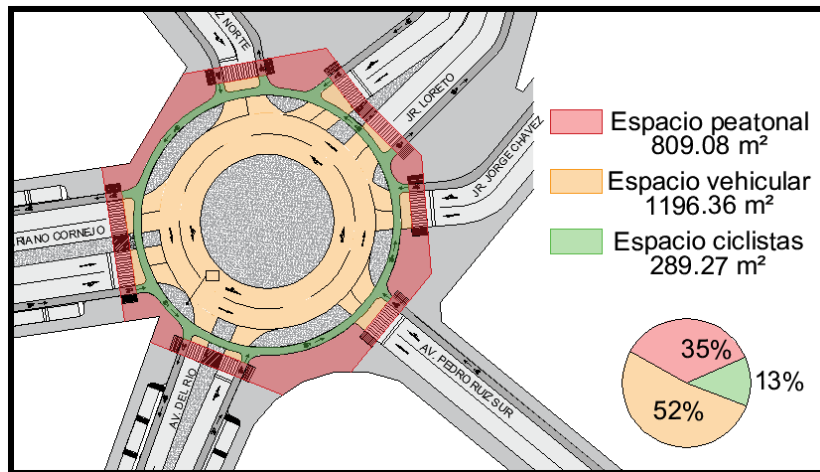


Figura 45: Distribución gráfica del espacio por usuario en el escenario actual
Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Visibilidad

Se ha evaluado el espacio que visualiza cada conductor desde cada aproximación según su ángulo de visión. El manual DMRB (2007) propone que, para rotondas de diámetro de isla central menor a 40 metros, desde un punto ubicado a 15 metros de la línea de entrada, debería el conductor poder ver el espacio total de la circulación de la rotonda (Standards for Highways UK, 2007). Para evaluar esto gráficamente, se ha asumido que los vehículos ingresan con una velocidad no mayor a 35 km/h. Así mismo, se ha utilizado el valor propuesto de ángulo de visión igual a 104° correspondiente a un conductor a 35 km/h (Menendez, 2015).

En el caso del escenario actual, se observa desde los accesos Pedro Ruiz Norte y Loreto no se observa la rotonda completamente pese a ser un óvalo de diámetro pequeño como se muestra en la figura 46. Esto propicia que los conductores no estén atentos en tiempo prudente para reaccionar.

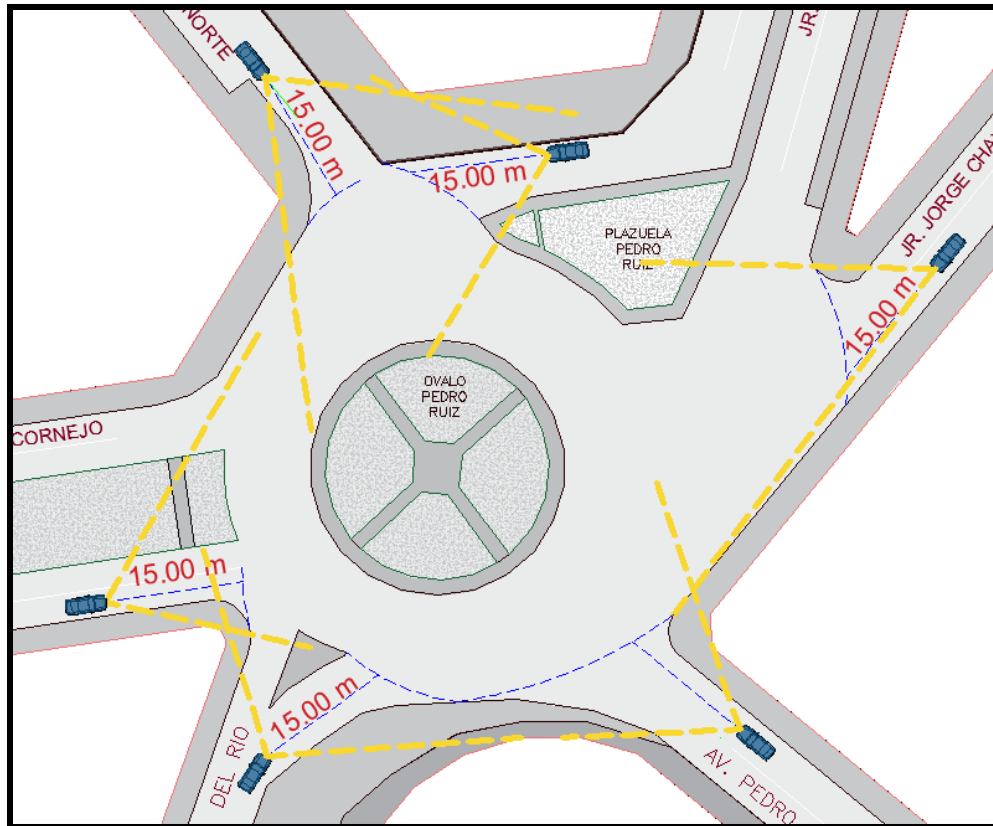


Figura 46: Análisis gráfico de visibilidad en el escenario actual
 Fuente: Elaboración propia

En el escenario propuesto, todos los accesos están más despejados visualmente. Desde todos ellos, se perciben los movimientos realizados dentro de los carriles de circulación como se muestra en la figura 47. Así mismo, en la mayoría de los accesos, se observan los flujos de ciclistas próximos.

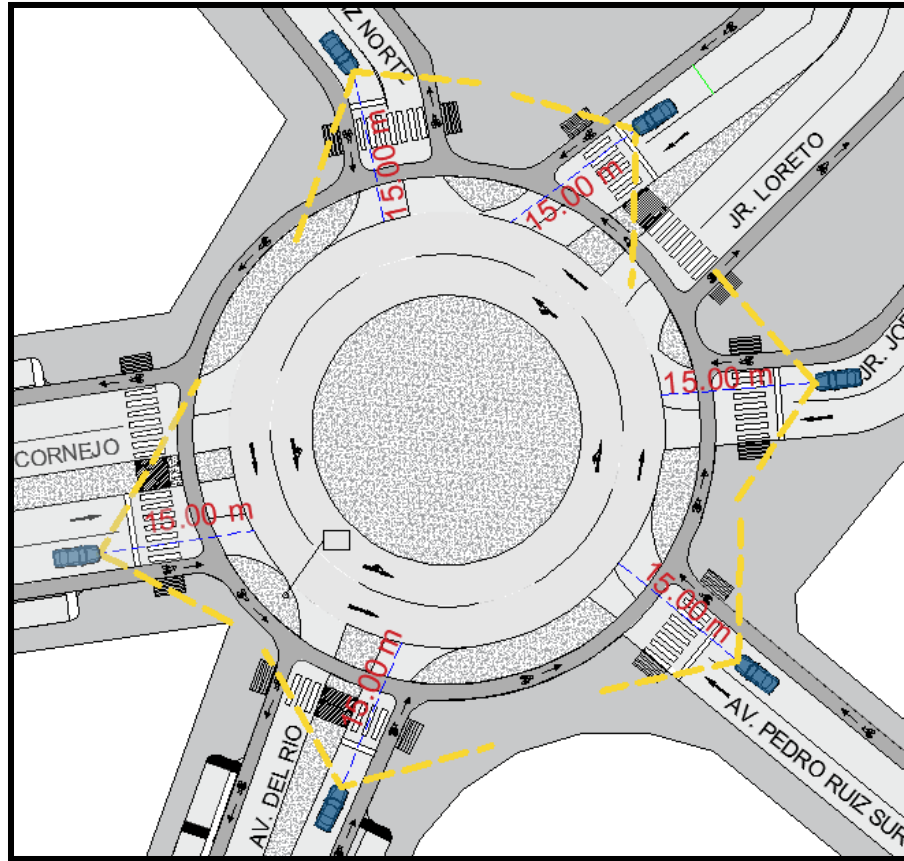


Figura 47: Análisis gráfico de visibilidad en el escenario propuesto
Fuente: Elaboración propia

6.2.4. Velocidades relativas y ángulos de deflexión

Existe una relación directamente proporcional entre la tasa de accidentes y la diferencia entre velocidades de dos vías (Garcete, 2013). Por ello, bajo el criterio de seguridad vial, se ha analizado las velocidades relativas en los accesos de la rotonda antes y después. En las figuras 48 y 49, se muestran se muestran vectores de velocidad y los ángulos de deflexión de cada aproximación. En el escenario actual, estos ángulos están en el intervalo de 19° a 112° ; en el escenario propuesto, de 38° a 66° .

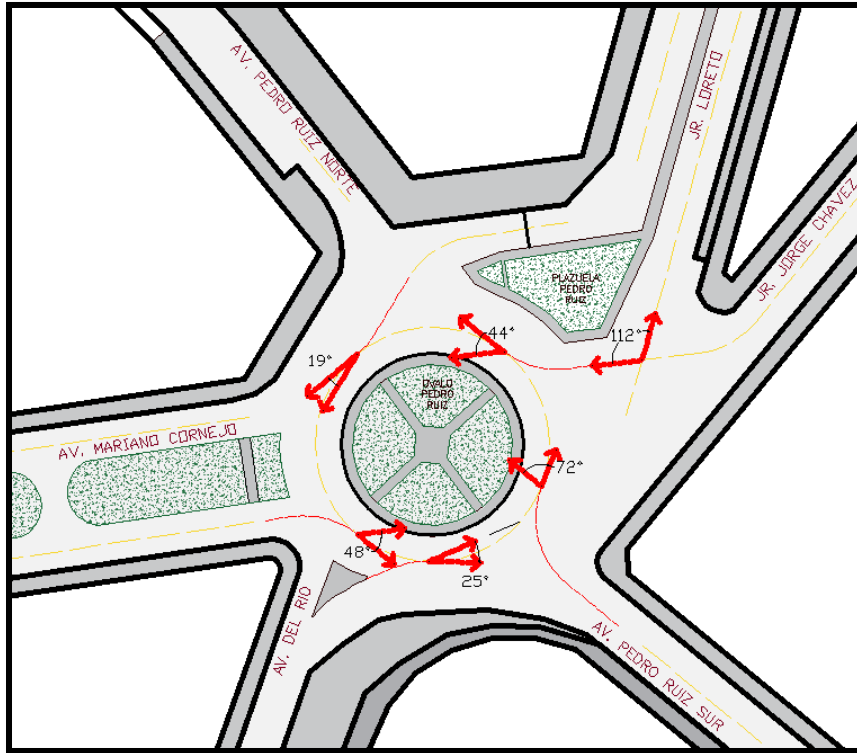


Figura 48: Ángulos de deflexión de trayectorias en la geometría actual
Fuente: Elaboración propia

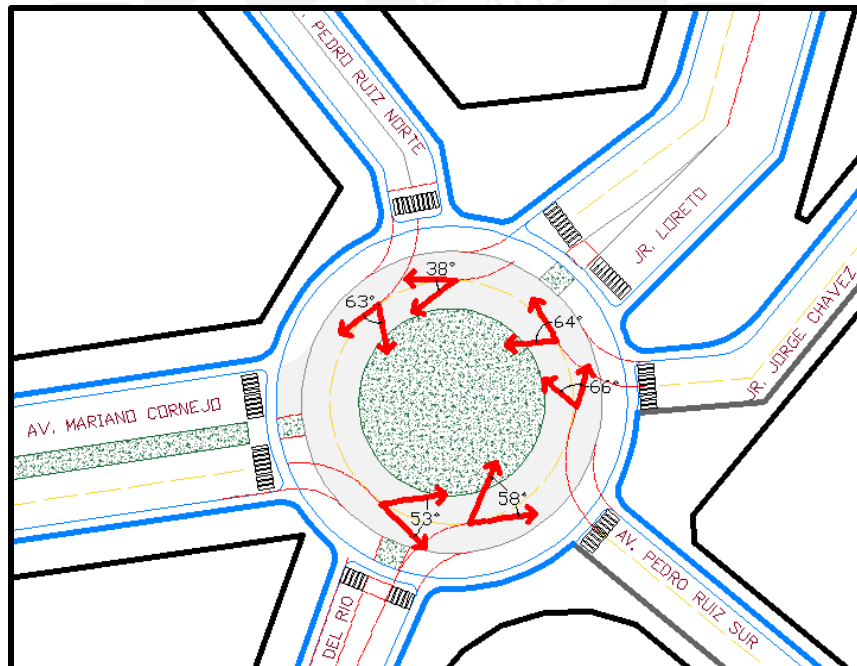


Figura 49: Ángulos de deflexión de trayectorias en la geometría propuesta
Fuente: Elaboración propia

Considerando los ángulos de deflexión y las velocidades deseadas en las aproximaciones como 50 km/h y en el anillo de circulación como 25 km/h, se ha calculado vectorialmente las velocidades relativas para ambos casos, Como se muestra en la figura 50 en el escenario actual, las velocidades relativas están entre 27 y 83 km/h. Este último valor representa una vulnerabilidad para la seguridad vial en la intersección. Por otro lado, en el escenario propuesto, figura 51, se ha tratado de reducir estos ángulos de deflexión en lo posible. Con esto, se obtuvo un máximo de 46 km/h de velocidad relativa.

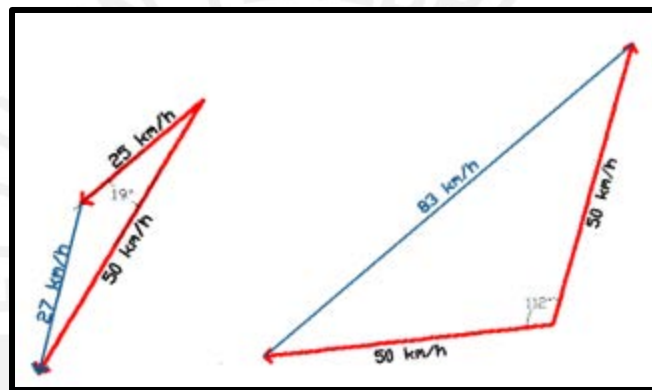


Figura 50: Velocidades relativas en el escenario actual
Fuente: Elaboración propia

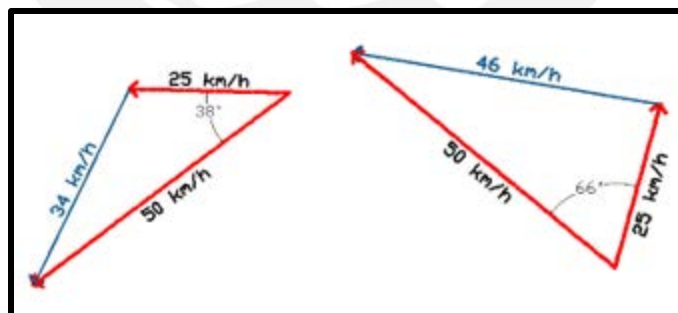
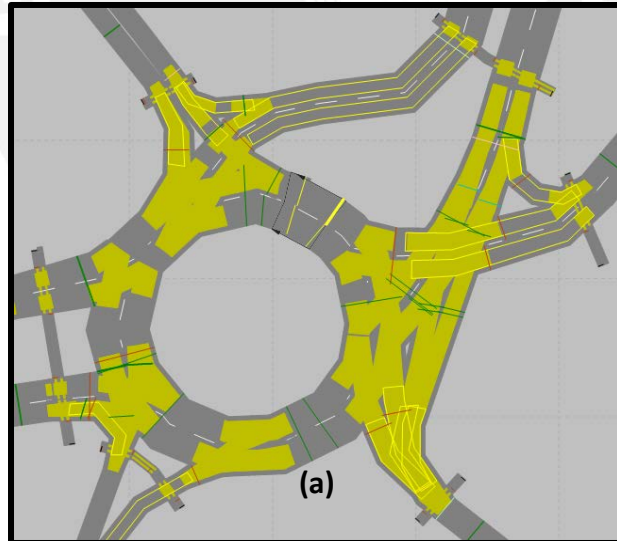


Figura 51: Ángulos de deflexión de trayectorias en la geometría propuesta
Fuente: Elaboración propia

6.2.5. Zonas de conflicto

La geometría de una intersección y las señales de control empleadas definen las zonas en las que se superponen los flujos de usuarios, conocidas como áreas de conflicto. Es por esto que, aunque, el tipo de intersección permanece siendo una rotonda, la distancia entre las aproximaciones definen nuevas extensiones de conflicto. En las figuras 52 y 53, se muestra sombreado en amarillo las zonas de conflicto analizadas en el software Vissim.

En el escenario actual, figura 52a, se puede observar que, al lado derecho de la rotonda: Pedro Ruiz Sur, Chávez y Loreto, el área de conflicto se extiende en todas las entradas y a lo largo de los carriles de circulación. Además, como no existen señales de control en la zona, no se distingue la prioridad de los flujos y la circulación depende del comportamiento de los conductores como se muestra en la figura 52b.



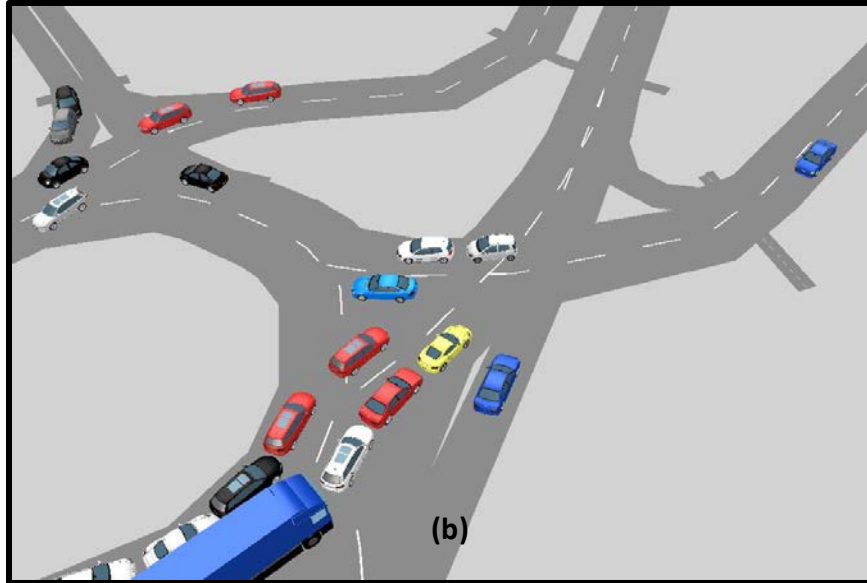


Figura 52a: Zonas de conflicto de flujos en el escenario actual
 Figura 52b: Zonas de conflicto de flujos en el escenario actual
 Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la geometría propuesta en esta tesis en la figura 53, se ha tratado de optimizar en lo posible la ubicación y la extensión de estas zonas de conflicto. Ahora estas se presentan solo en el acceso a la rotonda. De este modo, tomando en cuenta que la indecisión del conductor y la incomprensión de las reglas de tránsito es común en las rotondas (Hernández et al., 2015), se hace mucho más intuitiva la prioridad de cada flujo en circulación.



Figura 53: Zonas de conflicto de flujos en el escenario propuesto
 Fuente: Elaboración propia

6.2.6. Percepción arquitectónica

Los criterios de evaluación de desempeño de la infraestructura vial están relacionados generalmente con detalles técnicos. Sin embargo, la percepción del paisaje se involucra directamente con la dinámica en el espacio público. En esta tesis, se trató de incluir otros elementos como la interpretación del paisaje debido a su influencia en el comportamiento de los usuarios.

Elementos como el campo visual limitado por la infraestructura vial condicionan la velocidad a la que circulan los conductores (Road Directorate, 2002). El hecho de haber reducido y trazado los carriles en el espacio óptimo restringe la velocidad de los usuarios. De este modo, estos interactúan más con los elementos del paisaje y pueden reconocer su prioridad en el espacio. Por otro lado, en el rediseño geométrico se ha reconstruido el elemento arquitectónico de la escala. Esta se ha hecho más perceptible pues las personas reconocen otras dimensiones en función a su tamaño. Esto se debe a que los espacios homogéneos e inclusivos logran mayor impacto visual en las personas (Perovic & Folic, 2012).

7. Conclusiones y comentarios

7.1. Conclusiones

No existe un manual que dimensione cada uno de los elementos de las rotondas u óvalos ni una metodología pautada del diseño geométrico. Se debe entender que todos los elementos son interdependientes y responden a criterios cualitativos y cuantitativos que cada zona en particular define como las velocidades de circulación, el vehículo de diseño, la demanda, etc. Por ello, el proceso resulta en uno iterativo en el que se verifica los lineamientos que se quieren lograr.

La microsimulación ha sido una herramienta útil en la evaluación de propuestas. La variación entre los datos de salida que evalúa el software antes y después ha sido considerable. Así mismo, la visualización dinámica de las propuestas ha sido una herramienta sumamente útil que ha permitido discutir cualitativamente las medidas implementadas.

Con la propuesta de rediseño geométrico, se ha logrado reducir los tiempos de viaje de los peatones en 7 de las 12 direcciones. En los accesos que no se ha logrado esta reducción, ha habido una mejora cualitativa en cuanto a seguridad vial: todos los cruceros se ubican próximos a las líneas de acceso y salida de la rotonda. De este modo, las velocidades de giro de los vehículos resultan compatibles con los desplazamientos peatonales.

En relación con los desplazamientos vehiculares, se ha reducido los tiempos de viaje en 6 de los nueve tramos analizados. Sin embargo, estas mejoras no representan variaciones mayores a 1.42 segundos. Por este motivo, el impacto en la velocidad de circulación vehicular no será relevante ni vulnerará la prioridad de los peatones y ciclistas.

En relación con el desempeño de la intersección, se ha logrado canalizar todos los flujos de las vías de modo que se obtengan realmente las facilidades asociadas con las rotondas. Por ejemplo, las reglas de prioridad se establecen claramente y el tiempo en que cada vehículo permanece detenido se ha reducido en 6.57 segundos. Así mismo, se ha controlado la velocidad a la que circulan los vehículos. En promedio, realizan sus desplazamientos a 17.88 km/h.

Mediante la propuesta de rediseño presentada, se ha logrado redistribuir el espacio actual de forma más compatible con el orden de prioridad de la movilidad sostenible. En el caso de los peatones, la ocupación del espacio ha aumentado de 24% a 35%. Para los ciclistas, la variación es de 0% a 13%, considerando espacio exclusivo. Finalmente, en el caso de los vehículos, existe una reducción importante de 76% a 52%.

A partir de lo enunciado previamente, se comprueba que se puede lograr adecuados niveles de desempeño en la circulación para todos los usuarios de la zona de intervención. Sin embargo, esto no significa que las propuestas mejoren todos los parámetros de eficiencia de todos los usuarios. Ha sido necesario establecer un balance y tomar decisiones de acuerdo a las prioridades de la zona de estudio. En ese sentido, al inicio de los proyectos, se deben establecer lineamientos específicos del modo en que se planea intervenir la zona de estudio.

Así mismo, en la zona de estudio en específico, es necesario plantear las propuestas de rediseño que no dependan de la interpretación de las normas de tránsito de los usuarios. De este modo, desde el rediseño geométrico se toma parte en la educación vial mediante el establecimiento de facilidades como los cruces peatonales. Esto requiere que la intervención planeada sea homogénea, reconocible e intuitiva.

Por otro lado, implementar medidas de mejora en zonas que ya están consolidadas urbanísticamente resulta complicado. Debe considerarse en zonas en proceso de desarrollo que la infraestructura vial, el espacio público y el trazo urbano deben ser compatibles y articulados. Sin embargo, no hay un límite temporal para intervenir puntos críticos. Se pueden mitigar las condiciones inadecuadas de circulación.

Finalmente, a menudo, quienes proponen soluciones no tienen la percepción de cómo son las trayectorias o cuáles son las necesidades especiales de los usuarios en una zona determinada. Por ello, integrar el diagnóstico vial con las interpretaciones de los usuarios favorece la toma de decisiones en función a lo que se requiere. De este modo, se desarrollarán proyectos más accesibles y de carácter universal.

7.2. Recomendaciones

Se recomienda probar con otras herramientas de recolección de datos en simultáneo como conteo manual, grabación con dron o de alturas. El procesamiento de datos se hace mucho más sencillo con los conteos. Por otro lado, las grabaciones nos permiten registrar condiciones atípicas de circulación y caracterizarlas visualmente.

De realizarse grabaciones con dron, se sugiere considerar las condiciones climatológicas de viento y nubosidad. Estas determinan el desempeño del dispositivo y podrían obstaculizar la recolección de datos. Así mismo, se debe hacer pruebas de fotografía aérea para determinar si será posible captar los puntos de interés con un solo dron.

Por otro lado, es necesario inspeccionar la zona múltiples veces. De ese modo, se asegura que se estén asumiendo condiciones de circulación normales para el rediseño. Así mismo, el plan de recolección de datos será compatible con lo que se espera medir en campo.

Es recomendable que, a partir del análisis de los problemas críticos de la zona de estudio, se establezcan lineamientos que direccionen las propuestas de rediseño y el orden de prioridad entre ellos. De este modo, la evaluación cualitativa y cuantitativa permitirá obtener las mejoras compatibles a las características particulares de la zona de intervención.

8. Referencias

- Algers, S., Bernauer, E., Boero, M., Breheret, L., Di Taranto, C., Dougherty, M., ... Francois, G. (1997). *Smartest- Review of microsimulation models*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2001). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (Cuarta ed). Washington DC. Retrieved from <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-asstho-snh.pdf>
- Austroroads. (2011). *Guide to road design: Roundabouts* (Segunda ed). Sydney: Austroroads.
- Bong, S., Yeon, S., Han, K., & Young, S. (2005). Development of sensitivity term in car-following model considering practical driving behavior of preventing rear end collision. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1354–1367.
- Brilon, W., Wu, N., & Bondzio, L. (1997). Unsignalized Intersections in Germany - a State of the Art 1997. In M. Kyte (Ed.), *Third International Symposium on Intersections without Traffic Signals* (p. 18). Portland, Oregon. Retrieved from http://www.ruhr-uni-bochum.de/verkehrswesen/download/literatur/Briwubo_2004_09_28.pdf
- Cabrera Vega, F. I. (2018). Capítulo 6: Estudios de impacto vial (EIV). Lima.
- Conaset. (2016). *Función Efectos ¿ Cuándo se puede usar una mini rotonda ? Elementos de una mini rotonda*. Retrieved from https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/fichas_accion_34.pdf
- Dabbour, E., Al Awadhi, M., Aljarah, M., Mansoura, M., & Haider, M. (2018). Evaluating safety effectiveness of roundabouts in Abu Dhabi. *IATSS Research*, (2017). <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2018.04.003>
- Dall'Ara, E., Maino, E., Gatta, G., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2018). Green Mobility Infrastructures. A landscape approach for roundabouts' gardens applied to an Italian case study. *Urban Forestry and Urban Greening*, (January), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.011>
- Dextre, J. C., & Avellaneda, P. (2014). *Movilidad en zonas urbanas*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2016). Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras. *Ministerio de Transportes y Comunicaciones Del Perú*. Lima.
- Dourthé, A., & Salamanca, J. (2003). *Guía para Realizar una Auditoría de Seguridad Vial*.

- Santiago de Chile: CONASET.
- Federal Highway Administration. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software* (Vol. III). Washington DC.
- Federal Highway Administration. (2010). *Traffic Microsimulation Fundamentals*. Retrieved April 30, 2018, from https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysisitools/tat_vol3/sectapp_a.htm%0D
- Fernández, R. (2010). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. (J. C. Dextre, Ed.). Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica.
- Garcete Martínez, A. (2013). Control de velocidad en zonas de transición. Retrieved November 20, 2018, from <http://revistavial.com/control-de-velocidad-en-zonas-de-transicion/>
- Gehl, J., & Gemzoe, L. (2002). *Nuevos espacios urbanos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Herce, M. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad. Propuestas para recuperar un derecho ciudadano*. (E. Reverté, Ed.). Barcelona: Estudios Universitarios de Arquitectura 18.
- Hernández Betancourt, G., Vidaña Bencomo, J. O., & Esparza Rodríguez, A. (2015). Problemática en Intersecciones Viales de Áreas Urbanas: Causas y Soluciones. Ciudad de Juárez: Culcyt. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.08.003>
- Hernández, I. (2016). Ciudades policéntricas: hacia un nuevo bienestar social y urbano. Retrieved July 10, 2018, from <http://www.aoa.cl/boletin/ciudades-policentricas-hacia-un-nuevo-bienestar-social-y-urbano/>
- Higgs, B., & Tech, V. (2015). Analysis of the Wiedemann Car Following Model over Different Speeds using Naturalistic Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2009.24>
- Huvarinen, Y., Svatkova, E., Oleshchenko, E., & Pushchina, S. (2016). Road Safety Audit (pp. 236–241). San Petersburgo.
- Isebrands, H., Hallmark, S., & Fitzsimmons, E. (2016). Caja de herramientas para evaluar los impactos de las rotondas en un corredor o red vial. Buenos Aires.
- Jensen, S. U. (2017). Safe roundabouts for cyclists. *Accident Analysis and Prevention*, 105, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.09.005>
- Lazo Castro, C. O., & Araujo Barrientos, A. (2017). *Midro-simulación de vehículos atípicos: el caso de las moto-taxis en Villa María del Triunfo*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lieberman, E., & Rathi, A. K. (1993). *Traffic Simulation*. Washington DC: Federal Highway

Administration.

- Mathew, T. (2018). *Car Following Models*. Bombay.
- Menendez, J. M. (2015). Tráfico y Seguridad Vial, 68. Retrieved from <http://www.dgt.es/revista/num232/mobile/index.htm#p=40>
- Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. (2015). Transporte Urbano y Eficiencia Energética. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2010.09.027>.MicroRNA
- Mussone, L. (2013). The Analysis of Roundabouts through Visibility. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.608>
- National Cooperative Highway Research Program. (2003). Report 505: Review of Truck Characteristics as factors in Roadway Design. Washington DC: Transportation Research Board. <https://doi.org/10.17226/23379>
- National Cooperative Highway Research Program. (2010). *REPORT 672 Roundabouts :An Informational Guide*. Washington DC.
- Perovic, S., & Folic, N. K. (2012). Visual Perception of Public Open Spaces in Niksic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.277>
- Persia, L., Usami, D. S., De Simone, F., Beaumelle, V. F. D. La, Yannis, G., Laiou, A., ... Salathè, M. (2016). Management of Road Infrastructure Safety. *Transportation Research Procedia, 14*, 3436–3445. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.303>
- PTV Planung Transport Verkehr AG. (2012). VISSIM 5.40 - Manual del usuario. Karlsruhe. Retrieved from <http://www.ptvag.com/>
- Road Directorate. (2002). *Caminos hermosos: Manual de Arquitectura Vial*. Copenhagen: Ministry of Transport of Denmark.
- Sakshaug, L. (2009). Improving roundabouts for cyclists and visually impaired, 64. Retrieved from <http://lup.lub.lu.se/search/record/1648998>
- Sanz, A. (1997). *Movilidad y accesibilidad: un escollo para la sostenibilidad urbana*. (D. de C. para un futuro más Sostenible, Ed.).
- Siddharth, S. M. P., & Ramadurai, G. (2013). Calibration of VISSIM for Indian Heterogeneous Traffic Conditions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 104*, 380–389. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.131>
- Standards for Highways UK. (2007). *Design Manual for Roads and Bridges*. Reino Unido.

Retrieved from

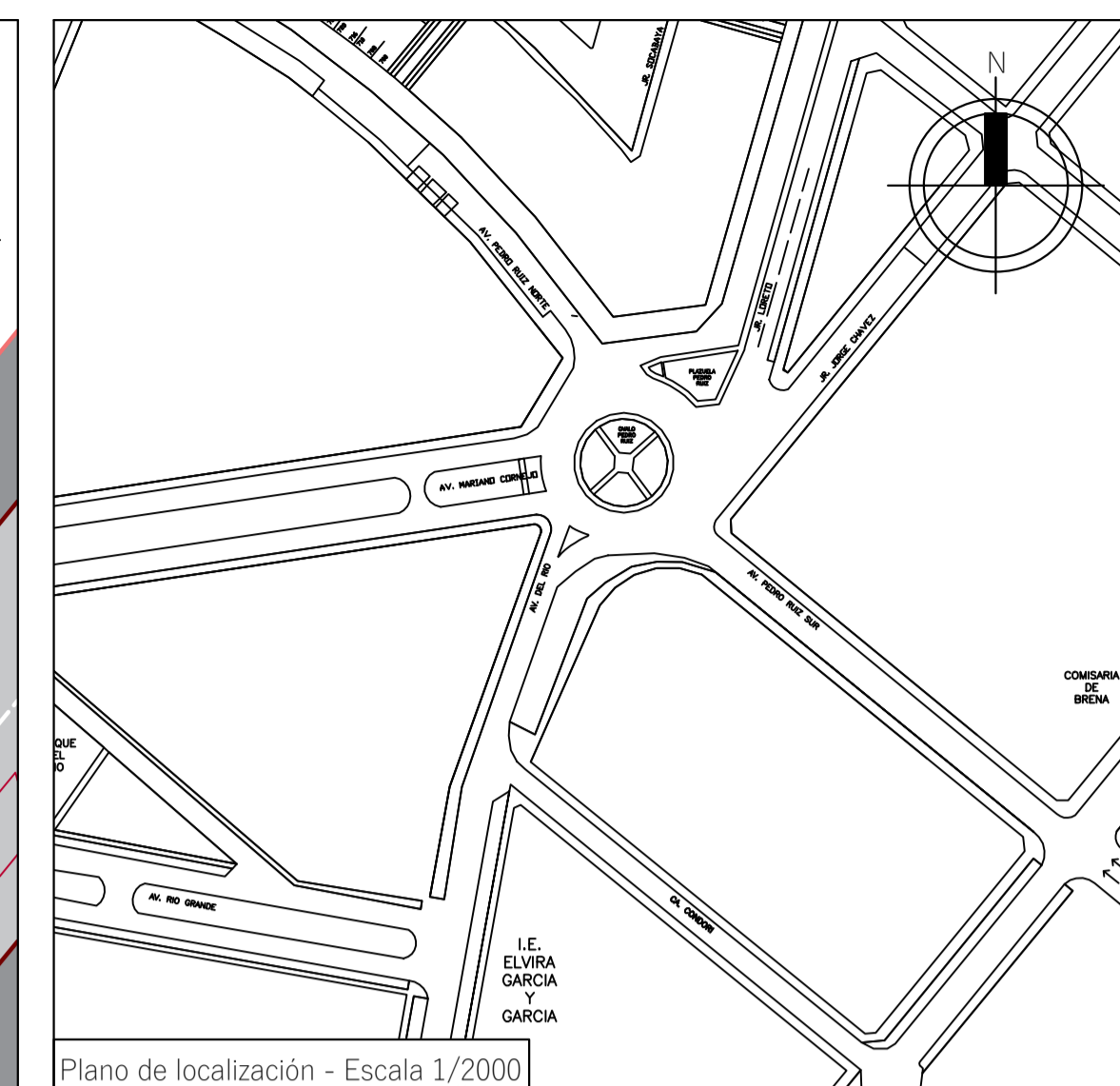
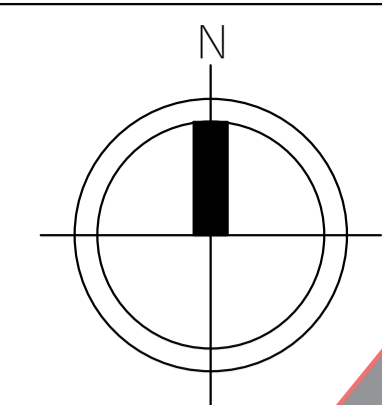
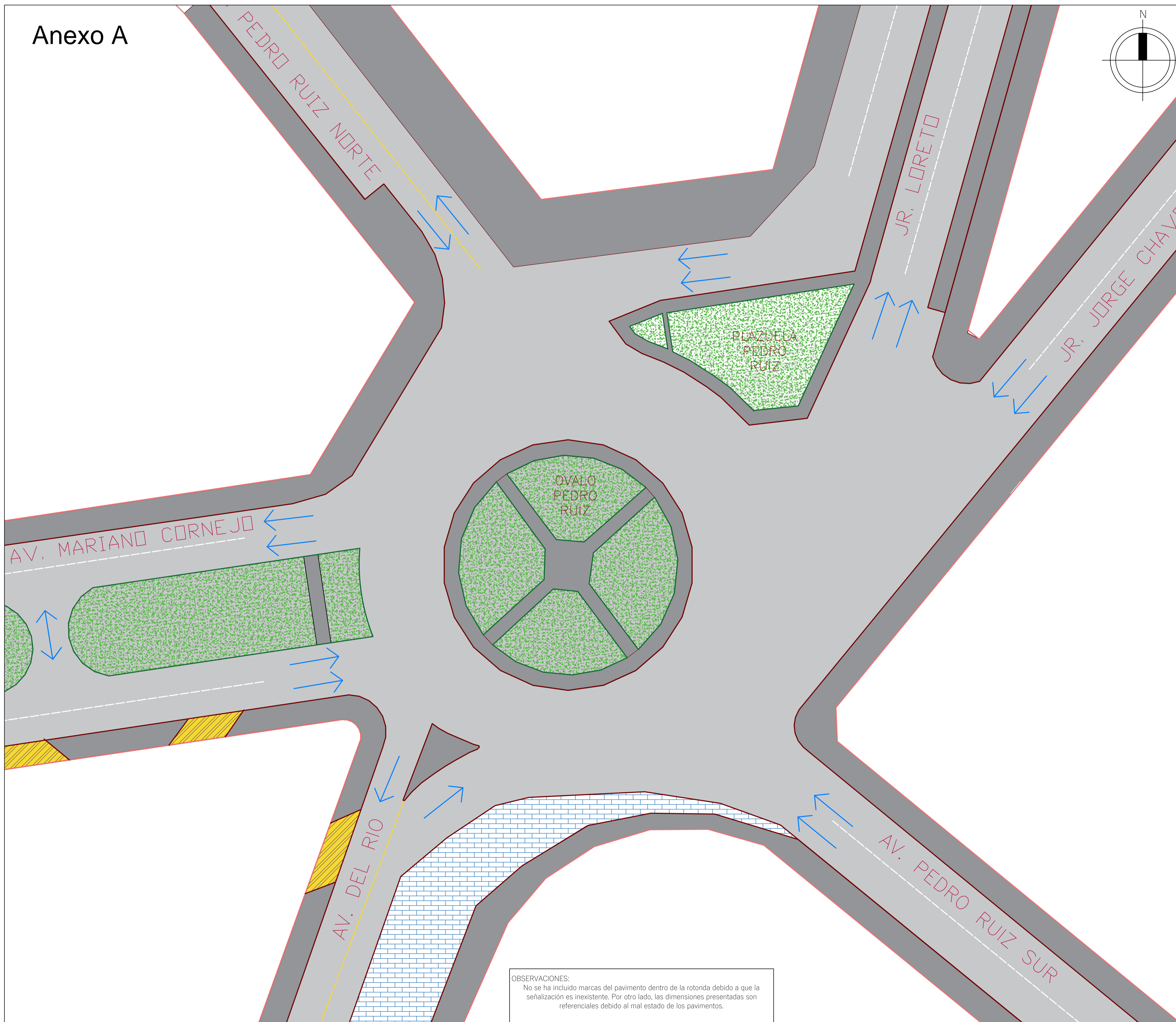
www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/dmrb/vol6/section2/td1607.pdf

Tonucci, F. (2004). *La ciudad de los niños. Un nuevo modo de pensar la ciudad* (Tercera ed). Buenos Aires.

Washington State Department of Transportation. (2017). Chapter 13 - Roundabouts - Design Manual M 22-01 (pp. 1–26). Washington. Retrieved from <http://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M22-01/1320.pdf>



Anexo A

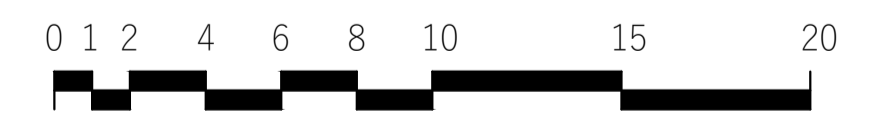


Plano de localización - Escala 1/2000

LEYENDA DE ÁREAS		
Tipo	Descripción	Ancho
	Veredas e islas peatonales	min. 1.50 m
	Pavimento de uso vehicular	min. 6.00 m
	Áreas verdes elevadas	-
	Accesos al grifo	min. 4.50 m
	Zona de adoquines para estacionamientos	-

LEYENDA DE LÍNEAS	
Tipo	Descripción
	Límite de propiedad
	Borde exterior de veredas
	Límites de ciclovía

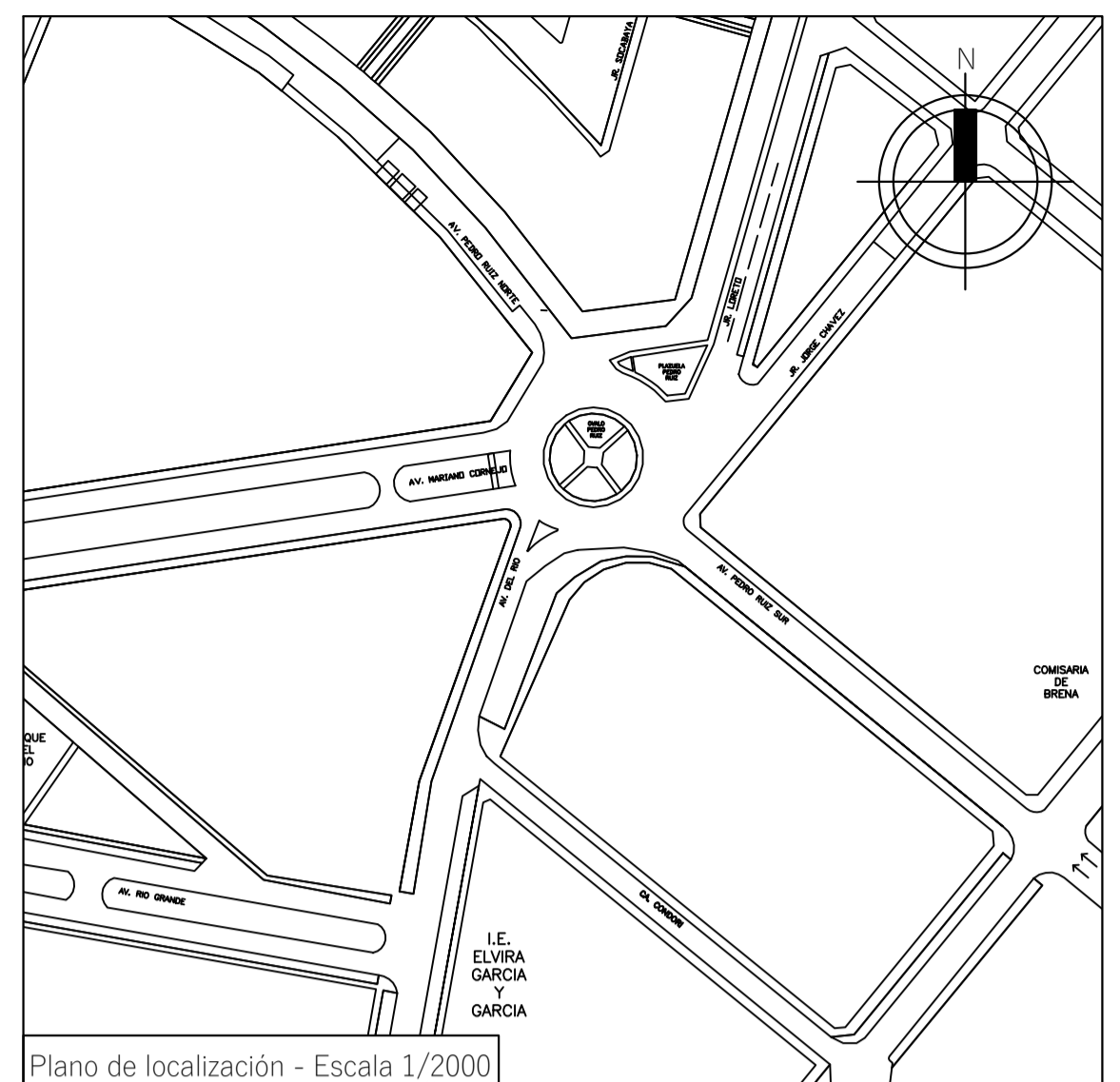
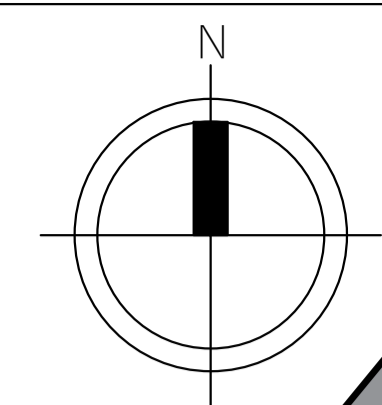
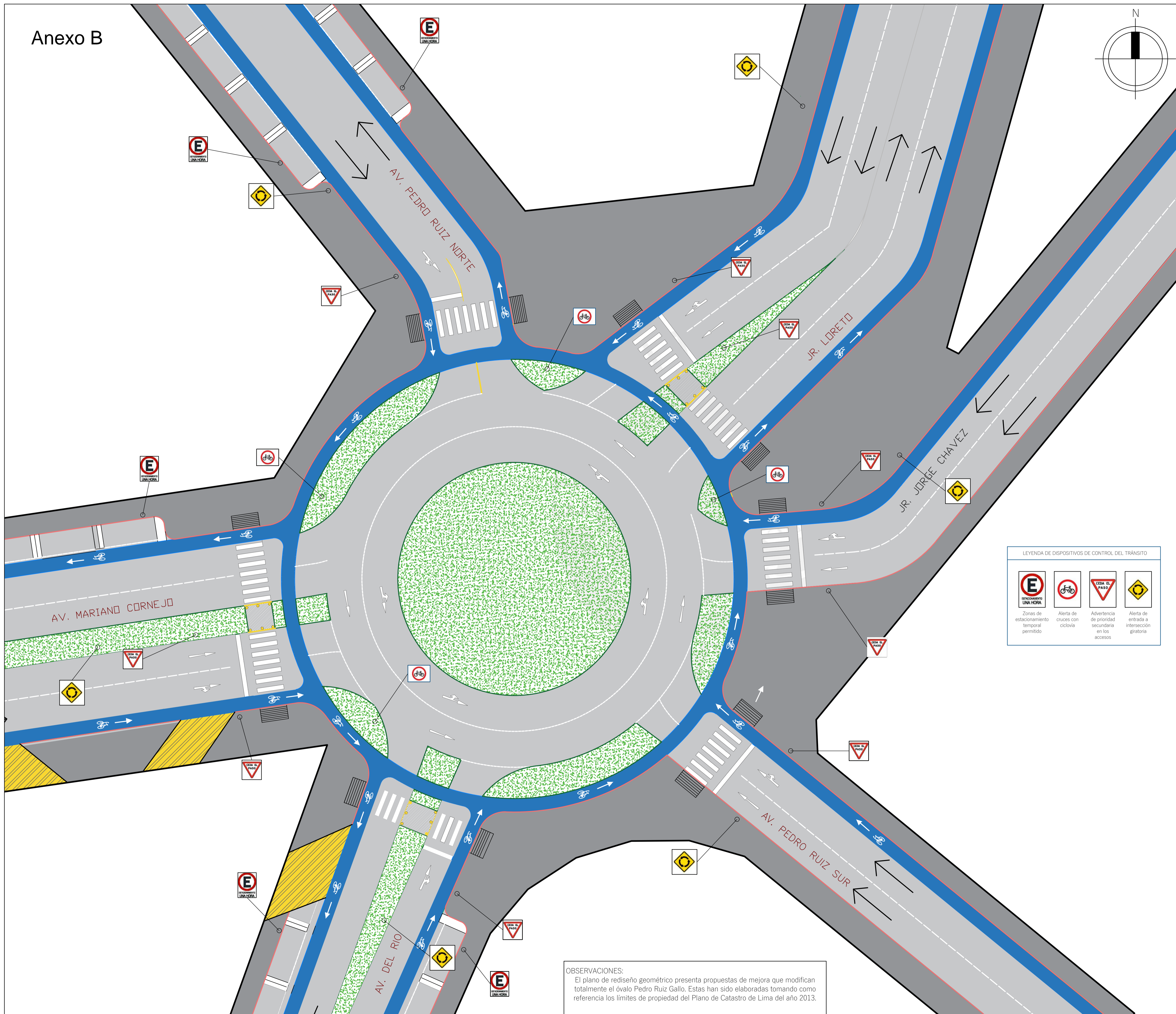
DIMENSIONES DE ELEMENTOS DE LA ROTONDA	
Descripción	Dimensiones
Diámetro de la circunferencia inscrita	-
Diámetro de la isla central	27.00 m
Ancho de carriles en el anillo de circulación	min. 4.50 m
Ancho de carril en las aproximaciones	min. 3.00 m
Ángulo de deflexión en las entradas	19° - 112°
Ángulo de deflexión en las salidas	45° - 63°



OBSERVACIONES:
 No se ha incluido marcas del pavimento dentro de la rotonda debido a que la señalización es inexistente. Por otro lado, las dimensiones presentadas son referenciales debido al mal estado de los pavimentos.

PROYECTO: Óvalo Pedro Ruiz Gallo	
UBICACIÓN: Límite entre distritos de Pueblo Libre y Breña	
PLANO: Estado actual de la intersección	
ELABORADO POR: Patricia Illacanchi Guerra	
ESCALA: 1/200	FECHA: 26/11/2018

Anexo B



Plano de localización - Escala 1/2000

LEYENDA DE ÁREAS		
Tipo	Descripción	Ancho
[Grey box]	Veredas	min. 2.30 m
[Light grey box]	Pavimento de uso vehicular	min. 7.00 m
[Blue box]	Ciclovías	min. 1.50 m
[Green box]	Áreas verdes elevadas	-
[Yellow box]	Accesos al grifo	min. 4.50 m
[Blue and white striped box]	Islas peatonales	3.00 m
[Black box]	Rampas peatonales	3.00 m
[Yellow circle]	Bolardos de isla peatonal	-

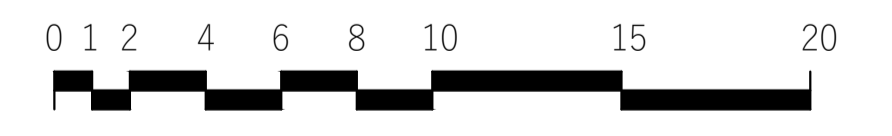
LEYENDA DE LÍNEAS	
Tipo	Descripción
[Black line]	Límite de propiedad
[Red line]	Borde exterior de veredas
[Blue line]	Límites de ciclovía

LEYENDA DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DEL TRÁNSITO

Zonas de estacionamiento temporal permitido	Alerta de cruces con ciclovía	Advertencia de prioridad secundaria en los accesos	Alerta de entrada a intersección grataria

DIMENSIONES DE ELEMENTOS DE LA ROTONDA	
Descripción	Dimensiones
Diámetro de la circunferencia inscrita	52.00 m
Diámetro de la isla central	26.00 m
Ancho de carriles en el anillo de circulación	4.00 m
Ancho de carril en las aproximaciones	3.50 m
Islas peatonales	3.00x3.00 m
Rampas de acceso peatonal	1.60x3.00 m
Ángulo de deflexión en las entradas	39° - 66°
Ángulo de deflexión en las salidas	53° - 60°

PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA ROTONDA	
Descripción	Valor
Longitud de vehículo de diseño tipo SU	9.20 m
Radio de giro interior de vehículo SU	9.00 m
Radio de giro exterior de vehículo tipo SU	13.00 m
Radio de giro de ciclistas	3.00 m
Velocidad deseada en aproximaciones	50 km/h
Velocidad deseada en el anillo de circulación	20-25 km/h



OBSERVACIONES:
El plano de rediseño geométrico presenta propuestas de mejora que modifican totalmente el óvalo Pedro Ruiz Gallo. Estas han sido elaboradas tomando como referencia los límites de propiedad del Plano de Catastro de Lima del año 2013.

PROYECTO:	Óvalo Pedro Ruiz Gallo	
UBICACIÓN:	Límite entre distritos de Pueblo Libre y Breña	
PLANO:	Propuesta de rediseño geométrico y señalización	
ELABORADO POR:	Patricia Illacanchi Guerra	P-02
ESCALA:	1/200	
FECHA:	26/11/2018	