

“ESTUDIO DEL TRÁFICO Y
MEJORA DE LA
INTERSECCIÓN JUAN
DOMINGO PERÓN, RUTA
PROVINCIAL N°46,[BRAGADO]
MEDIANTE EL DISEÑO
GEOMÉTRICO DE UNA
ROTONDA”

NOMBRE: PERACCA MARTINEZ MARIA SOL

MATRÍCULA: 801/7411

TUTORA: ARQ. BEATRIZ BARGIELA

Tesis para obtener el título de: Ingeniera Civil.
Fecha: 30 de octubre de 2020.
Lugar: Buenos Aires, Argentina.

Capítulo I

Introducción

1.1 Ingeniería de tránsito.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivo específico.....	3
1.4 Metodología.....	4
1.5 Alcance y limitaciones.....	5
1.5.1 Alcance.....	5
1.5.2 Limitaciones.....	6
1.6 Factibilidad del proyecto.....	6

Capítulo II

Datos

2.1 Reseña histórica de Bragado.....	7
2.2.1 Economía.....	9
2.2.2 Turismo.....	9
2.2.3 Redes de acceso.....	11
2.2.4 Censo.....	11
2.2.5 Clima.....	12
2.2.6 Zonificación.....	12
2.2.7 Campaña Nacional de concientización vial.....	13
2.3 Localización geográfica del proyecto.....	16
2.4 TDMA.....	16

Capítulo III

Marco teórico

3.1 Historia de la Infraestructura vial en Argentina.....	18
3.1.2 Definición y conceptos de Infraestructura vial.....	19
3.1.3 Historia del flujo vehicular.....	20
3.2 Definición de intersección.....	22
3.2.1 La seguridad vial y las intersecciones.....	22
3.2.2 Puntos de conflicto en una intersección.....	23
3.2.3 Tipos de intersecciones.....	24

3.3 Antecedentes históricos de las rotondas.....	24
3.3.1 Definición de rotonda.....	25
3.3.2 Ventajas y desventajas de rotonda.....	27
3.3.3 Tipos de rotondas.....	29
3.4 Comparación de categorías de rotondas.....	29
3.4.1 Minirrotondas.....	30
3.4.2 Rotondas de un solo carril.....	31
3.4.3 Rotondas multicarriles.....	31
3.5 Elementos de diseño.....	32
3.5.1 Configuraciones rurales.....	33
3.5.2 Requerimiento de espacio.....	34
3.5.3 Ancho de aproximación.....	35
3.5.4 Isleta central y diámetro de círculo inscripto.....	36
3.5.5 Ancho de la calzada circulatoria.....	38
3.5.6 Alineamiento vertical.....	40
3.5.7 Pendiente transversal normal.....	40
3.5.8 Isleta partidora.....	41
3.5.9 Diseño de la entrada.....	42
3.5.10 Ancho de entrada.....	42
3.5.11 Abocinamiento de entrada.....	43
3.5.12 Radio de entrada.....	43
3.5.13 Ángulo de entrada.....	43
3.5.14 Curva de trayectoria de entrada y velocidad vehicular.....	44
3.5.15 Trayectorias y velocidades máximas.....	45
3.5.15.1 Construcción de trayectorias vehiculares.....	46
3.5.16 Diseño de la salida.....	47
3.5.17 Distancia de visibilidad.....	48
3.5.17.1 Distancia visual de detención.....	48
3.5.17.2 Efecto de pendiente.....	50
3.5.17.3 Distancia visual de intersección.....	51
3.5.17.3.1 Longitud del lado de aproximación del triángulo visual.....	52
3.5.17.3.2 Longitud del lado conflictivo del triángulo visual.....	53
3.5.18 Condiciones específicas del sitio.....	54
3.6 Métodos de cálculo de la capacidad de una entrada.....	55

3.6.1 Métodos empíricos.....	55
3.6.2 Método CETUR.....	55
3.6.3 Ajuste del método CETUR.....	56
3.6.4 Formula del SETRA.....	56
3.6.5 Método HCM 2010.....	58
3.6.6 Método del TRRL.....	59
3.6.7 Métodos probabilísticos.....	62

Capítulo IV

Diseño geométrico

4.1 Dimension de la intersección.....	63
4.2 Tipo de rotonda.....	65
4.3 Flujo vehicular de la intersección.....	66
4.4 Cálculo de capacidad.....	70
4.5 Cálculo de flujo en entrada y flujo en conflicto DDS y FDS.....	71
4.5.1 Flujo en conflicto/entrada fin de semana.....	71
4.5.2 Flujo en conflicto/entrada días de la semana.....	72
4.5.2.1 Fotografías del volumen vehicular.....	73
4.5.2.2 Fotografías del volumen vehicular en la fiesta Nacional del Caballo..	75
4.5.3 Ancho de aproximación.....	76
4.5.4 Diámetro de circulo inscripto.....	78
4.5.5 Isleta central.....	79
4.5.6 Ancho de la calzada circulatoria.....	80
4.6 Trazado de accesos.....	81
4.6.1 Isleta deflectora.....	81
4.6.2 Ancho de entrada.....	82
4.6.3 Radio de entrada y salida.....	83
4.6.4 Velocidad vehicular estimada.....	84
4.6.5 Trayectoria y velocidades máximas.....	85
4.6.6 Distancia de visibilidad.....	88
4.6.6.1 Distancia visual de detención.....	88
4.6.6.2 Distancia visual de intersección.....	89
4.7 Capacidad de la Rotonda.....	90
4.7.1 Método TRRL.....	90

4.7.2 Método HCM 2010.....	94
4.7.2.1 Ajuste para vehículos largos.....	94
4.7.2.2 Flujo circular ajustado.....	95
4.7.3 Capacidad por Setra.....	95

Capítulo V

Resultados.....	98
-----------------	----

Capítulo VI

Conclusiones y comentarios.....	101
---------------------------------	-----

Bibliografía

Anexo A

FACULTAD DE INGENIERIA

“El camino ideal no tiene ningún cartel de peligro, porque todos los peligros previsibles fueron eliminados por la ingeniería vial”

(Ing. Pascual Palazzo 1940)

Agradecimientos

Durante el transcurso de este proyecto, el apoyo y las ayudas para recopilar información han sido, realmente, valiosas y variadas. Desde consejos, ideas, opiniones, hasta documentación detallada, ayudaron a que este proyecto pueda concretarse. Por tal motivo, en estas líneas iniciales quisiera agradecer:

En primer lugar, a mi tutora, Beatriz Bargiela, por brindarme su tiempo, sus consejos y su apoyo, en todo momento. En la situación que vivimos actualmente, el tiempo vale doble y, aun así, conté con su presencia permanentemente, compartiéndome su sabiduría y sus opiniones.

Al profesor Marcelo Kainz, por ayudarme en la comprensión de ciertos aspectos, a través de sus consejos y su experiencia. Respondiendo de manera inmediata a las inquietudes que se me presentaron y brindándome su ayuda siempre. Gracias a ello, pude comprender el tema, en profundidad, y llevar a cabo el proyecto.

Al Ingeniero Nicolás Lizarralde, por ayudarme a recopilar información y brindarme sus consejos, a lo largo de este camino.

A todo el grupo de trabajadores del sector de monitoreo de la Municipalidad de Bragado, que lograron que obtenga la información que fue realmente relevante para escribir el texto. Especialmente, al director Oscar Martignone, quien me permitió que acceda al sector de Monitoreo (excelente profesional y con una empatía descomunal).

A mis amigos, quienes han colaborado todo este tiempo, desde el inicio de la carrera, apoyándome y facilitando el camino transcurrido. Especialmente a Gastón, Stella, Ramiro y Cristian.

A mi familia, principalmente a mi madre, quien me criò desde el amor y me dio la posibilidad de elegir la profesión que tanto me apasiona, apoyándome en todo momento y confiando en mí, siempre. A mi padre, por inculcarme la valentía y fuerza de seguir, aunque se presenten obstáculos en el camino. A mis hermanos, por todos estos años vividos juntos y desde su lugar, apoyándome siempre. Con ellos, el camino es más fácil.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Ingeniería de tránsito

A la ingeniería de tránsito, se la conceptualiza como, “la fase de la ingeniería de transporte, que se ocupa de la planificación, del diseño geométrico, de las operaciones de tráfico en calles, sus redes, infraestructura y las relaciones con otros modos de transporte” (Institute of Transportation Engineers,2009, p.1).

La ingeniería de tránsito, ha permitido evaluar y estudiar las variables propias del tráfico en las ciudades, enfocándose principalmente en el estudio de los elementos del tránsito como vehículos, peatones, ciclistas, señalización y en el comportamiento de las variables del tránsito, ya sea velocidad, volumen vehicular, densidad. Gracias a las relaciones matemáticas creadas entre el volumen de tránsito, la velocidad y la densidad, permitieron realizar pronósticos del comportamiento de cada variable respecto a las demás, así como también identificar la influencia que tienen sobre ellas, las características de ciertos elementos de tránsito (vía, señalización, el vehículo).

En forma complementaria, se han estudiado las características físicas y geométricas de la infraestructura a través de la realización de inventarios. La información obtenida a través de este conjunto de estudios, ha permitido, evaluar en forma eficiente, la capacidad y los niveles de servicio de calles y carreteras, así como del servicio de transporte público, incorporando al análisis de resultados, el uso de software especializado empleado para la modelización, con buenos resultados (Quintero González,2011)

La ingeniería de tránsito ha sido creada debido al incremento de vehículos por año que se producen en los diversos países del mundo, incremento que ha beneficiado el desarrollo urbano de las ciudades, debido a que la mayoría de vías han sido diseñadas sin tomar en cuenta la alta tasa vehicular existente hoy en día y a futuro.

El tráfico es uno de los condicionantes fundamentales de toda obra vial o estudio de carreteras. El conocimiento, lo más profundo posible, de su volumen y características es necesario para la correcta elaboración de cualquier estudio de alternativas, anteproyecto o proyecto de carreteras.

Cuando se diseña una carretera, la selección de sus diferentes características, dependen fundamentalmente del volumen de tráfico o de la demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado (período de diseño), de su variación y su composición. El estudio y optimización de una red de tráfico incluyen la caracterización de la infraestructura y su capacidad, las investigaciones de campo necesarias para conocer las relaciones origen/destino canalizadas por el sistema y sus principales características (motivo de viaje, aparcamiento en origen y destino, ocupación de los vehículos, tiempo de viaje, etc.). De esta manera, es posible maximizar la eficiencia social del espacio vial disponible, asegurando el mejor equilibrio posible entre los intereses de los diferentes agentes y usuarios del sistema.

1.2 Planteamiento del problema

En el interior de la Provincia de Buenos Aires, más específicamente en el centro noroeste de la Provincia, se encuentra la ciudad de Bragado, ciudad muy conocida por los festivales que se realizan y por situarse geográficamente en la zona núcleo, área agrícola de Argentina.

La ciudad presenta un gran y conocido problema a escala local, en una de sus principales entradas a la ciudad, concretamente en la traza de la Ruta Provincial N°46, que separa el acceso Juan Domingo Perón del ingreso al Parque Lacunario General San Martín. En dicha intersección, se registra una intensa circulación de vehículos, tanto de Bragado como también de otras ciudades y pueblos cercanos. También, son muchos los ciclistas y peatones que realizan actividades deportivas y atraviesan el cruce permanentemente.

Precisamente por ello, al tratarse de una zona de tránsito intenso, el cruce de ruta y la confluencia de accesos, es una zona altamente peligrosa, lo que genera que por lo menos tres días a la semana, el personal de tránsito deba dirigir de

forma manual los flujos vehiculares, para así disminuir la peligrosidad y reorganizar el tránsito

Por lo tanto, resulta fundamental la reconstrucción y mejoramiento de dicha intersección a fin de evitar accidentes viales, permitir una mejor fluidez y seguridad del tránsito en la zona.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Mejorar la intersección de uno de los principales accesos a la ciudad de Bragado, mediante el diseño geométrico de una rotonda, optimizando la circulación del flujo de tránsito vehicular, ciclista y peatonal y previniendo cualquier tipo de riesgo originado por una mala infraestructura vial.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio del flujo vehicular, ciclista y peatonal de la intersección Juan Domingo Perón-Ruta Provincial N°46.
- Proyectar y diseñar la mejor alternativa de intersección, acorde a la demanda actual de flujo vehicular.
- Eliminar, mediante el diseño geométrico de una rotonda, cualquier tipo de riesgo previsible para los ciudadanos de Bragado y para los que transitan por la Ruta N°46 sin entrar a la ciudad.
- Calcular la capacidad de entrada de la rotonda mediante el método TRRL (Transport Road and Research Laboratorio), el HCM (Highway Capacity Manual 2000) y el método SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes).

- Analizar la viabilidad de las opciones planteadas de diseño geométrico de rotonda, en la intersección Juan Domingo Perón-Ruta Provincial N°46 y optar por la mejor solución.
- Elaborar solamente en planta, el diseño geométrico de la rotonda elegida.

1.4 Metodología

El presente proyecto, se dividió en siete meses de trabajo. Los primeros cuatro meses, fueron utilizados para recolectar información, hacer un análisis profundo de la ciudad y consultar opiniones, tanto al personal de Tránsito, de Policía, como de anteriores intendentes, sobre el historial de la intersección. Además, conocer, de qué manera afecta el diseño actual de la intersección, a la calidad de vida de los Bragadenses.

Una vez obtenida la información necesaria, nos enfocamos en brindar la mejor solución, para que la problemática que presenta, actualmente ese ingreso a la ciudad, no siga afectando la vida de nadie.

A continuación, detallaremos la información recopilada durante los meses de trabajo.

- En principio, se efectuó un trabajo de recopilación de información acerca de rotondas a lo largo de la historia. El mismo abarca, desde los comienzos en las construcciones de rotondas, los tipos y los diseños que se encuentran presentes en trabajos ingenieriles, con sus respectivas especificaciones técnicas, que nos ayudaron a determinar el tipo de rotonda a diseñar.
- Luego, mediante la ayuda de la Dirección de Seguridad de la ciudad de Bragado, pudimos recopilar grabaciones de la intersección Juan Domingo Perón y Ruta Provincial 46, pertenecientes al año 2019. Con las mismas, realizamos un conteo manual de flujo vehicular aproximado, en la hora pico.

También, gracias a la Dirección de Vialidad Provincial, conseguimos el TDMA (transito medio diario anual) perteneciente a la intersección y,

además, los accidentes registrados durante los últimos 3 años. Si bien es un aproximado, ya que la base de datos de Vialidad Provincial se carga mediante fuentes periódicas, lo cual implica que existe una gran probabilidad de que haya ocurrido más accidentes que lo registrado, nos sirvió para tener una idea de la peligrosidad de la intersección.

- Posteriormente, se realizó la medición del terreno. Con la ayuda de Google Earth, pudimos obtener las medidas del ancho de cada ramal y de la intersección propiamente dicha. Además, nos acercamos al lugar, para poder estudiar en detalle la intersección y, al mismo tiempo, obtener fotografías del mismo.
- Seguidamente, y ya con una idea aproximada del diseño geométrico ideal y acorde al flujo vehicular actual y futuro, se realizó el diseño geométrico con el software "AutoCAD".
- Por último, se desarrolló el cálculo sobre la capacidad de entrada de la rotonda, por tres métodos: 1) Método TRRL (Transport Road and Research Laboratorio) 2) HCM (Highway Capacity Manual). 3) Método Setra (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes).

1.5 Alcance y limitaciones

1.5.1 Alcance

El alcance de este proyecto, se basa principalmente, en diseñar una rotonda que se adapte al volumen de flujo vehicular pasante por la intersección de la Ruta Provincial 46 a la altura del Acceso Juan Domingo Perón en Bragado Provincia de Buenos Aires, y que, además, elimine, cualquier tipo de riesgo posible, generado sobre las personas que transitan dicha intersección.

1.5.2 Limitaciones

Durante el desarrollo del proyecto, se presentaron ciertas limitaciones:

- Debido a la situación en que nos encontramos actualmente, a raíz de la pandemia y la cuarentena vigente, no se pudo realizar un muestreo manual del tráfico circulante en la intersección Juan Domingo Peron y Ruta Provincial 46.
Lo antes dicho, hace que el tráfico que circula por dicha zona, no sea el volumen habitual.
- No se pudo verificar si los datos obtenidos por la Dirección Vialidad Provincial, sobre cantidad de accidentes son los números reales o existe aún más accidentes de lo registrado.
- Por la falta de perfiles topográficos, no se pudo realizar un trazado en alzado de la rotonda, con el fin de poder hacer una presentación más acabada.

1.6 Factibilidad del proyecto

El desarrollo de este proyecto es factible, ya que se cuenta con el material necesario para diseñar el tipo de rotonda, acorde a la situación de la zona, y para poder realizar los cálculos que ayuden a optar por la mejor alternativa.

La construcción de una rotonda en la intersección Ruta Provincial N°46 y Acceso Juan Domingo Peron, resultó ser la mejor solución para controlar el volumen de tránsito circulante por la zona y además, para prevenir y evitar riesgos ocasionados por una mala distribución de accesos.

CAPITULO II

DATOS

Este capítulo se centrará en analizar la estructura urbana de la ciudad de Bragado, enfocándose precisamente, en la zona donde se llevará a cabo el proyecto.

2.1 Reseña histórica de Bragado

La ciudad de Bragado se localiza en el interior de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), a 210 km al oeste de la ciudad de Buenos Aires. Nace en 1846, como un cantón militar en la lucha contra el indio, siendo declarada ciudad recién en 1908. (Código de Ordenamiento Territorial, decreto 2150,2016).

Cuenta con una superficie total de 223000 hectáreas, limitando con los Partidos de Junín, Chacabuco, Alberti, Gral. Viamonte, 9 de Julio y 25 de Mayo. Son nueve localidades las que forman parte del Partido de Bragado, entre ellas Bragado, Comodoro Py, Gral. O'Brien, Irala, La Limpia, Máximo Fernández, Mechita, Olascoaga y Warnes.

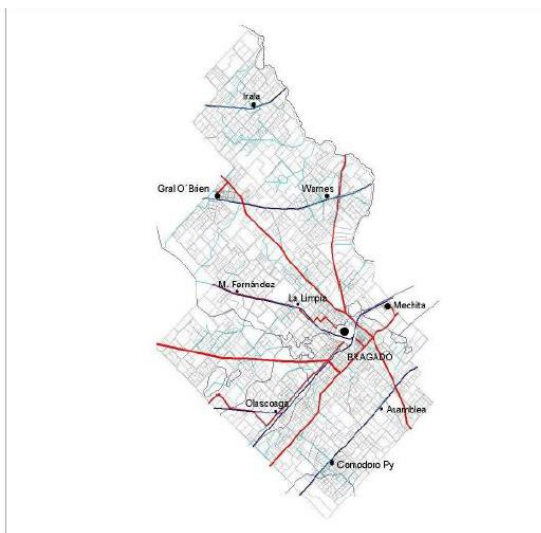


Figura 2.1 Fuente: Código de Ordenamiento Territorial Urbano-Ambiental del partido de Bragado decreto 2150,2016.

Bragado, como ciudad urbana, se considera que tiene bastante movimiento, especialmente en la zona central y a medida que se va alejando hacia la zona residencial, esta disminuye. A pesar de ello, es una ciudad tranquila y plácida.

Cuenta con una óptima red de servicios y una importante superficie global de espacios verdes urbanos y periurbanos, destacándose el Parque Gral. San Martín, ubicado a solo 2km del centro de la ciudad, precisamente en la intersección en la que se estudia en este proyecto.

El parque es un verdadero pulmón situado al borde de la Laguna de Bragado (con un espejo de agua de 300 hectáreas y otras tantas de forestación en el entorno), es elegido por los habitantes de la ciudad para pasar el día, realizar actividad física, o simplemente pasear por la zona. Dicho parque, además, cuenta con lugares para camping, sanitarios y restaurante. No solamente es utilizado por los propios ciudadanos de Bragado, sino también por habitantes de ciudades linderas. Es una de las zonas de mayor concentración de personas de la ciudad, durante todas las estaciones del año, pero con mayor demanda en primavera y verano, por lo cual, es de suma importancia poder brindar a los ciudadanos, tanto de Bragado como de ciudades vecinas, una intersección segura y cómoda para mejorar la calidad de vida de los mismos.

Las distancias entre lugares de trabajo, vivienda, estudio y sitios de recreación son muy cortas, por lo tanto, el traslado se facilita y abarata pudiendo llegar en bicicleta o caminando, pocos minutos a cualquier lugar.

En cuanto a la seguridad, los índices de inseguridad son muy bajos, lo que permite, que los chicos circulen por la ciudad sin ninguna limitación, siendo el Parque Lacunario uno de los lugares de mayor concurrencia, que como mencionamos anteriormente, se sitúa en la intersección estudiada.

En cuanto a lo cultural, es intensa y se realizan gran cantidad de actividades a lo largo de todo el año, generando así mayor afluencia de tráfico, especialmente en los puntos focales de Bragado y, por supuesto, mayor concentración de automóviles en las entradas a la ciudad.

2.2.1 Economía

El Código de Ordenamiento Territorial Urbano-Ambiental del Partido de Bragado (2016), documenta que, la actividad económica se divide, en los aportes provenientes por los recursos de los sectores agropecuario, comercial y de servicios a la actividad industrial, destacándose, el sector agropecuario, por tratarse de una ciudad ubicada en la zona núcleo de la pampa fértil, aportando suelos aptos para la producción agropecuaria de muy buena calidad.

Esto genera, que la circulación de transporte pesado en ambas entradas a la ciudad de Bragado, sea importante. Por lo tanto, es indispensable que ambas entradas, brinden una circulación segura, cómoda y en óptimas condiciones, tanto para el bienestar del flujo que proviene de otras ciudades a trabajar a Bragado, como también para los propios habitantes de la ciudad.

2.2.2 Turismo

El turismo en Bragado abarca grandes actividades muy conocidas a nivel nacional, entre ellas, se destaca la Fiesta Nacional del Caballo, la cual hace más de 30 años que se realiza y es una de las más importantes del país. Son cinco días a puro folklore, que comienzan con el representativo ritual donde se encienden los fogones, en los cuales, diferentes instituciones ofrecen asados, empanadas criollas, vinos y comidas tradicionales. El Parque Lacunario, alberga a quienes disfrutan acampando y es la cuna del asado criollo que degustan todos los participantes del desfile.

En esta fecha, se registra un gran colapso de la intersección, por lo que, además de lentificar el tránsito a todos los turistas que vienen a disfrutar del festival, como a los propios ciudadanos de la ciudad, también, involucra a toda aquella persona que circule por la ruta N46, y deba cruzar la intersección.

Por lo tanto, este no es solo un problema que compromete a los habitantes de la ciudad de Bragado, sino también a todo aquel trabajador o simplemente turista que pase por el cruce, poniendo en riesgo la vida de todos.

Además, vale resaltar, el trabajo que realizan el personal de la dirección de Tránsito, debiendo estar las 24hs del día en la intersección, para, así, evitar

grandes colisiones y poder organizar tanto el flujo vehicular como también peatonal. En la página 76, se adjuntaron imágenes donde se puede apreciar el gran colapso que se genera.

También la Municipalidad hace mención al Complejo Cultural Teatro Florencio Constantino, la cual es una de las salas teatrales más importantes del país, muy reconocida internacionalmente por su calidad acústica y su belleza arquitectónica.

Además, cuenta con el Parque Lacunario General San Martín, como mencionamos anteriormente, muy utilizado por los habitantes de la ciudad, como también por aquellos de ciudades vecinas. De esta manera, brindarle mayor seguridad a la entrada de parque, incentiva a que se utilice aún con más frecuencia y pueda explotarse totalmente, siendo un gran beneficio, tanto para la economía de la ciudad, como para la calidad de vida de quien viven en la ciudad o en las cercanías.

El deporte es muy reconocido también en la ciudad, realizándose la Doble Bragado de Ciclismo y la Revancha de la Doble Bragado. La Doble Bragado, es una competencia ciclística de ruta que se realiza desde 1922. Es considerada la más importante de la Argentina.

Por lo anteriormente comentado, el ciclismo es muy valorado en Bragado, siendo muchos los ciudadanos que practican el deporte, atravesando reiteradamente la intersección de la Ruta provincial 46 y el acceso Juan Domingo Perón.

Como podemos ver, el cruce a estudiar, es un punto focal importante en la ciudad, por esta razón es que nos genera inquietud y nos incentiva a realizar un estudio de la zona, para poder brindar la mejor solución y así, beneficiar, la economía de la ciudad, como también ofrecer, seguridad, comodidad y otorgar la importancia que merece tener la entrada a la ciudad de Bragado.

2.2.3 Redes de acceso

La Ruta Nacional N° 5 y la Ruta Provincial N° 46 comunican a Bragado con los principales centros urbanos y puertos de la Provincia. Estas permiten el tránsito de diversos medios de transporte que facilitan la comunicación y vinculación con el resto del país.

Que la intersección se mantenga en las condiciones que se encuentra actualmente, no solo pone en riesgo la vida de todo aquel trabajador que deba cruzar la zona, sino también, comprometa a la economía, generando aún más gasto en transporte e incentivando pérdidas de mercaderías en posibles colisiones.

En el siguiente plano, podemos observar las redes de acceso a la ciudad de Bragado



Figura 2.2 Fuente: Google

2.2.4 Censo

Bragado cuenta con una población de 41,336 habitantes (Indec,2010). Ocupa 2.230 km², y la densidad es de 18,1 hab./km². El cambio anual que se registró a lo largo de los años fue un aumento del +0.13% entre 2001-2010, un +1.14% entre 2010-2011 y un +0.07% entre 2011-2015

Considerando la pandemia y la situación actual, a nivel nacional, en la que se encuentra la economía, incita a las personas a mudarse e invertir en ciudades del interior. Bragado, al tratarse de una ciudad bastante desarrollada económicamente, registro durante los últimos meses un aumento poblacional por

parte de ciudadanos que se encontraban viviendo en ciudades más grandes, como ser la Capital Federal.

Está demostrado, que el incremento de personas, para querer vivir en ciudades del interior, en este último tiempo, fue altísimo.

Por lo que aún más, nos parece el momento adecuado y justo, para reformar la intersección

2.2.5 Clima

El territorio de Bragado está comprendido en el tipo de clima “templado pampeano”, caracterizado por veranos calientes, húmedos y mayormente despejados, que van de noviembre a marzo, con temperaturas medias entre 19° y 23°; y los inviernos, que son cortos, fríos y parcialmente nublados, comprendidos entre mayo a agosto, presentan temperaturas medias superiores a 8°. (Código de Ordenamiento Territorial Urbano-Ambiental del Partido de Bragado,2016.). Esto indica que, no va a ser una limitación a la hora de pavimentar la zona.

2.2.6 Zonificación

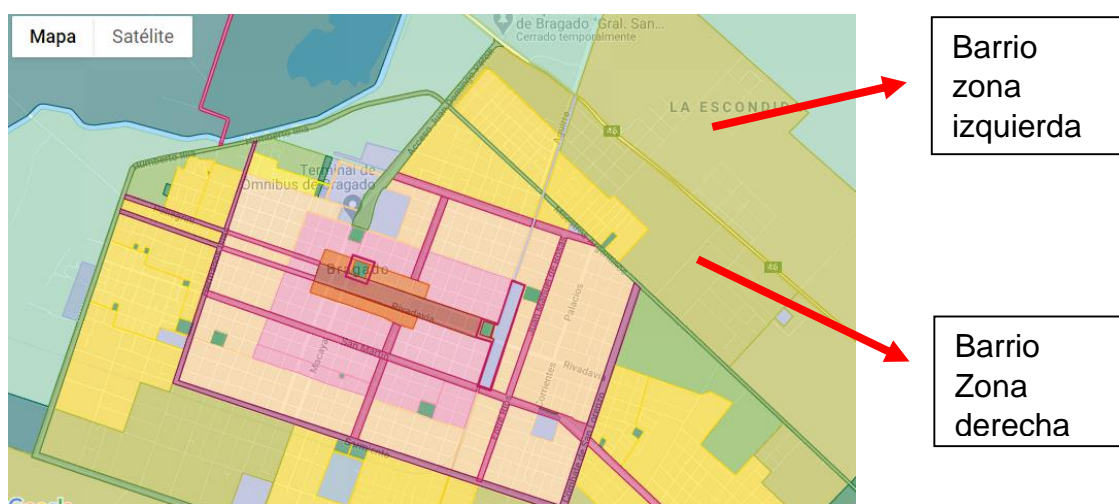


Figura 2.3 Fuente: Municipalidad de Bragado

En la imagen 2.3, se puede observar cómo se distribuyen los distintos sectores de la ciudad. En centro del mapa, graficado con el color violeta más intenso, se ubica la zona comercial, perimetrando la misma, se encuentra la zona

residencial. En color lila, y a medida que se va alejando va disminuyendo el volumen de desocupación. Actualmente, en la zona residencial, no hay parcelas libres disponibles, lo que conlleva, a que cada vez más, son los barrios y lotes que se ocupan sobre la ruta 46.

Antiguamente, sobre la ruta Provincial N° 46, entre acceso Juan Domingo Perón y ruta Nacional N° 5, se visualizaban quintas solo de uso vacacional, por lo tanto, era más frecuente, notar mayor demanda en la intersección, en épocas de primavera-verano. Hoy en día y ya hace unos años, se puede observar como la población elige la zona citada anteriormente, para residir allí, principalmente, porque como mencionamos, en el casco urbano no quedan lotes disponibles, y, además, esta zona, al tratarse de una zona rural, cuenta con terrenos de grandes dimensiones. También, vale agregar, que es la zona más vistosa, cuidada y segura, que tiene la ciudad, razón por la cual incita a los habitantes a elegirla.

Hace unos pocos años, se estrenó un barrio de viviendas de interés social construido por el municipio, del lado izquierdo de la ruta Provincial 46, mientras que, en el lado derecho se ve la cantidad de parcelas loteadas actualmente.

2.2.7 Campaña Nacional de Concientización Vial Estrellas Amarillas

Bragado forma parte de la fundación Laura Cristina Ambrosio Battistel, por incentivo del Rotary Club Bragado, el cual procedió al lanzamiento del programa Estrellas Amarillas.

Se instaló un monolito alusivo a las víctimas del tránsito en la intersección Ruta Provincial 46 y Acceso Juan Domingo Perón, tratándose de una estrella de hormigón, un símbolo que apelara a la prudencia para cuando se cruce la intersección y se salga a la ruta.

Según describe la Fundación (2008), este programa de pintar con una estrella amarilla los lugares en donde distintos vecinos han perdido la vida en un accidente de tránsito, tiene como objetivo recordar a las personas que han sido víctimas fatales en accidente de tránsito y por el otro lado advertir a quienes transitan por el lugar, que se trata de un punto crítico, que demanda mucha

prudencia y responsabilidad al conducir. En las figuras 2.6,2.7 y 2.8 se pueden ver las estrellas pintadas en la intersección.

La Fundación Laura Cristina Ambrosio Battistel fue creada para luchar contra los hechos de tránsito, concientizando y previniendo sobre este flagelo que ha elevado a nuestro País al puesto N° 1 en el mundo en accidentología vial.

El objetivo es lograr una sociedad que pueda auto educarse en normas viales, manteniendo un respeto íntegro por la vida propia y la de los demás, trabajen para disminuir la problemática de los delitos de tránsito, promoviendo un cambio de actitud a través de la concientización y educación vial, buscando despertar una actividad pro-activa por parte de la ciudadanía.

“El accidente hace referencia a un suceso eventual involuntario que resulta en algún daño, mientras que el delito de tránsito suele estar ocasionado por la carencia de infraestructura vial, entre ellas la falta de calles y rutas adaptadas, cruces peligrosos, falta de señalización, y de iluminación, además de vehículos sin luces, por transitar a altas velocidades, manejar en estado etílico, desconocimiento de normas, no utilización de cinturón de seguridad, entre muchas otras”. (Julio Ambrosio,2008).

Esta aclaración busca que nos hagamos responsables de nuestras tareas como ciudadanos, políticos y conductores.

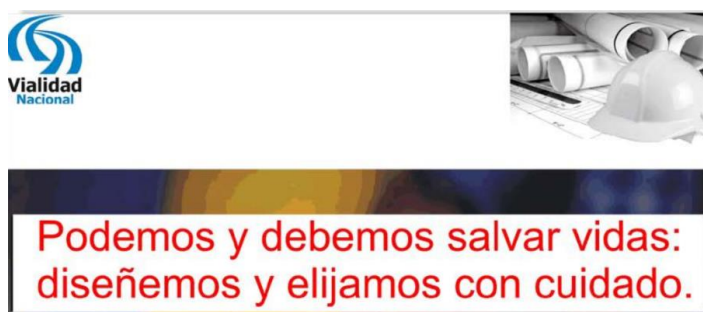


Figura 2.4 Fuente: DNV 2010



Figura 2.5 Fuente: Elaboración propia. Foto carril 2.



Figura 2.6 Fuente: Elaboración propia. Foto carril 5.



Figura 2.7 Fuente: Elaboración propia. Foto carril 1



Figura 2.8 Fuente: Elaboración propia. Foto centro de la intersección.

2.3 Localización geográfica del proyecto

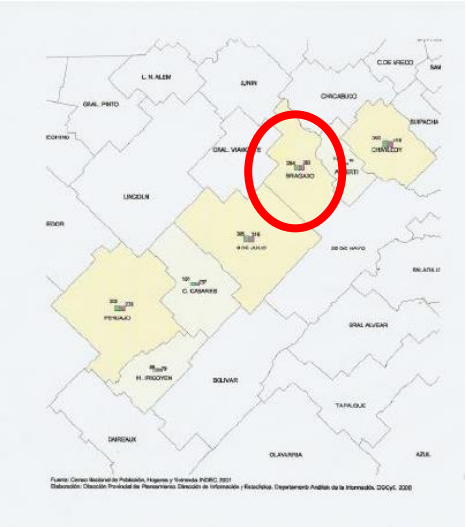


Figura 2.9 Fuente: Catastro Bragado



Figura 2.10 Fuente: Google

2.4 Tránsito medio diaria anual

Como se mencionó en el punto 1.6, se obtuvo, por medio de la Dirección de Vialidad Provincial, el valor del tránsito medio diario anual (TDMA) y la cantidad y gravedad de siniestros en los últimos tres años en la intersección Juan Domingo Perón-Ruta Provincial N°46. En la figura 2.11 y 2.12 se aprecia la información.

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección de Vialidad de Buenos Aires										
Subgerencia de Planificación Vial										
División Seguridad Vial										
								2016		
Ruta	Tramo	Límites del Tramo	Carriles	Long.	Cant. Acc.	Cant. Muertos	Cant. Acc. c/Muerto	IP	IM	IAM
46	1	RP51 (25 de Mayo) - RP40	2	12	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	2	RP40 - RN5 (Bragado)	2	38.6	1	0	0	2.81	0.00	0.00
	3	RN5 (Bragado) - RP42	2	6.03	2	1	1	18.65	9.32	9.32
	4	RP42 - RP65 (Junin)	2	64	0	0	0	0.00	0.00	0.00
								2017		
Ruta	Tramo	Límites del Tramo	Carriles	Long.	Cant. Acc.	Cant. Muertos	Cant. Acc. c/Muerto	IP	IM	IAM
46	1	RP51 (25 de Mayo) - RP40	2	12	2	1	1	18.08	9.04	9.04
	2	RP40 - RN5 (Bragado)	2	38.6	4	0	0	11.24	0.00	0.00
	3	RN5 (Bragado) - RP42	2	6.03	2	0	0	18.65	0.00	0.00
	4	RP42 - RP65 (Junin)	2	64	5	1	1	6.64	1.33	1.33
								2018		
Ruta	Tramo	Límites del Tramo	Carriles	Long.	Cant. Acc.	Cant. Muertos	Cant. Acc. c/Muerto	IP	IM	IAM
46	1	RP51 (25 de Mayo) - RP40	2	12	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	2	RP40 - RN5 (Bragado)	2	38.6	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	3	RN5 (Bragado) - RP42	2	6.03	2	1	1	18.65	9.32	9.32
	4	RP42 - RP65 (Junin)	2	64	1	0	0	1.33	0.00	0.00

Figura 2.11 Fuente: Vialidad Provincial

Ruta	Tramo	TMDA 2013	Composición Porcentual			
			Autos	Omnibus	Cam.Liviano	Cam.Pesado
46	RN5 (Bragado) - RP42	4395	83	7	5	5
Actualización TMDA		2019				
Cantidad de años (n):		6				
Tasa de Crecimiento anual (u):		0.05				
TMDA 2019:		5889 Veh/día				

Figura 2.12 Fuente: Vialidad Provincial

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Historia de la Infraestructura vial

La Cámara Argentina de Construcción (2010), en su publicación “Memoria de la infraestructura vial”, relata, que a mediados del siglo XVIII las rutas terrestres, eran mantenidas por el tránsito mismo y el paso de carros y carretas.

Con la aparición del servicio de correo, se definen los primeros caminos, llamados Carreras de Postas.

Hacia mediados del siglo XIX, comienza el uso de empedrado en algunas de las calles principales de la Ciudad de Buenos Aires, dándole otra impronta a la ciudad, y marcando el inicio de un desarrollo más planificado en relación al crecimiento de las grandes concentraciones urbanas.

Para la década del 1980, bajo la Presidencia de Julio A. Roca, se puede observar un impulso tanto en el desarrollo del sistema ferroviario como vial. En este período, se procedió a la apertura, modificación y progresivo mejoramiento de los caminos terrestres de la República Argentina.

A principios del siglo XX, se introduce el automóvil, particularmente en la ciudad de Buenos Aires, marcando un hito en la evolución de la ciudad y su planificación vial.

En la década de 1930, se crea la Dirección de Vialidad Nacional, marcando el período más productivo del desarrollo vial. Se construyeron las rutas troncales desde Buenos Aires hacia las principales ciudades del interior del país.

Hacia 1960 la declinación del servicio ferroviario sin inversiones durante las últimas décadas, da lugar a que el transporte de cargas por camión, puerta a puerta, comience a tener un rol predominante. Ello determina que las cargas que transitan por este medio son cada vez mayores y se incrementa en la actividad vial la conservación y mantenimiento de las mismas. Las dos décadas del 60 y

70 son de intensa actividad vial duplicándose la red pavimentada.

A partir de la década del 1980 se produce una desaceleración de la inversión en obras públicas en general.

En los años siglo XX, se produce una gran transformación económica a nivel nacional. Se transfiere a la actividad privada, las operaciones de los servicios públicos. En ese marco, el concesionamiento parcial de la red vial nacional, de los accesos a las ciudades de Buenos Aires y Córdoba y de tramos de rutas pertenecientes a estados provinciales, han permitido que la intrusión del capital privado en la gestión vial impacte positivamente en el recupero y ampliación de la infraestructura de un país caracterizado por su gran superficie, y grandes distancias entre las zonas de producción y los centros de consumo o puertos.

3.1.2 Definición y conceptos de Infraestructura vial

Se considera como Infraestructura vial, a “todo conjunto de elementos necesarios que permite el desplazamiento de vehículos en forma agradable y segura desde un punto a otro” (Dirección de Vialidad, 2015).

El desarrollo económico de una ciudad, depende en parte de la infraestructura vial de la misma. Las vías terrestres, interconectan los puntos de producción y consumo y el estado de las mismas determina el nivel de costos de transporte, y a su vez influyen sobre los flujos de comercio nacional e internacional de un país. Es por eso, que, la construcción y el mantenimiento de las carreteras son temas que requieren suma atención.

"El ascenso y la caída de una civilización depende de la infraestructura, la base subyacente de la riqueza y la calidad de vida. Una sociedad que descuida su infraestructura, pierde su capacidad de transportar personas y alimentos, proporcionar aire y agua limpia, controlar las enfermedades y realizar el comercio” Solminihac T, Echaverguren N, Chamorro (2018).



Figura 3.1. Fuente: Dirección de Vialidad- Laboratorio Nacional

La infraestructura vial, es siempre esencial en cualquier sistema de transporte urbano. El sistema vial enfrenta muchos problemas y desafíos, con diferentes niveles de seriedad y frecuencia. Estos problemas producen costos adicionales para las actividades de todos los usuarios del sistema, de manera directa en forma de tiempos adicionales de viaje, de consumo extra de energía, de desgaste de motores, y también, de manera indirecta, en el tiempo perdido por conductores, de tensión de choferes y pasajeros y de mayor contaminación ambiental.



Figura 3.2. Fuente: Dirección de Vialidad- Laboratorio Nacional

3.1.3 Historia del flujo vehicular

El Ing. Henry Hernández Vega (Unidad de Seguridad Vial y Transporte, 2016) argumenta que, las primeras mediciones de tránsito vehicular data de los años 30, cuando el investigador norteamericano Bruce Douglas Greenshield's (Leonard et al., 1989) aplicó por primera vez métodos fotográficos y matemáticos para la medición de flujo de tráfico, densidad, velocidad y, también, describir su comportamiento (Greenshield's et al., 1934).

En el año 1934, el comité americano de investigación de carreteras (Highway Research Board), incluyó un artículo llamado “un estudio de la capacidad del tráfico” (A study of Traffic Capacity), el cual presenta la ecuación fundamental del flujo vehicular, que estableció relaciones entre la velocidad, el flujo y la densidad vehicular. (Greenshields et al., 1935a). Donde en la figura 3.3. veremos la ecuación.

$$\mu = \mu_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$$

donde:

μ : es la velocidad media espacial

μ_f : velocidad media espacial de flujo libre

k_j es la densidad de congestión

k : es la densidad

Figura 3.3

El trabajo de Greenshields ha influido en ingenieros de tráfico e investigadores en todo el mundo (Kuhne,2011). Dichas relaciones, han sido las más usadas en modelos de flujo vehicular.

Realizaba las mediciones con una cámara fotográfica de 16mm, equipada de un motor eléctrico que era accionada con una batería de automóvil, para que la cámara pueda operar cada cierto intervalo de tiempo. El automóvil debía pasar a unos 92m de distancia de la cámara, para así, evitar el desenfoco debido al movimiento fotográfico y la longitud de la pista que abarcaba la cámara era de unos 38,2 m.

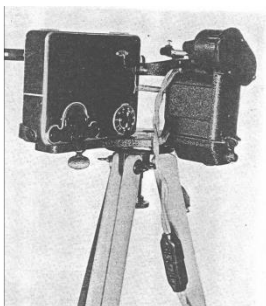


Figura 3.4



Figura 3.5

Fuente. Seguridad vial y Transporte 2016

3.2 Definición de intersección

Se denomina intersección, a la zona donde dos o más carreteras se encuentran o cruzan, y llamamos rama, a cada carretera que irradia de la intersección. (Goñi, Ferreyra).



Figura 3.6 Fuente: Congreso Inter-CISEV

3.2.1 La seguridad vial y las intersecciones

Goñi y Ferreyra argumentan, que, la mayor cantidad de accidentes se concentran en las intersecciones, registrándose un 20% de accidentes en intersecciones en zonas rurales y un 50% en zonas urbanas, por lo cual, la seguridad vial de un sistema carretero, está, sumamente condicionado por la seguridad que brinden sus intersecciones.

Cuando existe mayor posibilidad de conflicto entre vehículos y cuando el error humano es más probable de ocurrir, el grado de siniestralidad será aún mayor. Esto depende, de los siguientes factores

- Los conductores deban enfrentarse a varias trayectorias posibles
- Seguimiento de un itinerario
- Variaciones importantes de su velocidad, y/o a realizar maniobras en intervalos reducidos de espacio y tiempo.

En España, el 40% de los accidentes de tráfico, con víctimas fatales se producen en cruces e intersecciones (Formaster España,2018).

3.2.2 Puntos de conflicto en una intersección

Los puntos de conflicto son lugares potenciales de accidentes y se originan mediante la interacción entre los vehículos. Cuanto mayor sea la intensidad de circulación de movimientos que intervienen en él, mayor será el riesgo. Un nudo bien proyectado está formado por un conjunto organizado de puntos de conflicto.

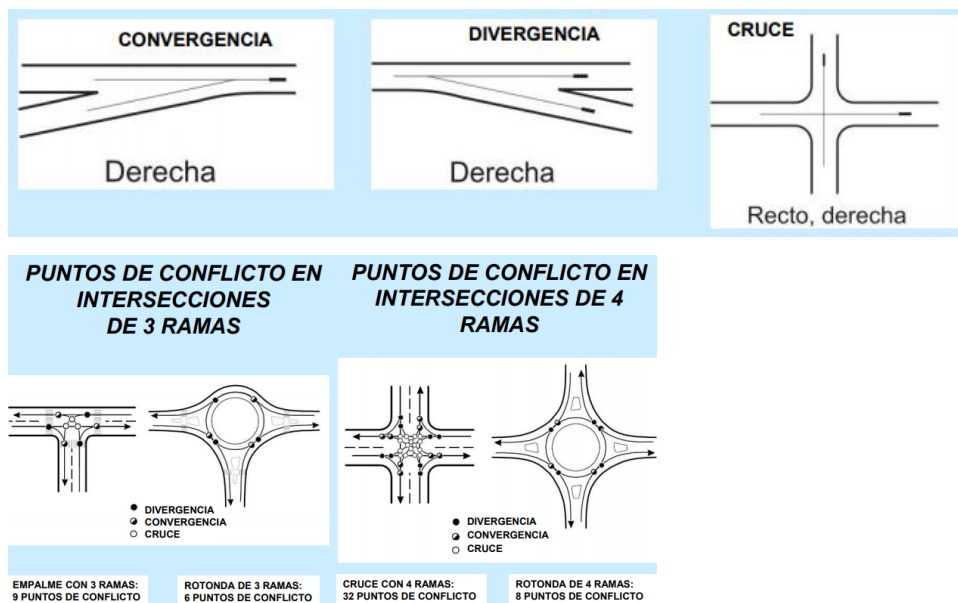


Figura 3.7 Fuente: NCHRP RP672- EEUU

Existen, además, ciertos aspectos que debemos considerar a la hora de estudiar los puntos de conflicto: entre ellos a) la separación de los mismos, b) velocidad de los vehículos y c) necesidad de acumulación de los que deben esperar.

También, velocidad relativa y ángulo entre trayectorias de los vehículos en conflicto, los cuales tienen gran influencia en la gravedad de un accidente.

En convergencia, es recomendable que la velocidad del vehículo que se inserta sea lo más parecida posible a la de la principal, y la componente perpendicular debe ser la menor posible.

En divergencia, es recomendable que las velocidades sean similares entre los vehículos cuyas trayectorias se separan. En caso de que uno de ellos deba reducir la velocidad o detenerse, disponer carriles de espera o cambio de velocidad, y en cruce, las trayectorias deben ser lo más perpendicular posibles, para así disminuir el tiempo de cruce, y por lo tanto el riesgo.

3.2.3 Tipos de intersecciones

La figura 3.8, nos detalla los distintos tipos de intersecciones que existen.

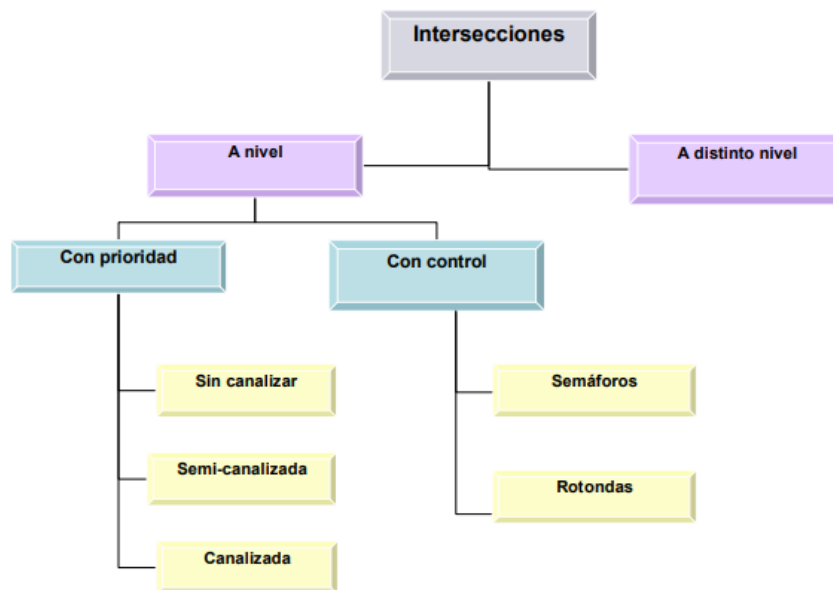


Figura 3.8 Fuente: XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Ruiz-Frigoli-Diez-Bianchi-Macey-Fernández

3.3 Antecedentes históricos de las rotondas

La guía informativa de rotondas de la FHWA (2010), relata sobre los antecedentes históricos de las rotondas, argumentando que, previo al concepto de las rotondas modernas, se conocían los llamados círculos de tránsito, que eran utilizados por EUA desde mediados de 1905, siendo uno de los primeros el “Columbus Circle de Nueva York, diseñado por William Phelps Eno.

Posteriormente se fueron construyeron varios círculos grandes, diseñados de manera tal que, permitían convergencias y entrecruzamientos de los vehículos a alta velocidad, dándole prioridad a los vehículos entrantes y generando así entradas a alta velocidad. A raíz de esto, la experiencia de choques y la alta congestión en los círculos generaron que los grandes círculos de tránsito cayeran en desgracia a partir de mediados de la década del 50. La experiencia fue también negativa a nivel internacional, con creciente ocurrencia de bloqueos y accidentes.

A principios de los años 60 comenzaron a construirse las primeras rotondas modernas, siendo la primera en el año 1966 en el Reino Unido para corregir los problemas asociados con los círculos de tránsito. Hasta el momento, el criterio de prioridad consistía en que los vehículos entrantes tenían prioridad sobre los que transitaban por la calzada anular, hasta que se adoptó una nueva norma que requiere al tránsito entrante darle paso o ceder el paso al tránsito que circula por el anillo y así solucionar el problema de capacidad.

Este cambio de sistema de prioridad trajo consigo la disminución de los problemas de capacidad y la reducción del número y gravedad de los accidentes, teniendo como consecuencias que las rotondas se convirtieron más eficientes.



Figura 3.9. Fuente: Unidad de Seguridad Vial y Transporte, 2016

3.3.1 Definición de rotonda

Gallardo, D. 2005 de la Universidad de Cataluña, en su “Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización, define a una rotonda, como, una forma especial de nudo o intersección circular que se caracteriza por la manera en que se tratan los tramos que confluyen en él, ya que se comunican a través de una calzada anular en la que se establece una circulación giratoria alrededor de una isleta central y en la que el tránsito entrante debe ceder el paso al tránsito en la calzada circulatoria. De esta manera, las trayectorias de los vehículos no se cruzan con trazados secantes, sino que convergen y divergen tangencialmente, aumentando la seguridad, al disminuir los puntos de conflicto.

Las rotondas se generan, en algún lugar donde se intersectan dos o más vías y/o se produce congestión vehicular.

“La congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás”.

Las características principales que diferencian a las rotondas modernas de glorietas, rotatorias y círculos de tránsito son, primero, que el tránsito entrante cede el paso a los vehículos en la calzada circulatoria, sumado a que no existe otro control más allá del control de ceder el paso en la entrada. También se diferencian por su curvatura y desvío horizontal en la entrada, y por último la actividad peatonal en la calzada circulatoria o isleta central es nula.

Estas características garantizan una alta capacidad operativa y una mayor seguridad de la rotonda moderna.

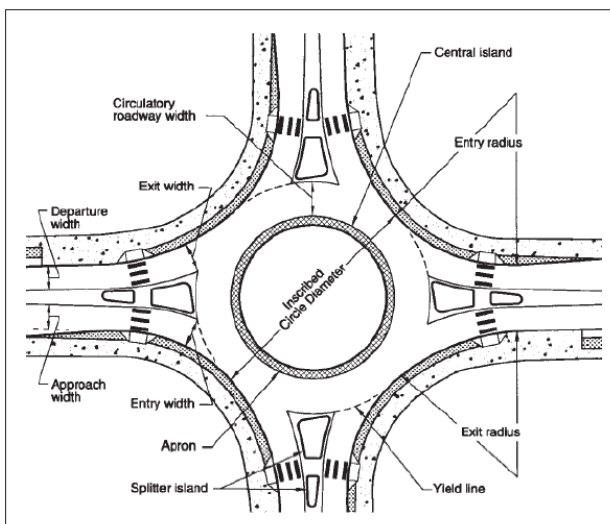


Figura 3.11 Elementos geométricos básicos de una rotonda. Fuente: Federal Highway Administration

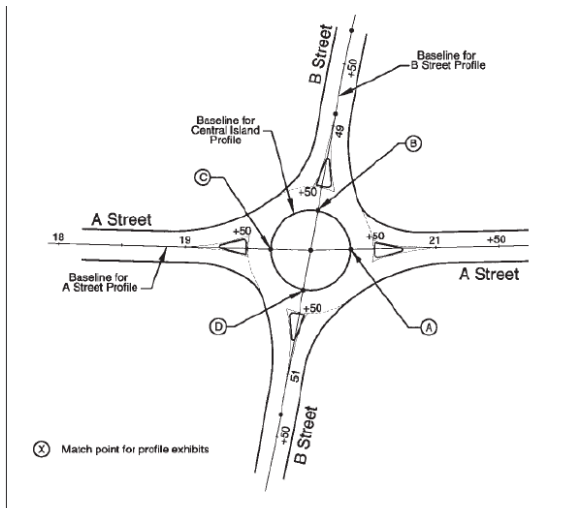


Figura 3.12 Rasante de borde de isleta central Fuente: Federal Highway Administration

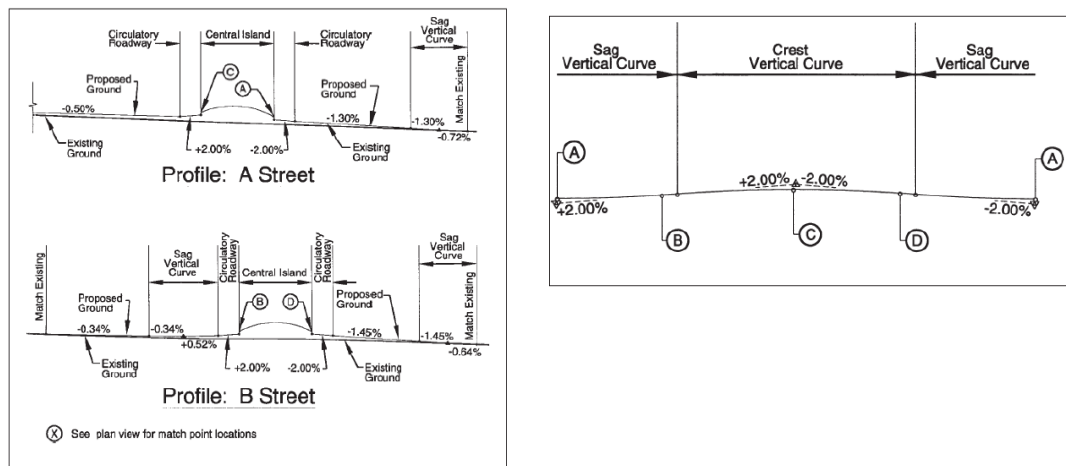


Figura 3.13 Fuente: Federal Highway Administration

3.3.2 Ventajas y desventajas de rotonda

Las rotondas, como toda obra vial, posee ciertas ventajas y desventajas en función de su seguridad, geometría, capacidad, estética, medio ambiente, costo y mantenimiento, que debemos tener en cuenta a la hora de proyectar y analizar la viabilidad del proyecto.

- Ventajas

Las rotondas presentan muchas ventajas, la guía FHWA RP672 (2010), resalta, entre ellas, el nivel de seguridad que presentan, el cual es mayor al de una intersección normal, ya que la velocidad de circulación en una rotonda es relativamente baja y contiene menos cantidad de puntos de conflicto en relación a una intersección normal.

Otra de las ventajas que menciona, es en relación a los peatones que circulan por la intersección, al tener que prestar atención a un solo sentido de tránsito por vez, se sienten más seguros y cómodos. Además, los ciclistas tienen la opción de pasar por la rotonda junto al flujo vehicular o cruzar por el paso peatonal, dependiendo de sus habilidades.

También la eficacia de una rotonda bien construida reduce el tiempo de espera en la intersección. En consecuencia, las demoras y las colas son mucho menores que en otras formas de control de intersecciones y, al requerir menos espacio de almacenamiento de colas en las aproximaciones de la intersección pueden permitir espaciamiento menor entre intersecciones y accesos, sumado a que facilitan los giros en U. Además, son más viables para dar cavidad en las aproximaciones a estacionamientos, veredas más anchas, carriles exteriores más amplios y carriles ciclistas.

En el ámbito del medio ambiente, este se ve fortalecido, ya que puede existir una intervención paisajística, principalmente en la isla central, y generan entradas atractivas o puntos focales. También se genera menor contaminación del aire debido a la disminución de consumo de combustible y reducción de ruido.

- Desventajas

En relación a las desventajas la FHWA RP672 (2010), destaca la dificultad que pueden tener los peatones con impedimentos visuales al momento de encontrar los cruces peatonales y determinar cuándo cruzar y si los vehículos han cedido el paso en los cruces peatonales, además, las rampas de bicicletas en las rotondas pueden ser confundidas con rampas para peatones.

En cuanto a la seguridad, pueden aumentar los choques de un solo vehículo contra objetos fijos, en comparación con intersecciones normales.

Además, al presentar la misma prioridad para todas las aproximaciones pueden reducir el avance de alto volumen de tránsito en las mismas.

Tampoco se pueden dar prioridad explícita a determinados usuarios (vehículos de emergencia, transporte público), a menos que se provean dispositivos suplementarios de control de tránsito.

3.3.3 Tipos de rotondas

La FWHA-*Roundabouts an Informational Guide 2da Edition* (2010), clasifica a los tipos de rotondas en tres categorías básicas, una son las minirrotondas, otras las rotondas de un solo carril y por ultimo rotondas multicarriles. Para las zonas urbanas rurales y suburbanas no identifica explícitamente categorías separadas, pero consideramos que en zonas urbanas las rotondas pueden requerir menos diámetro del círculo inscrito debido a que el vehículo de diseño es más pequeño y tiene ciertas limitaciones, en la zona de camino. También se pueden incluir características peatonales y ciclistas, más costosas. En cambio, en zonas rurales, que suelen tener mayor velocidad de aproximación pueden necesitar especial atención la visibilidad, el alineamiento de las aproximaciones y los detalles de sección transversal.

Por último, las rotondas suburbanas pueden combinar características de los ambientes urbanos y rurales.

3.4 Comparación de categorías de rotondas

Elemento de Diseño	Minirrotonda	Rotonda de un solo carril	Rotonda Multicarril
Deseable entrada máxima velocidad	25 a 30 km/h	30 a 40 km/h	40 a 50 km/h
Número máximo de entrar en los carriles por aproximación	1	1	2+
Diámetro del círculo inscrito Típica	13 a 27m	27 a 55 m	46 a 91 m
Isleta central de tratamiento	Totalmente transitable	Elevado (puede tener delantal atravesable)	Elevada (puede tener delantal traspasable)
Típica volúmenes de servicio diario en la rotonda de 4 ramales por debajo de los cuales se puede esperar que opere sin necesidad de un análisis detallado capacidad (veh/día) *	Hasta aproximadamente 15.000	Hasta aproximadamente 25.000	Hasta aproximadamente 45.000 para rotondas de dos carriles

Figura 3.14. Fuente: Kansas Roundabout guide second edition,2014

3.4.1 Minirrotondas

Las minirrotondas son rotondas pequeñas que se caracterizan por tener una isleta central totalmente transitable. En alusión a ellas, la FHWA RP672 (2010), argumenta que se suelen utilizar en entornos urbanos de baja velocidad, aproximadamente 50 km/h o menos. Pueden resultar útiles en entornos tales donde el diseño de una rotonda convencional este impedido por restricciones de la zona de camino. En relación a costos, suelen ser relativamente baratas ya que requieren un mínimo de pavimento adicional en la intersección y menores ensanchamientos en los cordones de esquina. También se recomiendan cuando no hay suficiente zona de camino como para acomodar al vehículo de diseño con una rotonda clásica de un solo carril.

Debido a sus dimensiones geométricas pequeñas son distinguidas amistosamente por los peatones. Tienen distancias cortas de cruces y velocidades muy bajas de los vehículos, tanto en aproximaciones como en salidas.

Una de las características principales es que, la isleta central es totalmente transitable para el paso y el giro de vehículos grandes, aunque el diseño óptimo de una minirrotonda debe ser tal que la entrada guíe a los conductores hacia la trayectoria querida y minimice el paso por la isleta central en la medida de lo posible.



Figura 3.15. Fuente: NCHRP RP672- EEUU

3.4.2 Rotondas de un solo carril

La característica distintiva en este tipo de rotondas es que tienen una entrada de un solo carril en todos sus ramales y un solo carril de circulación. La diferencia que tienen con las minirrotondas es que el diámetro es mucho mayor y la isleta central no es transitable. El diseño de estas rotondas permite velocidades ligeramente superiores, tanto en entradas como en calzada circulatoria y en salida. Generalmente, el diseño incluye isleta partidora ajardinada, una isleta central no transitable, cruces peatonales y un delantal de camiones. El tamaño está muy condicionado por el vehículo de diseño y la zona de camino disponible.



Figura 3.16 Fuente: FHWA,2010

3.4.3 Rotondas multicarriles

Las rotondas multicarril se caracterizan por la particularidad de tener al menos una entrada con dos o más carriles, no necesariamente deben tener el mismo número de carriles en todos sus accesos, puede ocurrir que tengan diferente número de carriles en una o más de sus aproximaciones. También comprenden rotondas con entradas en una o más aproximaciones que se ensanchen para generar mayor capacidad desde uno hasta dos o más carriles.

El diseño de estas rotondas, requieren calzadas circulatorias más anchas para poder acomodar más de un vehículo circulando lado a lado. Generalmente las velocidades son relativamente iguales a las rotondas de un solo carril tanto en la calzada circulatoria, como en la entrada y en la salida o pueden ser ligeramente superiores, según cita la FHWA (2010).

El diseño geométrico suele incluir isletas partidoras ajardinadas, delantal de camiones, isleta central no traspasable y adecuada deflexión de entrada.



Figura 3.17 Fuente: FHWA,2010

3.5 Elementos de diseño

El diseño geométrico de la rotonda, implica, encontrar y determinar un óptimo equilibrio entre, seguridad, operaciones y acomodamiento del vehículo de diseño, ya que una geometría deficiente, impacta negativamente en las operaciones que se realicen en la rotonda.

Cuando se diseña se deben considerar, individualmente cada elemento geométrico perteneciente a la intersección, se debe considerar que no son independientes uno del otro. Por el contrario, necesitan cierta compatibilidad para poder cumplir con los objetivos de seguridad y capacidad. Dentro de la totalidad de los elementos de diseño pertenecientes a las rotondas, la FHWA RP672 (2010), recomienda que la selección del diámetro del círculo inscrito sea el primer paso en el proceso. El diámetro ronda entre los 36 a 43m, comúnmente en rotondas de un solo carril, siendo un mínimo de 32m, para dar cabida a un vehículo de diseño WB-15. En relación a los alineamientos de las aproximaciones argumenta que es conveniente que los ejes de calzada pasen por la izquierda o por el centro del círculo inscrito, ya que un óptimo alineamiento, garantiza una desviación adecuada y controla la velocidad, al tiempo que proporciona ángulos visuales adecuados para los conductores y equilibra los impactos y costos sobre la propiedad. Si consideramos un alineamiento correcto, a través del centro de la rotonda, nos reduce la cantidad de cambios de alineamiento que se pueden generar a lo largo del camino de aproximación y así mantendremos el impacto más localizado propiamente en la intersección e incitaríamos a los conductores a mantener velocidades más lentas, por las curvas que se originan en las salidas.

Consideremos también que, para generar y mantener velocidades bajas y coherentes para todos los movimientos, es beneficioso diseñar aproximaciones en ángulos rectos o casi rectos, de lo contrario, si dos ramales se cruzan en un ángulo mucho mayor a 90° , a menudo, resultara una velocidad excesiva para uno o más movimientos de giro a la derecha, o si se cruzan en ángulos mucho menor a 90° , entonces va a ser mayor la dificultad de los camiones grandes para poder operar en la intersección.

Ya identificados el diámetro inscrito, la ubicación de la rotonda y los alineamientos de las aproximaciones, como así también sus respectivos ángulos, resta determinar los anchos de entrada, ancho de calzada circulatoria y geometría, tanto de entrada como de salida.

3.5.1 Configuraciones rurales

Debido a que se circula a altas velocidades, la rotonda en entornos rurales puede requerir modificaciones de diseño adicionales para disminuir la velocidad de los conductores antes de la intersección. Estos pueden ser: diseñar isletas partidoras extendidas e introducir curvas horizontales, próximas a la intersección, a fin de que los conductores que transiten por la zona, reduzcan la velocidad, previa a la llegada a la rotonda. A pesar de ellas, las rotondas, demostraron ser un tratamiento especialmente eficaz en la reducción de muertes y lesiones en las intersecciones en los caminos a alta velocidad, según la guía informativa FHWA.

Dentro del beneficio que tiene considerar una rotonda como tratamiento de una intersección, en caminos donde se transita a alta velocidad, podemos destacar que mejoran las operaciones y disminuyen el retraso en comparación con los controles de ceda el paso en dos sentidos (CPDS) o el control de semáforos. También pueden afrontar una deficiencia de seguridad existente, generar velocidades más bajas y tener menores costos de mantenimiento.

3.5.2 Requerimiento de espacio

En función del volumen de tránsito previsto en la intersección, se debe definir la cantidad de carriles que va a necesitar la rotonda y, tanto el tamaño como la capacidad, van a depender de la cantidad que se establezcan.

Dependiendo de los datos disponibles al momento de planificar la intersección, podemos evaluar la cantidad de carriles necesarios para servir la demanda de tránsito actual y futura a través del TMDA o a partir de movimientos de giros existentes y/o proyectados. La FHWA RP672 (2010) plantea las siguientes estimaciones

- Estimación de las necesidades de carriles en función del TMDA:
En la figura se visualiza un método simple y bastante conservador para estimar la cantidad de carriles necesarios. Una de las entradas del gráfico pertenece al TMDA y la otra al porcentaje de giros a la izquierda comprendido entre el 0% y 40% del volumen total. La capacidad de la rotonda disminuye, si el volumen de tránsito en conflicto aumenta, y dicho aumento, se genera a partir del porcentaje de vehículos que giran a la izquierda.
- Estimación de las necesidades de carriles en función de movimientos de giros existentes y/o proyectados:
Se puede identificar una mejor estimación de necesidad de carriles, a partir de movimientos de giros existentes y/o proyectados o, a través de una estimación de futuros movimientos de giros, utilizando los movimientos de giros existentes y una tasa de crecimiento anual.
Evaluamos cada ramal de aproximación, individualmente, para determinar el número de carriles de entrada que se necesitan, basado en la tasa de flujo en conflicto. La guía FWHA define como flujo en conflicto a los vehículos que viajan a lo largo de la calzada circulatoria y que, por lo tanto, están presentes en cada entrada de la rotonda.

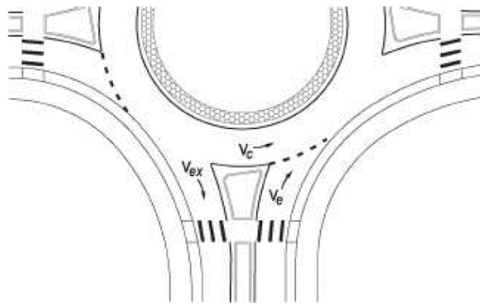


Figura 3.18 Fuente: FHWA RP672,2010

Como se muestra en la figura, tenemos el volumen de transito entrante V_e y el V_c volumen en conflicto, en función del volumen de los mismo definimos la cantidad de carriles necesarios.

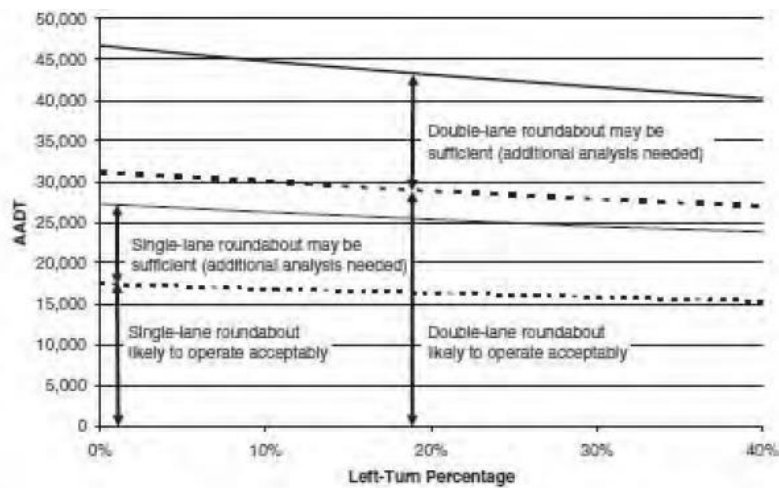


Figura 3.19 Fuente: FHWA RP672,2010

Volume Range (sum of entering and conflicting volumes)	Number of Lanes Required
0 to 1,000 veh/h	<ul style="list-style-type: none"> Single-lane entry likely to be sufficient
1,000 to 1,300 veh/h	<ul style="list-style-type: none"> Two-lane entry may be needed Single-lane may be sufficient based upon more detailed analysis.
1,300 to 1,800 veh/h	<ul style="list-style-type: none"> Two-lane entry likely to be sufficient
Above 1,800 veh/h	<ul style="list-style-type: none"> More than two entering lanes may be required A more detailed capacity evaluation should be conducted to verify lane numbers and arrangements.

Figura 3.20 Fuente: Departamento de Estado de Nueva York de Transporte

3.5.3 Ancho de aproximación

“Aunque las rotondas suelen requerir más espacio en comparación con las intersecciones convencionales, no necesitan mayor área en las aproximaciones” FHWA (2010).

El ancho de aproximación dependerá de la velocidad de diseño y del tipo de proyecto en estudio. En el Manual de Vialidad Urbana, se tabulan los anchos recomendables y los mínimos absolutos para una pista:

V (km/H)	N (1) (2)	
	M.REC	M.ABS
30	2,75	2,50
40	3,00	2,75
50	3,25	3,00
60	3,25	3,00
70	3,50	3,25
80	3,50	3,25
90	3,50	3,25
100	3,50	3,25

Figura 3.21 Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo,2009

3.5.4 Isleta central y diámetro de círculo inscripto

La isla central es la zona elevada en el centro de una rotonda en torno de la cual circula el tránsito. La forma no tiene porque ser circular y, solo en el caso de minirrotondas, es traspasable. Para mejorar la estética suelen ser ajardinadas.

En cuanto al diámetro del círculo, la FHWA 2010 argumenta “El diámetro del círculo inscrito debe ser lo suficientemente grande para acomodar el vehiculó de diseño mientras se mantiene una velocidad más lenta de los vehículos pequeños”.

Para el caso de rotondas de un solo carril, la guía FHWA, garantiza que es recomendado, que se utilicen diámetros como mínimo de 32m, para acomodar un WB-15 como vehículo de diseño. La figura 3.23 muestra los distintos tipos de vehículo de diseño con sus dimensiones.

El rango más favorable es entre 36m a 43m, para lograr el diseño óptimo de una rotonda de un solo carril.

En el caso de rotondas de dos carriles, el diámetro mínimo de círculo inscrito es de 46m. Diámetros en el rango de 49m a 55 m son comúnmente puntos de partida para diseñar, de manera adecuada, una rotonda de dos carriles.

En general, hay que tener en cuenta que diámetros más grandes generan mayor deflexión en la trayectoria vehicular. Por lo tanto, la velocidad de

FACULTAD DE INGENIERIA

circulación va a ser mayor. Es decir que, para brindar mayor seguridad es recomendable no diseñar diámetros mayores a lo requerido.

La siguiente figura, proporciona los rangos típicos de diámetros para las distintas categorías de rotondas.

Configuración de Rotonda	Vehículo de Diseño Tipo	Rango de Diámetro de Círculo Inscrito Común *
Minirrotonda	SU-9	14 a 27 m
Rotonda de un solo Carril	B-12)	27 a 46 m
	WB-15	32 a 46 m
	WB-20	40 a 55 m
	WB-15	46 a 67 m
Multicarril rotonda (2 carriles)	WB-15	50 a 67 m
	WB-20	61 a 76 m
Multicarril rotonda (3 carriles)	WB-15	67 a 91 m
	WB-20	

Figura 3.22 Fuente: FHWA 2010

	P	BUS	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3(1.3)	4.1	4.1(4.1)	4.1(4.1)	4.1	4.1
Ancho	2.1(2.1)	2.6	2.6(2.6)	2.6(2.6)	2.6	2.6
Longitud	5.8(5.8)	12.1	9.1(9.2)	16.7 (16.8)	21.0	22.5
Voladizo Delantero	0.9(0.9)	2.1	1.2(1.2)	0.9(0.9)	1.2	1.2
Voladizo Trasero	1.5(1.5)	2.4	1.8(1.8)	0.6(0.6)	0.9	0.9
Distancia entre Ejes Extremos, WB1	3.4(3.4)	7.6	6.1(6.1)	6.1(6.1)	6.1	6.1
Distancia entre Ejes Extremos, WB2				9.1(9.2)	12.8	14.3

Figura 3.23. Dimensiones de los vehículos de diseño (m). Fuente: AASHTO A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994

SEMIRREMOLQUE CORRIENTE L=18,60m

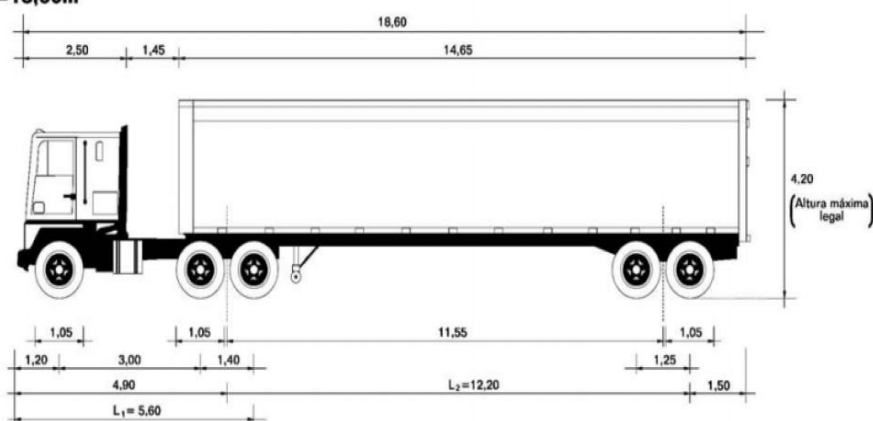


Figura 3.24 Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (2011)

“Diseñe las rotondas para acomodar al vehículo más grande que razonablemente pueda esperarse” FHWA, 2010

La siguiente imagen proporciona la relación entre el diámetro de círculo inscrito, el diámetro de la isla central y el ancho de la calzada circulatoria, propuesta por la FHWA RD067.

Inscribed Circle Diameter	Minimum Circulatory Lane Width*	Central Island Diameter
45 m (150 ft)	9.8 m (32 ft)	25.4 m (86 ft)
50 m (165 ft)	9.3 m (31 ft)	31.4 m (103 ft)
55 m (180 ft)	9.1 m (30 ft)	36.8 m (120 ft)
60 m (200 ft)	9.1 m (30 ft)	41.8 m (140 ft)
65 m (215 ft)	8.7 m (29 ft)	47.6 m (157 ft)
70 m (230 ft)	8.7 m (29 ft)	52.6 m (172 ft)

Figura 3.25 Fuente: Roundabouts: An informational guide. Us Departament of Transportation. FHWA RD067

3.5.5 Ancho de la calzada circulatoria

Los anchos típicos de la calzada circulatoria son entre 4.8 m y 6 m en rotondas de un solo carril. Según la norma AASHTO, debe proveerse una separación mínima de 0.3 m y preferiblemente 0.6 m entre el borde exterior de la huella de neumático del vehículo y la línea de cordón.

Suele necesitarse un delantal de camiones en la isleta central para acomodar vehículos de diseños grandes, pero manteniendo una calzada circulatoria relativamente angosta para restringir adecuadamente las velocidades vehiculares y que los conductores no interpreten mal el diseño y piensen que dos vehículos pueden circular lado a lado, en el caso de rotondas de 1 solo carril.

En las rotondas multicarriles, los anchos de carril de calzada circulatoria varían entre 4.3 y 4.9m, estos valores resultan de un total de calzada circulatoria de 8.5 a 9.8 m para calzada circulatoria de dos carriles y de 12.8 a 14.6 para ancho de calzada circulatoria de tres carriles.

El vehículo de diseño es el factor dominante a la hora de decidir la mayoría de las dimensiones de los elementos pertenecientes a las rotondas.

En el punto 2.5.2 se adjuntó la tabla propuesta por la FHWA, en la cual se aprecia como cada diámetro de círculo inscrito tiene un ancho de calzada anular correspondiente.

De acuerdo a la norma AASHTO 2011, podemos, también, estimar el ancho de circulación W , requerido para el vehículo de diseño WB-15, a través de la siguiente ecuación:

$$W = U1 + 2C + Fa + Fb + Z$$

Donde:

$U1$ = Ancho del vehículo en curva (distancia entre caras externas de llantas)

Fa = Ancho del volado frontal

Fb = Ancho del volado posterior

C = Despeje lateral por vehículo = 1.20m

Z = Ancho adicional debido a la dificultad de conducir en curvas = 0.60m

La expresión genérica para el cálculo del ancho de la huella descrita por un vehículo en curva, medida radialmente se muestra a continuación:

$$U = u + R - \left[\sqrt{R^2 - \sum Li^2} \right]$$

Dónde:

$U1$ = Ancho del vehículo en curva (distancia entre caras externas de llantas)

R = Radio de la curva o radio de giro = Radio de la isleta central

u = Ancho del vehículo de diseño.

El ancho de la saliente o voladizo frontal, Fa , es la distancia radial entre el borde exterior de la huella de la rueda delantera exterior y la trayectoria del borde delantero exterior de la carrocería, y se halla mediante la siguiente ecuación:

$$Fa = \left[\sqrt{R^2 + A(2l + A)} \right] - R$$

Donde:

A = voladizo frontal del vehículo en el carril.

L = Distancia menor entre ejes del vehículo tractor

El ancho de la saliente trasera o voladizo posterior, F_b , es la distancia radial entre el borde exterior de la trayectoria de la rueda trasera interior y el lado interior de la carrocería. En los camiones, el ancho de la carrocería es el mismo ancho que el ancho entre caras exteriores de las ruedas traseras, de modo que $F_b = 0$.

El ancho extra, Z , es el ancho radial adicional debido a la dificultad de maniobrar sobre una curva. Este ancho adicional, se ha estimado mediante una ecuación empírica, en función de la velocidad y el radio de giro. Para radios en el rango entre 15m y 150m, el valor Z resulta casi un valor constante de 0.6m.

De esta forma, los parámetros involucrados en el giro, se tabulan tomando un radio de giro en el borde interior del pavimento, que es el radio de la isleta central de la rotonda moderna.

3.5.6 Alineamiento vertical

Las componentes del alineamiento vertical de las rotondas incluyen rasantes, peraltes, pendientes de aproximación y drenaje (ver figura 3.12). Cuando se diseña se debe considerar la probabilidad de vuelco de camiones grandes o de corrimiento de carga, lo cual, a veces, puede ser inducido por pendiente transversal excesiva.

3.5.7 Pendiente transversal normal

El valor de la pendiente transversal en la calzada está determinado por las necesidades de drenaje y limpieza, en general, la ASSHTO, argumenta que el valor varía entre 1.5 % a 2%.

Se suelen utilizar pendientes mayores en calzadas con cordones para minimizar la acumulación de agua en el exterior a través del carril.

3.5.8 Isleta partidora

El objetivo de las islas partidoras es, brindar refugio a los peatones al momento de cruzar la intersección. También sirve para separar el tránsito entrante y saliente y además desviar y lentificar el tránsito que se acerca a la intersección.

Pueden ser isletas elevadas o simplemente pintadas en el pavimento.

Las dimensiones que cita la FHWA RP672 (2010), son, para la isla elevada, por la menos de 15m de longitud y un ancho mínimo de 1.8m, recomendando en caminos de mayor velocidad, isletas partidoras de 45m o más.

Es importante que, las isletas divisorias, se extiendan más allá del final de la curva de salida, a fin de evitar que el tránsito saliente, invada accidentalmente la trayectoria del tránsito opuesto. Si bien, un aumento del ancho de la isleta resulta en mayor separación entre los flujos de entrada del mismo ramal y aumenta el tiempo para que, los conductores que se acercan puedan distinguir, a los vehículos que salen de los que circulan, pueden requerir aumentar el diámetro del círculo inscrito, para poder mantener el control de velocidad de aproximación. Por lo tanto, estos beneficios de seguridad, pueden ser compensados por los costos de construcción más altos y mayores impactos de tierra.

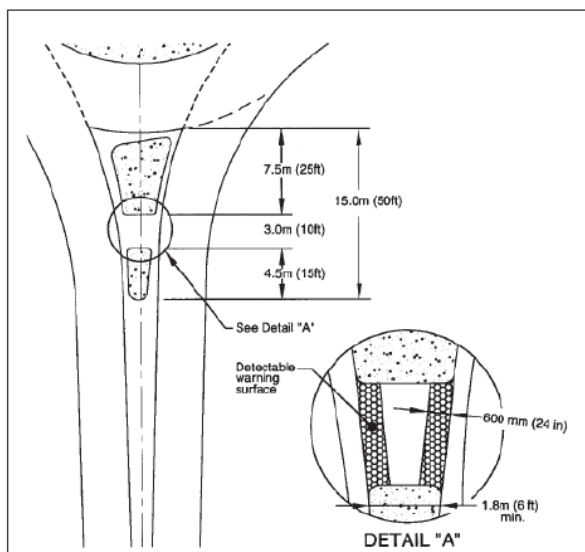


Figura 3.26 Fuente: FHWA RP672,2010

3.5.9 Diseño de la entrada

La entrada a la rotonda, está limitada, por un borde de pavimento y dependiendo del diseño, contiene una o varias curvas que conducen hacia la calzada circulatoria.

La cantidad de deflexión impuesta sobre la trayectoria de los vehículos entrantes va a depender del radio del cordón de la entrada, el ancho de entrada, el ancho de la calzada circulatoria y de la geometría de la isleta central.

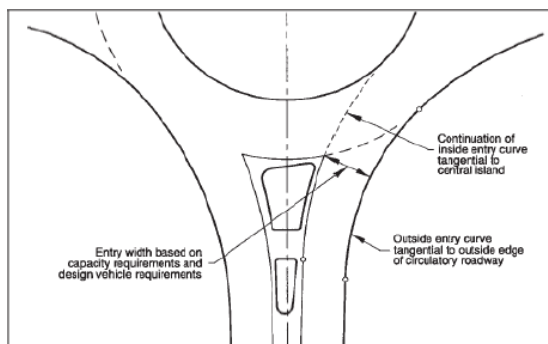


Figura 3.27 Fuente: FHWA RP672,2010

3.5.10 Ancho de entrada

La dimensión del ancho de entrada de la rotonda depende del flujo de tránsito que circula por la rotonda y se diseña, principalmente, considerando el vehículo de diseño. La anchura se mide desde el punto donde la línea de entrada cruza el borde izquierdo de la calzada, trazando una línea perpendicular, hasta el borde derecho de la calzada. En la FHWA RP672 (2010), se determinan, que, los anchos típicos de las entradas de un solo carril van, de 4.2 a 5.5m y suelen ser acampanados, ya que, esto ayuda a reducir las velocidades de los vehículos que se acercan. No es conveniente anchos que excedan el ancho de la calzada circulatoria, porque pueden llevar a la confusión y hacen interpretar al usuario que la entrada consta de más de un carril de ingreso.

En el caso de rotondas de dos carriles, un ancho de entrada típico, varía entre 7.3 a 9.1m. No es apropiado, un ancho de entrada excesivo, porque, puede no producir beneficios de capacidad.

3.5.11 Abocinamiento de entrada

Se conoce como abocinamiento de entrada, a la ampliación del ancho de una aproximación, para brindar capacidad adicional a la línea de ceda el paso y almacenamiento. En la siguiente imagen, se puede observar, la longitud efectiva del abocinamiento de entrada L' .

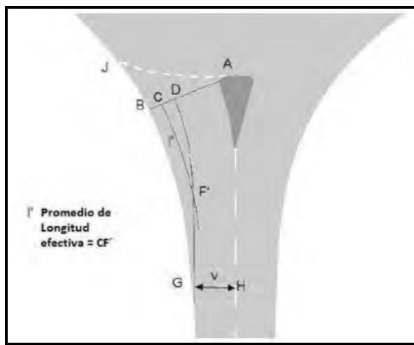


Figura 3.28 Longitud efectiva de abocinamiento. Fuente: Highways Agency,2007

3.5.12 Radio de entrada

La Guía América, define al radio de entrada, como al “radio mínimo de curva de la línea de cara visible en la región de la entrada”. Es uno de los factores más importantes a determinar, ya que, su diseño incide notablemente en la seguridad y capacidad de la rotonda. Además, junto con el ancho de entrada, ancho de calzada circulatoria y geometría de la isleta central, controlan la cantidad de deflexión impuesta sobre la trayectoria vehicular.

Los radios de entrada excesivamente grandes, tienen un mayor potencial para producir una velocidad de entrada mayor a lo deseado.

3.5.13 Ángulo de entrada

Los ángulos de entrada típicos son entre 20° y 40° , según la FHWA RP672, 2010 y se utilizan, para el ángulo de conflicto, entre el tráfico que entra y que circula.

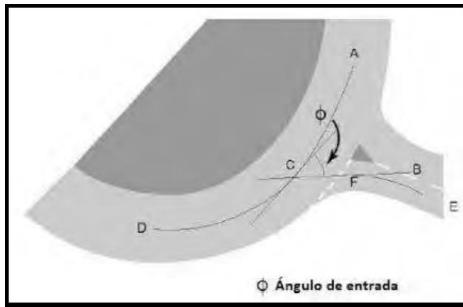


Figura 3.29 Ángulo de entrada. Fuente: Highways Agency, 2007

3.5.14 Curva de la trayectoria de entrada y estimación de la velocidad vehicular

La curva de la trayectoria de entrada es, una medida de la deflexión impuesta por la geometría de la rotonda y es una de las variables claves, que se utilizan para la predicción de accidentes. La Guía Americana da detalles de la relación aproximada entre radio de la trayectoria y velocidad de proyecto, mediante la siguiente ecuación:

$$V^2 = 127 R (e + f)$$

Dónde:

V: Velocidad de diseño a través de la rotonda [km/h]

R: Radio de la trayectoria [m]

e = Peralte [m/m] (negativo para pendiente transversal hacia afuera)

f = Coeficiente de fricción, desarrollada entre los neumáticos del vehículo y la carretera.

Siendo los valores de peralte más comunes, +0.02 y -0.02, lo que corresponde al 2% de pendiente transversal de calzada, La FHWA propone una relación simplificada entre la velocidad y el radio de estos dos tipos de peralte común, según la relación de AASHTO y los factores relacionados con la fricción.

con e = +0.02 →

$$V = 8.7622 R^{0.3861}$$

con $e = -0.02$

$$V = 8.6182 R^{0.3673}$$

Donde:

V= Velocidad prevista [km/h]

R= Radio de curva [m]

e= Peralte [m/m]

En la siguiente figura, se ilustra gráficamente la relación velocidad-radio.

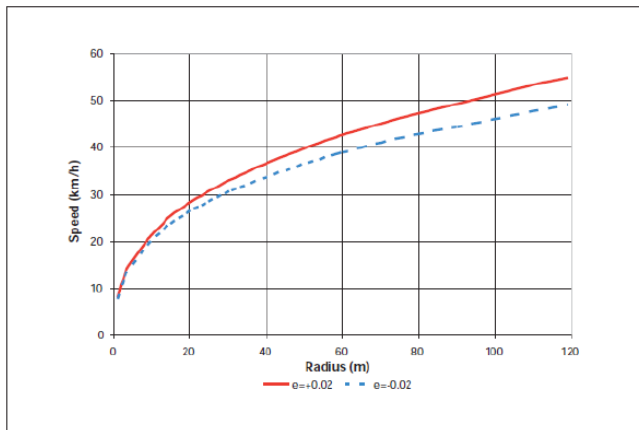


Figura 3.30 Relación entre velocidad prevista y radio de curva. Fuente: FHWA 0672

3.5.15 Trayectorias y velocidades máximas

Según argumenta la FHWA, para conocer la velocidad de una rotonda se dibuja la trayectoria más rápida permitida por la geometría. Esta es la trayectoria más suave posible de un vehículo ligero, en ausencia de tráfico e ignorando las marcas viales, usualmente los movimientos directos suelen ser las trayectorias más rápidas, pero, a veces, las de giro a la derecha son las más críticas. La metodología de la trayectoria más rápido no representa las velocidades vehiculares esperadas de los vehículos, sino más bien las velocidades posibles para propósitos de diseño.

La Guía América FHWA, expone los cinco radios de las trayectorias críticas, que deben chequearse en cada aproximación, siendo:

R1 el radio de trayectoria de entrada

R2 el radio de la trayectoria de circulación

R3 el radio de la trayectoria de salida

R4 el radio de la trayectoria de giro izquierda

R5 el radio de la trayectoria de giro derecha

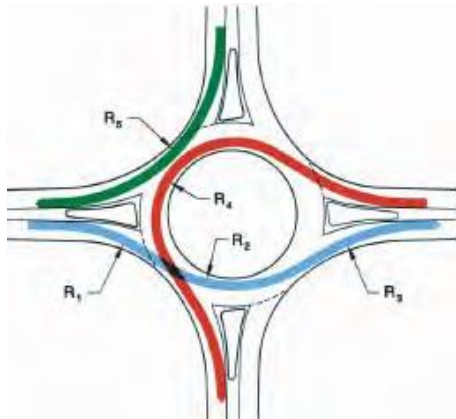


Figura 3.31 Radios de trayectorias vehiculares. Fuente: FHWA,2010

Estos radios de trayectorias vehiculares, no son los mismos que lo de los cordones, los radios desde R1 hasta R5 representan la línea central del vehículo en su trayectoria a través de la rotonda.

3.5.15.1 Construcción de trayectorias vehiculares

Para representar la trayectoria vehicular más rápida, la Guía América, plantea las siguientes distancias que deben respetarse:

1.5m desde cordón de hormigón

1.5 m desde una línea central de calzada

1m desde una línea de borde pintada.

Además, supone que el vehículo sea de 2m de ancho y mantenga una distancia mínima de 0.5 m hasta el cordón de hormigón.

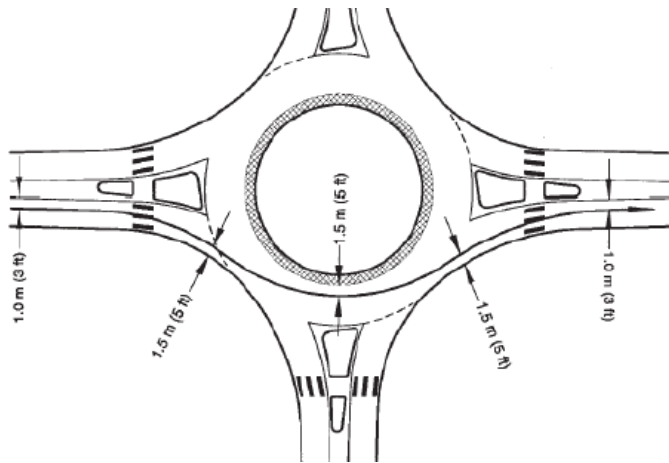


Figura 3.32 Trayectoria vehicular rápida a través de una rotonda de un carril.

Fuente: US. Dept of Transportation, Federal Highway Administration, 2011

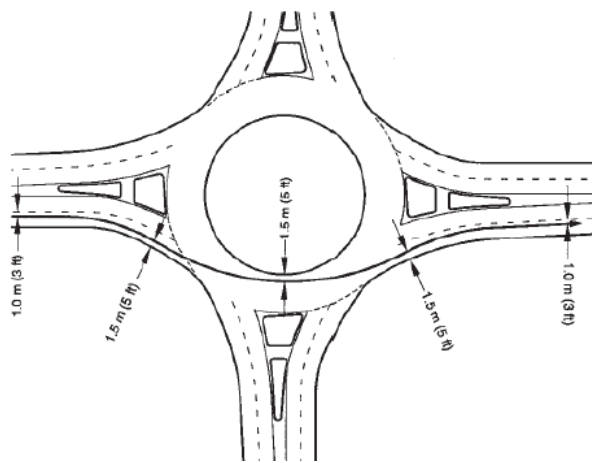


Figura 3.33 Trayectoria vehicular rápida a través de una rotonda multicarril

Fuente: US. Dept of Transportation, Federal Highway Administration, 2011

Una vez esbozada la trayectoria más rápida, podemos medir los radios mínimos de curva para determinar los radios.

3.5.16 Diseño de la salida

Usualmente, se espera que los radios de salida sean mayores que los radios de entrada y, así reducir al mínimo la probabilidad de congestión y accidentes en la salida. Diseñar con anchos superiores produce que la velocidad de salida pueda ser aún mayor, afectando el paso peatonal. Generalmente se diseñan cordones de salida no menores a 15m, con valores comunes entre 30 y 60m (FHWA, 2010).

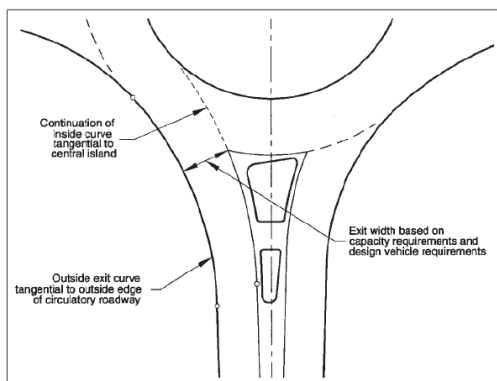


Figura 3.34 Fuente: FHWA RP672,2010

3.5.17 Distancia de visibilidad

Las normas AASHTO 2011 definen que, la capacidad de un conductor para ver hacia adelante es necesaria para que la operación de un vehículo en un camino sea segura y eficiente. La distancia visual debe ser tal, que los conductores puedan controlar la operación de sus vehículos para evitar golpear un objeto inesperado en la calzada. Algunos caminos de dos carriles, además deben tener la distancia visual suficiente para permitir a los conductores utilizar el carril de circulación contrario para adelantarse a otros vehículos, sin interferir con los vehículos que se aproximan. A continuación, analizaremos la distancia visual de detención y la distancia visual de intersección.

3.5.17.1 Distancia visual de detención

Se conoce como distancia visual a la longitud medida en la calzada por delante, visible para el conductor. Dicha longitud, debe ser la suficiente, como para permitir que el conductor que viaja en o cerca de la velocidad directriz, registre y se detenga antes de llegar a un objeto inmóvil. Como define la normativa ASSHTO, la distancia visual de detención, es la suma de dos distancias. Por un lado, tenemos a distancia recorrida por el vehículo desde el instante en que el conductor ve un objeto que requiere una detención, hasta el instante en que aplica los frenos y, por otro lado, tenemos la distancia necesaria para detener el vehículo desde el instante en que comienza la aplicación del freno. Dichas distancias se conocen como distancia de reacción al frenado y distancia de frenado.

Como cita la FHWA, en el tiempo de reacción al frenado son muchos los factores que influyen, bajo condiciones especiales, como ser situaciones de emergencia, indicadas ya sea por luces intermitentes o bengalas, el tiempo de reacción del conductor es inmediato, pero, en la mayoría de las situaciones, estas condiciones no se presentan, por lo cual el conductor necesita registrar el objeto y reconocerlo como estacionario. En estas ocasiones, el tiempo de reacción al frenado, varía considerablemente dependiendo de la distancia al objeto, la agudez visual del conductor, la rapidez natural con la que el conductor reacciona, la visibilidad atmosférica, tipo y condición del camino y naturaleza del obstáculo, además la velocidad del vehículo y el entorno vial, probablemente también influyan en el tiempo de reacción.

Normalmente y, como la experiencia lo demuestra, un conductor que viaja a una velocidad cerca de la velocidad directriz, está más alerta que un conductor viajando a una velocidad menor.

Luego de varias investigaciones realizadas, se llegó a la conclusión que, considerando un tiempo de reacción al frenado de 2,5s, se abarca la capacidad de la mayoría de los conductores, bajo la mayoría de condiciones de camino, incluso teniendo los conductores ancianos.

Entonces, a partir de la siguiente ecuación planteada por AASHTO 2011, puedes conocer la distancia de reacción al frenado

$$D_r = 0.278 V t$$

En relación a la distancia de frenado, la normativa AASHTO determina que la distancia aproximada de un vehículo, en un camino plano, que viaja a la velocidad directriz, puede determinarse a partir de la siguiente ecuación:

$$d_b = 0.039 \frac{V^2}{a}$$

d_b = Distancia de frenado [m]

V = Velocidad inicial [km/h]

a = Desaceleración [m/s^2]

El valor de $3,4 \text{ m/s}^2$ (desaceleración cómoda para la mayoría de los conductores), se recomienda como umbral de desaceleración para determinar la distancia visual de detención (AASHTO 2011)

Una vez conocidas la distancia de reacción al frenado y distancia de frenado, conoceremos la distancia visual de detención representada por la siguiente ecuación:

$$SSD = 0.278 V t + 0.039 \frac{V^2}{a}$$

Design Speed (km/h)	Brake Reaction Distance (m)	Braking Distance on Level (m)	Stopping Sight Distance	
			Calculated (m)	Design (m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83.0	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129.0	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	83.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

Figura 3.35 Distancia visual de detención en caminos planos. Fuente: AASHTO 2011

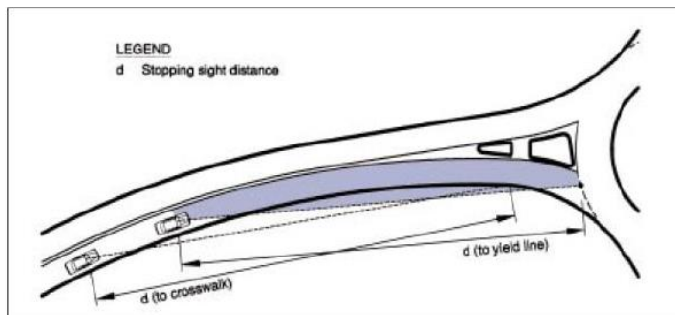


Figura 3.36 Distancia visual de detención en la aproximación. Fuente: FHWA, 2010

3.5.17.2 Efecto de pendiente

Cuando un camino se encuentra en pendiente, la ecuación de reacción al frenado se modifica de la siguiente manera:

$$db = \frac{V^2}{254 \left[\frac{a}{9.81} \pm G \right]}$$

Dónde:

db= Distancia de frenado [m]

V= Velocidad inicial [km/h]

a= Deceleración [m/s²]

G: Valor decimal de la tangente trigonométrica del ángulo del eje del camino con respecto a la horizontal. [m/m]

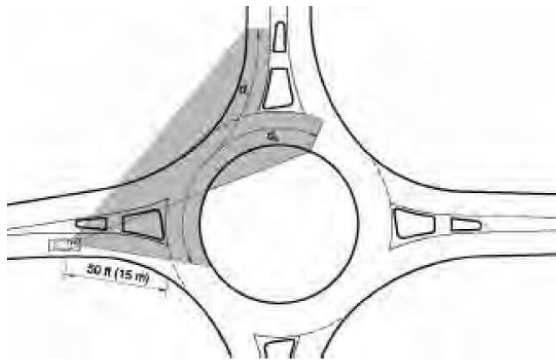
La normativa AASHTO, evidencia que, las distancias de frenado necesarias en subidas son más cortas que en los caminos planos, y en bajada son más largas.

Design Speed (km/h)	Stopping Sight Distance (m)					
	Downgrades			Upgrades		
	3 %	6 %	9 %	3 %	6 %	9 %
20	20	20	20	19	18	18
30	32	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	263	281	304	234	223	214
130	302	323	350	267	254	243

Figura 3.37 Distancia visual de detención en pendiente. Fuente: AASHTO,2011

3.5.17.3 Distancia visual de intersección

Como lo indica la Guía Americana FHWA2010, la distancia visual de intersección va a ser la distancia necesaria para que un conductor que no tenga derecho de paso, pueda percibir y reaccionar ante la presencia de vehículos en conflicto. Dicha distancia se obtiene mediante la creación de los triángulos visuales que permitan a un conductor ver y reacción con seguridad a los vehículos que son potencialmente conflictivos. Los lugares que requieren una evaluación de distancia visual, en rotondas, son las entradas, cuyas distancias se miden a lo largo de la trayectoria vehicular, considerando una supuesta altura de ojos del conductor de 1.08m y una altura supuesta de objeto de 1.08m. Como puede observarse en la siguiente imagen, el triángulo de la distancia visual, tiene dos aproximaciones contradictorias, las cuales deben verificarse independientemente.



REFERENCIAS.

- d₁ Distancia de corriente entrante
- d₂ Distancia de corriente circulante.

Figura 3.38 Distancia visual de intersección Fuente: FHWA,2010

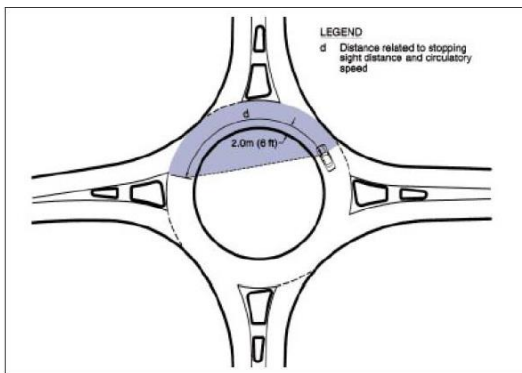


Figura 3.39 Distancia visual de detención en la calzada circulatoria. Fuente: FHWA,2010

3.5.17.3.1 Longitud del lado de aproximación del triángulo visual

En relación a la longitud del lado de aproximación, la Guía Americana, argumenta que el valor debe limitarse a 15m, ya que como la experiencia lo demuestra, utilizar valores mayores resulta en una mayor frecuencia de accidentes. En ocasiones donde el ramal de aproximación del triángulo visual sea mayor a 15m, se aconseja añadir jardinería para así restringir la distancia visual a los requerimientos mínimos.

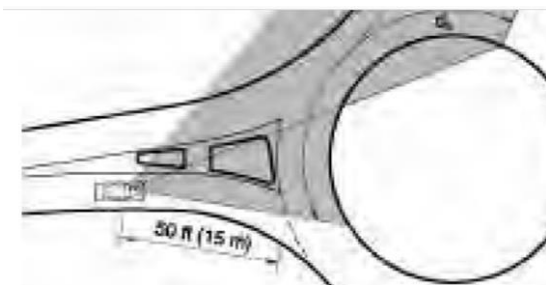


Figura 3.40 Longitud del lado de aproximación del triángulo visual. Fuente: FHWA,2010

3.5.17.3.2 Longitud del lado conflictivo del triángulo visual

Un vehículo que se aproxima a una entrada de una rotonda se enfrenta a los vehículos en conflicto, dentro de la calzada circulatoria y, en la entrada inmediatamente corriente arriba. La FHWA 2010 propone las ecuaciones para conocer la longitud del ramal en conflicto

$$d1: (1.468)(V_{\text{principal,entrante}})(T_c) \quad d1: (0.278)(V_{\text{principal,entrante}})(T_c)$$

$$d2: (1.468)(V_{\text{principal,entrante}})(T_c) \quad d2: (0.278)(V_{\text{principal,entrante}})(T_c)$$

Donde:

d1: Lado del triángulo visual de entrada [m]

d2: Lado del triángulo visual de circulación [m]

V principal: Velocidad de circulación en conflicto [km/h]

Tc: Distanciamiento critico de entrada a camino principal = 6,5 [s]

Conflicting Approach Speed (km/h)	Computed Distance (m)	Conflicting Approach Speed (mph)	Computed Distance (ft)
20	36.1	10	95.4
25	45.2	15	143.0
30	54.2	20	190.1
35	63.2	25	238.6
40	72.3	30	286.3

Figura 3.41 Fuente: FHWA RD067

Velocidad de Aproximación Conflictiva (km/h)	Distancia Calculada (m)
20	28
25	35
30	42
35	49
40	56

Figura 3.42 Fuente: FHWA,2010

En cada entrada, según lo explica la Guía Americana, deben chequearse tanto el flujo de entrada, está compuesto por los vehículos desde la entrada inmediatamente arriba y, cuya velocidad de movimiento es aproximadamente el promedio de la velocidad teórica de entrada (R1) y la velocidad de circulación (R2), como el flujo de circulación, el cual está compuesto por los vehículos que entran en la rotonda antes de la entrada inmediata corriente arriba.

Aproximadamente, la velocidad de los vehículos de flujo de circulación, es la velocidad de los vehículos que giran a la izquierda (R4).

La Guía Americana aconseja que, en la mayoría de los casos, es mejor no ofrecer más que la distancia visual de intersección mínima requerida, ya que, si son excesivas, pueden propiciar velocidades más altas de los vehículos y, consecuentemente, disminuir la seguridad de todos los usuarios de la rotonda

3.5.18 Condiciones específicas del sitio

Cada zona tiene sus propias características, problemas y objetivos por mejorar, los cuales influyen en la elección del tipo de control de tránsito (intersección).

Las rotondas tienen beneficios en muchas situaciones, aunque, también pueden ser más complicadas de aplicar, en comparación con otro tipo de control.

Al evaluar la viabilidad de una rotonda debemos considerar las características específicas del lugar de cruce. Existen sitios donde las rotondas, a menudo, presentan grandes ventajas, como en intersecciones con problemas de seguridad históricos. También en lugares con volumen de tránsito relativamente equilibrado, o en zonas con un alto volumen de tránsito, en horas pico, pero con volumen relativamente bajo durante las horas no pico. Presentan beneficios en intersecciones a una puerta de entrada o un punto de entrada, como lo es un área comercial, un parque, un área urbana. También lo es para intersecciones en las que una mejora para de la comunidad pueda ser deseables o intersecciones donde se espera crecimiento de tránsito, en zonas donde el entorno de velocidades son diferentes y, por último, en lugares con gran necesidad de dar una transición entre los entornos de uso de la tierra como es el caso de una ruta y un acceso a una ciudad.

3.6 Métodos de cálculo de la capacidad de una entrada

El objetivo de los métodos de cálculo es obtener fórmulas que representen la relación existente entre el tráfico que transita por la calzada anular y el máximo que podría incorporarse en una entrada. Dentro de ellos podemos diferenciar dos tipos de métodos, que según De la Hoz y Pozueta (1989), son los principales. Los que tratan de establecer los parámetros de esta relación de manera empírica y lo que lo hacen a través de modelos de tipo probabilísticos.

3.6.1 Métodos empíricos

Expondremos dos métodos existentes, el método inglés y el francés.

El método inglés puede considerarse el método más preciso, debido a la larga experiencia e investigación inglesa, y el francés se caracteriza por su sencillez, al momento de realizar los cálculos. Sin embargo, existen otros tipos de métodos que pueden ser empleados en otros países.

3.6.2 Método CETUR- 1986

El CETUR (Center d' Etudes des Transports Urbains, ahora CETUR) plantea que, para que una entrada funcione correctamente, la suma de los tráficos entrante y molesto debe ser inferior a 1500 vehículos ligeros por hora (lo que equivale a intervalos entre vehículos de 2.4 segundos) y la rotonda en cuestión debe tener una sola vía de circulación por entrada y una anchura media de 8m para el anillo de circulación.

Define como tráfico molesto, al tráfico saliente que va del 0 % para el caso más favorable donde la isleta deflectora es muy grande y/o la vía de salida está especialmente acondicionada, al 30% para la situación más desfavorable que sería en ausencia de isleta deflectora. También incluye al tráfico circulante equivalente, calculado considerando que la circulación en el anillo se produce en dos filas. Por lo tanto, se deben tener en cuenta dos consideraciones primero, que en rotondas urbanas de tamaño reducido (diámetro entre 26 a 46m) considera que el tráfico prioritario de referencia es del orden del 90% del tráfico

total y, segundo para rotondas grandes (más de 75m) utilizar como tráfico prioritario de referencia igual al 70% del tráfico total.

Ahora bien, si la entrada de la rotonda está constituida por dos carriles, el volumen de tráfico admisible por la entrada aumenta, aproximadamente, un 40% respecto a una entrada con un solo carril.

La fórmula de capacidad por el método CETUR

$$Q_e = 1500 - \frac{5}{6} \cdot (Q_c + 0,2 \cdot Q_s)$$

Donde →

Q_e : Capacidad de entrada

Q_c : Tráfico que circula por la calzada anular

Q_s : Tráfico que sale por el mismo brazo

3.6.3 Ajuste del método CETUR

El CETUR, decidió ajustar una recta por su simplicidad de cálculo. Dicho método constituye, en realidad, una modificación del gráfico del método SETRA, la cual manifiesta que para un tráfico molesto nulo el tráfico entrante resulta ser el máximo y, para una entrada de una sola vía la capacidad es de 1500 veh/h, lo que equivale a intervalos entre vehículos de 2.4s. Además, plantea que si el tráfico molesto Q_s supera los 1800 veh/h, se considera que el tráfico entrante es nulo (entrada saturada).

La fórmula es la siguiente:

$$C = 1500 - \frac{5}{6} \cdot Q_s$$

3.6.4 Formula del SETRA

El método publicado por el SETRA, para la capacidad de una entrada a una rotonda, fue en el año 1987, dejando en evidencia que cierta parte del tráfico

saliente de la calzada circulatoria resulta molesto para los vehículos que entran por la entrada situada inmediatamente a continuación, por lo que la capacidad de dicha entrada, disminuye. También concluyeron que el efecto de este tráfico saliente es menor cuando la isleta deflectora es más ancha.

Fórmula de capacidad SETRA

$$C = (1330 - 0.7 Q_g) \times (1 + 0.1 \times (e - 3.5)) \text{ Veh/h}$$

Donde:

C = Capacidad de la entrada en veh/h.

Q_g = Tráfico molesto en veh/h.

e = Ancho de la entrada en metros.

La parte del tráfico saliente que debe considerarse en la fórmula de tráfico molesto es la siguiente:

$$Q's = Q_s \frac{15-L}{15} \text{ veh/h}$$

Donde:

L = Ancho de la isleta deflectora en metros

Entonces, la fórmula de tráfico molesto viene dada por la siguiente expresión:

$$Q_g = (Q_c + \frac{2}{3} Q's) \times [1 - 0.085 (u-8)] \text{ veh/h}$$

Siendo u el ancho en metro del anillo de circulación.

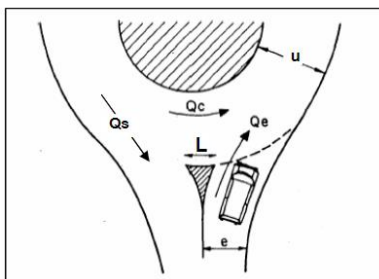


Figura 3.42 Fuente: FHWA,2010

La variable más importante es el ancho de la entrada, ya que cada metro suplementario por encima de un ancho estándar 3.5 metros implica un aumento del 10 % en la capacidad de la entrada.

3.6.5 Método HCM 2010

La FHWA propone, como metodología de análisis operacional, el Manual de Capacidad de Caminos conocido como HCM 2010. El método presentado permite la evaluación del funcionamiento operacional de una rotonda de un solo carril o de dos carriles, existente o en proyecto, dados los niveles de demanda de tránsito.

- La capacidad de un carril de entrada con la oposición de un carril de circulación será:

$$C_{e,pce} = 1.130e^{(-1.0 \times 10^{-3})v_{c,pce}}$$

Donde:

$C_{e,pce}$ = Capacidad de carril, ajustado para los vehículos pesados, cp/h

$v_{c,pce}$ = Flujo de conflicto en el carril de circulación, cp/h

- La capacidad para una vía de entrada en conflicto por dos vías de circulación será:

$$C_{e,pe} = 1130 \cdot e^{(-0,7 \times 10^{-3})v_{c,pe}}$$

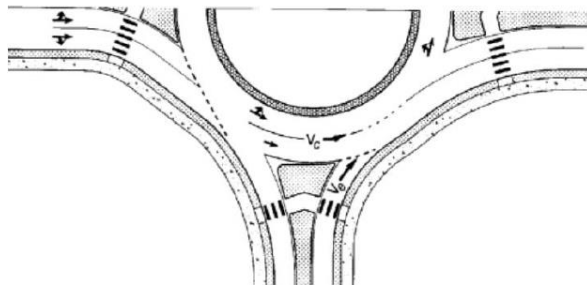


Figura 3.43 Fuente: Morris et al., 2010.

- La capacidad para dos vías de entradas en conflicto por dos vías de circulación será:

$$C_{e,R,pe} = 1130 \cdot e^{(-0,7 \times 10^{-3})v_{c,pe}}$$

$$C_{e,L,pe} = 1130 \cdot e^{(-0,75 \times 10^{-3})v_{c,pe}}$$

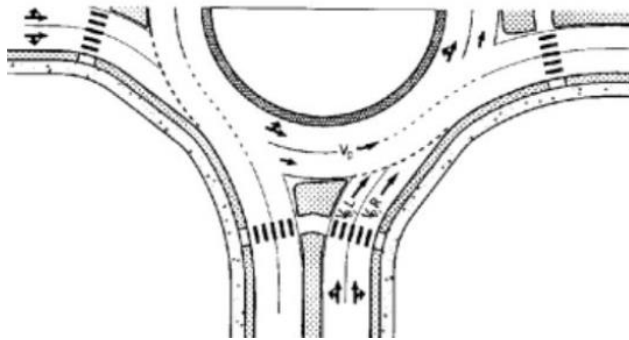


Figura 3.44 Fuente: Morris et al., 2010.

Donde:

$C_{e,pe}$ = Capacidad para cada vía de entrada

vc,pce = Flujo en conflicto (pc/h)

$C_{e,R,pe}$ = Capacidad para vía de entrada derecha

$C_{e,L,pe}$ = Capacidad para vía de entrada izquierda

La unidad utilizada por este método para calcular la capacidad está en pc/h, que quiere decir “pasajeros por hora”. Puede ser calculada mediante la siguiente figura, teniendo en cuenta cierto flujo en conflicto (pc/h). Solo hay que saber el número de vías de entrada y circulación de la rotonda, para así tener la capacidad de la misma.

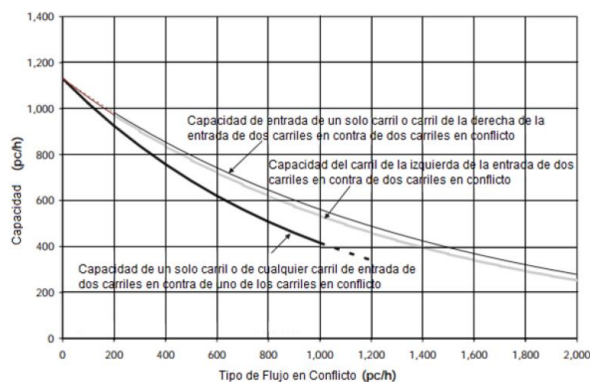


Figura 3.45 Fuente: US Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, 2011

3.6.6 Método del TRRL

El gobierno del Reino Unido estableció relaciones confiables para la capacidad de las rotondas, a través de un programa de investigación, cuyo propósito era producir un modelo que un ingeniero de tráfico pueda utilizar para diseñar

rotondas que satisfagan las necesidades operacionales de la intersección. Este método parte de la hipótesis de que la relación entre los dos tránsitos, el que circula por el anillo y el entrante, es una relación lineal o casi lineal, que calcula la capacidad de cualquier rotonda, excepto las que poseen calzadas separadas.

Fórmula de la capacidad:

$$Q_e = K \times (F - F_c \times Q_c)$$

Donde

Q_e = Flujo de entrada en Vehículos equivalentes (1 vehículo pesado = 2 vehículos livianos)

Q_c = Flujo en el anillo que cruza la entrada (Q_{eq})

$$k = 1 - 0,00347 \cdot (\phi - 30) - 0,978 \cdot \left(\frac{1}{r} - 0,05\right)$$

$F = 303 \times 2$ En rotondas con desnivelación $F = 336 \times 2$

$F_c = 0.21 \cdot T_d \cdot (1 + 0,2 \cdot X_2)$.

En rotondas con desnivel se usa: $F_c = 0.294 \cdot T_d \cdot (1 + 0.2 \cdot X_2)$

$$t_D = 1 + \frac{0.5}{1+M} \quad M = e^{\frac{D-60}{10}}$$

$$X_2 = V + \frac{e-v}{1+2 \cdot S}$$

$$S = \frac{1,6 \cdot (e - V)}{L'}$$

e, v, L', S, D, ϕ, r se definen como :

$3,6 \text{ m} \leq e \leq 16,5 \text{ m}$ = Ancho de entrada (m)

$1,9 \text{ m} \leq v \leq 12,5 \text{ m}$ = Ancho del acceso de entrada (m)

$1,9 \text{ m} \leq L' \leq \infty \text{ m}$ = Largo promedio del ensanche(abocinamiento) de entrada (m)

FACULTAD DE INGENIERIA

$0,0 \leq S \leq 2,9$ = Agudeza del ensanche (m)

$13,5 \leq D \leq 171,6$ m = diámetro del círculo inscripto (m)

$0,0^\circ \leq \phi \leq 77^\circ$ = ángulo de entrada.

$3,4 \text{ m} \leq r \leq \infty \text{ m}$ = radio de entrada (m)

Para comprender mejor el método, a continuación, se agregarán imágenes explicando a que corresponde cada letra o símbolo asignado.

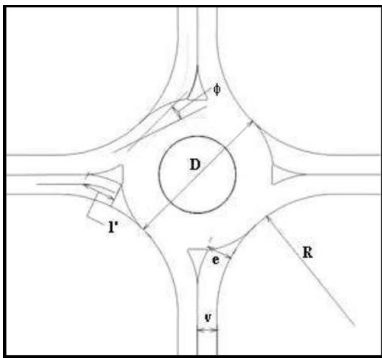


Figura 3.46 Fuente: Dirección General de Carreteras - Consejería de Transportes,1994

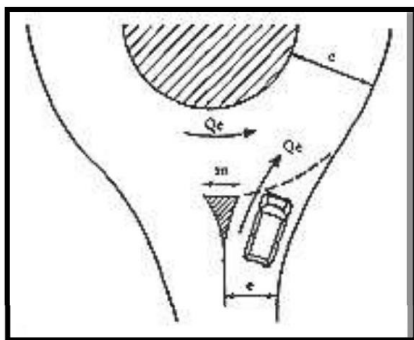


Figura 3.47 Fuente: Dirección General de Carreteras - Consejería de Transportes,1994

3.6.7 Métodos probabilísticos

Los métodos probabilísticos, a diferencia de los empíricos, se basan en el análisis de la probabilidad de incorporación de vehículos a un flujo de circulación, normal a su dirección, con distribución temporal aleatoria.

Uno de ellos es el método de Harders, el cual utiliza dos conceptos fundamentales. El primero es el concepto de intervalo crítico que, hace alusión al intervalo mínimo que debe producirse entre dos vehículos consecutivos del flujo principal, para que el vehículo en espera de entrada, se introduzca en él. El segundo es el concepto de intervalo complementario, el cual hace mención al tiempo que tarda un vehículo situado en segundo lugar, en la línea de ceda el paso, para colocarse sobre dicha línea, en condiciones de poder iniciar la maniobra de incorporación.

CAPITULO IV

DISEÑO GEOMETRICO

En este capítulo, presentaremos el tipo de rotonda a diseñar y su respectivo emplazamiento en la ciudad de Bragado, Provincia de Buenos Aires.

Además, se apreciarán las dimensiones del terreno de la intersección, y se dejará asentado el flujo vehicular horario, para proponer el modelo de rotonda apropiado.

Finalmente, se realizara el desarrollo del diseño geométrico de la rotonda, con el fin de calcular y analizar la capacidad de entrada en la misma.

4.1 Dimensión de la intersección

Como se puede observar en las figuras 4.1/4.2/4.3/4.4, disponemos de terreno suficiente para la ejecución de una rotonda en la intersección Juan Domingo Perón-Ruta Provincial N°46, a fin de controlar y organizar la demanda de tránsito circulante.

El ancho comprendido entre calzadas del acceso Juan Domingo Peron dirección Sur, mas la isleta divisoria es de 16.3m (ver figura 4.1), mientras que acercándonos a la zona de cruce de la intersección, el ancho de calzada es de 45m (ver figura 4.3). Viniendo por dirección Este, la intersección presenta un ancho de calzada de 26m (ver figura 4.4) y viniendo por dirección Oeste se registra también 26m (ver figura 4.2).



Figura 4. Carriles de la intersección Fuente: Elaboración propia



Figura 4.1 Fuente: Elaboración propia



Figura 4.2 Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3 Fuente: Elaboración propia



Figura 4.4 Fuente: Elaboración propia

4.2 Tipo de rotonda

De acuerdo al área de terreno disponible, a los datos actuales de tránsito circulante en la intersección, como a las predicciones de tránsito a futuro y la velocidad de circulación en las aproximaciones, el tipo de rotonda más acorde a la situación, se trata de una rotonda de tipo normal, que tiene como características principales la posibilidad de adoptar un diámetro de círculo inscrito mayor a 27m. Por lo tanto, se descarta la opción de minirrotonda, además por tratarse de una intersección sobre una Ruta Provincial, lo cual implica velocidades mayores de circulación, la elección de una rotonda normal permite que se circule a mayor velocidad tanto en entrada, calzada circulatoria y salida de la rotonda.

Una cualidad que presentan las rotondas es que no es necesario que el tránsito se detenga totalmente cuando se generan colas en uno o más accesos. Por el contrario, siguen avanzando y, esto suele ser más tolerable para los conductores que están detenidos, permitiendo así, solucionar una de las problemáticas que tiene esta intersección. Como veremos más adelante, la intersección colapsa el fin de semana, debiendo asistir personal de la Dirección de Tránsito los días viernes, sábado y domingo, para organizar y dirigir el flujo vehicular.

También es beneficio para peatones y ciclistas que frecuentan el cruce, ya que actualmente corren un gran riesgo por la mala administración de accesos. Por lo tanto, diseñar una rotonda adecuadamente, que incite a los conductores a circular a baja velocidad, disminuye dicho riesgo.

Siendo una de las entradas principales a la ciudad y la entrada al Parque Lacunario, una rotonda del tipo normal, mejora la seguridad de la intersección, mediante la promoción de velocidades más bajas y, además, permite mejorar la estética de la misma. En el caso de nuestra intersección, reubicar la estatua, brindaría mejores soluciones de visibilidad, ya que actualmente se ubica en el triángulo visual crítico, de manera tal que, invade la línea de visión del conductor.

A continuación, en la figura 4.5 se mostrará lo citado anteriormente.



Figura 4.5 Visibilidad desde el carril 1 Fuente: Elaboración propia

4.3 Flujo vehicular de la intersección

A fin de evidenciar el problema de congestión e inseguridad vial que presenta la intersección Juan Domingo Perón - Ruta Provincial 46, se adjuntan imágenes tomadas por las cámaras de seguridad de la intersección, en las horas y días de mayor colapso.

Considerando que, la mayor demanda se genera el fin de semana y, es cuando se requiere de personal de la Dirección de Tránsito que organice y ordene el flujo vehicular, peatonal y ciclistas, es que a través de una filmación de 17 minutos generada por una cámara domo, se pudo calcular el tiempo entre vehículos de cada aproximación, para luego estimar el volumen que se acerca y atraviesa la intersección.

A partir de ello, se formuló una tabla con dos entradas. Una de ellas destinada al origen-destino del flujo vehicular y, la otra al volumen del mismo. Además, mediante la obtención de las grabaciones de cinco días de la semana, de la propia intersección, generamos también, estadísticas del promedio del volumen vehicular que circula durante los días de la semana, como así también de peatones y ciclistas.

Realizar una medición del flujo vehicular horario consiste, en determinar el número de vehículos que circulan por una vía durante una hora. En este caso, en la hora punta tarde, específicamente entre las 15:00 y las 16:00 y entre el pico más alto que se da entre 19:30 hasta 20:30. Estos horarios corresponden a las horas que más congestión presenta la intersección.

A continuación, agregamos las tablas generadas y un boceto de la intersección con las respectivas denominaciones de cada ramal.

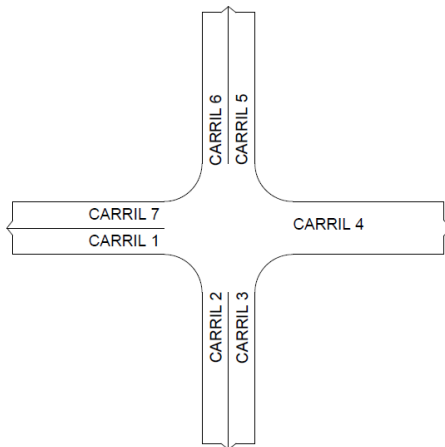


Figura 4.6 Boceto de la intersección Fuente: Elaboración propia

El carril número 1 y número 7 pertenece al Acceso Juan Domingo Perón, el número 2/3/5/6 a la Ruta Provincial N°46 y el carril número 4 al Parque Lacunario General San Martín.

ORIGEN-DESTINO	INTERVALO DE TIEMPO [s]	CANTIDAD DE VEHÍCULOS [veh/h]
C1 → C4	7 [s]	515
C1 → C2	12 [s]	300
C1 → C5	10.3 [s]	350
C3 → C5	24.5 [s]	147
C3 → C4	164 [s]	22
C3 → C7	8.8 [s]	403
C4 → C5	200 [s]	18
C4 → C7	6.3 [s]	570
C4 → C2	100 [s]	26
C6 → C7	8.5 [s]	422
C6 → C2	10.3 [s]	110
C6 → C4	258 [s]	14
Carril espera	44.92 [s]	
Giro en U	5,33 [s]	

Tabla 4.1. Fuente: Elaboración propia

FACULTAD DE INGENIERIA

7/10/2019- 8/10/2019-23/12/19- 24/12/19-31/1/2019-	
ORIGEN-DESTINO	VEH/H
C1 → C2	No se ve
C1 → C4	136
C1 → C5	81
C3 → C4	15
C3 → C5	69
C3 → C7	196
C4 → C5	15
C4 → C7	113
C4 → C2	26
C6 → C7	99
C6 → C2	40
C6 → C4	14
BICI	129
PEATON	133
GIROS EN U V	2
GIROS EN U B	5

Tabla 4.2. Fuente: Elaboración propia

Aclaraciones: 1) El tiempo de espera del carril 6 corresponde a la cantidad de segundos que permitió registrar la cámara. 2) Los giros en U concierne a los movimientos previos a la intersección. 3) El margen de error en la medición es de +2s por cada vehículo

4.4 Cálculo de capacidad

Los factores influyentes en los métodos de cálculo de la capacidad de una entrada corresponden a la relación entre el tráfico que transcurre por la calzada anular y el máximo que podría incorporarse en la entrada.

El proyecto “Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante microsimulación de tráfico”, realizado por la red internacional de Cátedra Abertis de investigación en infraestructuras de transporte, argumenta que, la capacidad de la entrada se comporta como una función del tráfico de los demás accesos, también de la interacción entre estos flujos y de la geometría de la intersección.

Los datos más relevantes de cada acceso son el flujo en la entrada (flecha roja en la figura 4.6), que se calcula con la suma de los vehículos que van recto, más los que giran a la izquierda, más los que giran a la derecha y retoman, y el flujo del anillo (flecha roja en la figura 4.7) que es la suma de los vehículos con diferentes movimientos que pasan por delante de la isleta deflectora adyacente, aguas arriba. Los giros a la derecha se consideran en los volúmenes del acceso pero no en el flujo anular ya que salen antes de la siguiente entrada.

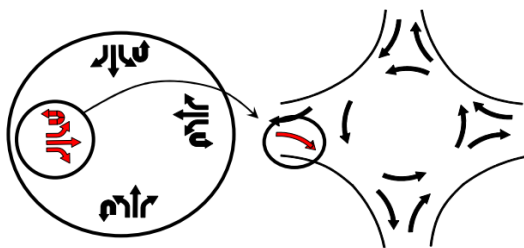


Figura 4.6 Fuente: Abertis

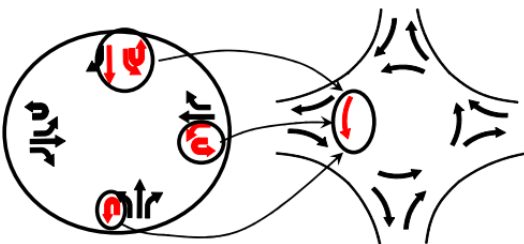


Figura 4.7 Fuente: Abertis

Con los datos obtenidos anteriormente de los movimientos de giros existentes, se procedio a estimar la configuracion de carriles que requiere la interseccion. Vale recordar que la capacidad de una rotonda está condicionada por el volumen de tránsito en conflicto VC (transito a lo largo de la calzada circulatoria) que está presente en cada entrada de la rotonda. Por lo tanto un alto volumen en conflicto reduce la capacidad de un determinado acceso de aproximacion VE.

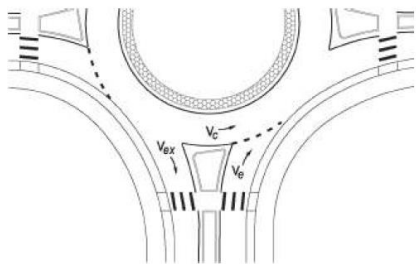


Figura 4.8 Fuente: FHWA

Se evaluo cada ramal de aproximación, individualmente, para determinar el número de carriles de la entrada que se requieren, basado en la tasa de flujo en conflicto.

4.5 Calculo de flujo en entrada y flujo en conflicto, días de la semana y fin de semana

4.5.1 Flujo en conflicto/entrada fin de semana

FLUJO EN ENTRADA	ORIGEN-DESTINO	VEH/H
Ve1 :	C1-C4 + C1-C2 + C1-C5 + U	1167
Ve3 :	C3-C5 + C3-C4 + C3-C7	572
Ve4 :	C4-C7 + C4-C5 + C4- C2	624
Ve6 :	C6-C2 + C6-C7 + C6-C4	788

Tabla 4.3.Fuente: Elaboración propia

FLUJO EN CONFLICTO	ORIGEN-DESTINO	VEH/H
Vc1 :	C6-C2 + C6-C4 + C4-C2 + U	404
Vc3 :	C1-C4 + C1-C5 + C6-C4	879
Vc4 :	C3-C5 + C3-C7 + C1-C5	900
Vc6 :	C4-C7 + C4-C2 + C3-C7	1009

Tabla 4.4. Fuente: Elaboración propia

FLUJO DE ENTRADA + FLUJO EN EL ANILLO	VEH/H
Ve1 + Vc1	1571
Ve3 + Vc3	1451
Ve4 + Vc4	1524
Ve6 + Vc6	1797

Tabla 4.5. Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Flujo en conflicto/entrada días de la semana

FLUJO EN ENTRADA	ORIGEN - DESTINO	VEH/H
Ve1 :	C1-C4 + C1-C2 + C1-C5 + U	369
Ve3 :	C3-C5 + C3-C4 + C3-C7	280
Ve4 :	C4-C7 + C4-C5 + C4- C2	154
Ve6 :	C6-C2 + C6-C7 + C6-C4	153

Tabla 4.6. Fuente: Elaboración propia

FLUJO EN CONFLICTO	ORIGEN - DESTINO	VEH/H
Vc1 :	C6-C2 + C6-C4 + C4-C2 + U	82
Vc3 :	C1-C4 + C1-C5 + C6-C4	231
Vc4 :	C3-C5 + C3-C7 + C1-C5	346
Vc6 :	C4-C7 + C4-C2 + C3-C7	335

Tabla 4.7. Fuente: Elaboración propia

FLUJO EN ENTRADA + FLUJO EN EL ANILLO	VEH/H
Ve1 + Vc1	451
Ve3 + Vc3	511
Ve4 + Vc4	500
Ve6 + Vc6	488

Tabla 4.8. Fuente: Elaboración propia

4.5.2.1 Fotografías del volumen vehicular

A continuación, se mostraran las imágenes tomadas por la cámara de seguridad, del flujo vehicular, peatonal y ciclista, de la intersección.



Figura 4.9 Fuente: Elaboración propia



Figura 4.10 Fuente: Elaboración propia



Figura 4.11 Fuente: Elaboración propia



Figura 4.12 Fuente: Elaboración propia

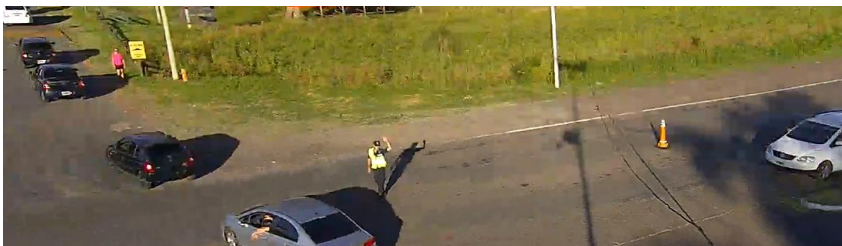


Figura 4.13 Fuente: Elaboración propia



Figura 4.14 Fuente: Elaboración propia



Figura 4.15 Fuente: Elaboración propia



Figura 4.16 Fuente: Elaboración propia

4.5.2.2 Fotografías del volumen vehicular en la Fiesta Nacional del Caballo



Figura 4.17 Fuente: Elaboración propia semana de la Fiesta Nacional del Caballo. Fuente: Bragado TV



Figura 4.18. Semana de la Fiesta Nacional del Caballo. Fuente: Bragado TV

Una vez realizado el cálculo y obtenido el volumen vehicular que transita por la intersección, podemos concluir que el fin de semana es cuando se genera mayor demanda, aun así, el flujo peatonal y ciclista se mantiene semejante, tanto los días de semana como el fin de semana.

La peligrosidad que presenta la intersección sigue siendo motivo de preocupación y objetivo a eliminar con el aporte del presente trabajo.

A raíz de lo dicho anteriormente y en evidencia a los valores obtenidos, la demanda de tránsito el fin de semana, posiblemente, requiera una rotonda de dos carriles, mientras que los días de semana con una rotonda de 1 solo carril sería suficiente.

Por lo tanto, plantearemos tres posibles soluciones a evaluar y finalmente, optaremos por el diseño más beneficioso para la intersección:

a) Opción A: Diseño geométrico de una intersección de 1 carril, con diámetro menor/igual a 40m de círculo inscrito.

b) Opción B: Diseño geométrico de una intersección de 1 carril con diámetro de círculo inscrito mayor a 40m

b) Opción C: Diseño geométrico de una intersección de 2 carriles.

4.5.3 Ancho de aproximación

En la figura 4.19, se puede apreciar la influencia que tiene el trazado de la entrada/salida y la presencia de la isleta central, en la deflexión que se provoque. Como se puede observar, se muestran tres perfiles de velocidad para una trayectoria recta de paso por una glorieta, quedando en evidencia que cuanto más alejado estemos de la glorieta, mayor será la velocidad.

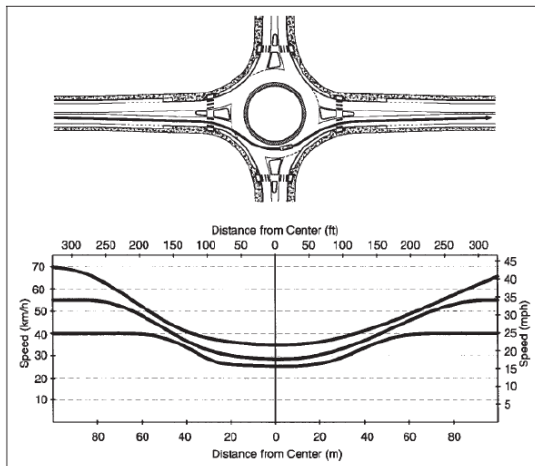


Figura 4.19 propia Fuente: FHWA 2000.

En función a lo citado anteriormente y, conociendo las limitaciones de velocidad que presenta la intersección en sus ramales, se optó para ambos proyectos, el siguiente ancho de aproximación en todos sus ramales: 3.50 [m].

Ramal N°1, N°3, N°4 y N°6: 40 km/hs

Ramal N°2 y N°5: 110km/h

Ramal N°7: 80km/hs

V (km/H)	N (1) (2)	
	M.REC	M.ABS
30	2,75	2,50
40	3,00	2,75
50	3,25	3,00
60	3,25	3,00
70	3,50	3,25
80	3,50	3,25
90	3,50	3,25
100	3,50	3,25

Figura 4.20 Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.2009

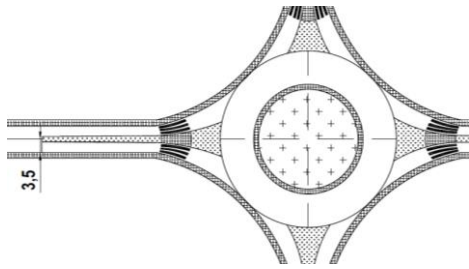


Figura 4.21 Rotonda opción A. Fuente: Elaboración propia.

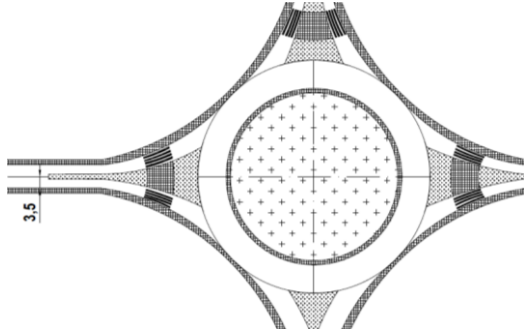


Figura 4.22 Rotonda opción B Fuente elaboración propia

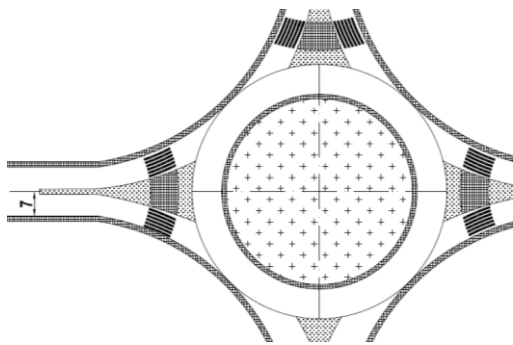


Figura 4.23 Rotonda opción C Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Diámetro de círculo inscripto

En el punto 3.5.4, se explicó cómo obtener el diámetro de círculo inscrito de una rotonda, mediante la ayuda de la tabla propuesta por la FHWA 2010, la cual relaciona el tipo de rotonda con el diámetro de círculo y el vehículo de diseño.

En este proyecto, consideramos como vehículo de diseño un WB-15, por lo tanto, optamos por los siguientes diámetros:

Diámetro inscrito rotonda opción A, con un carril de acceso: 46 m

Diámetro inscrito rotonda opción B, con un carril de acceso: 70 m

Diámetro inscrito rotonda opción C, con dos carriles de accesos: 70 m

4.5.5 Isleta central

Como se explicó en el punto 3.5.4, el diámetro de la isleta central está ligado al diámetro del círculo inscrito. Esto se refleja en la tabla adjuntada en el apartado. La misma incluye una relación de valores de diámetros de círculo inscrito a partir de 45m y hasta 70m.

Con ayuda de la tabla, optamos por las siguientes dimensiones:

Opción A: 29m

Opción B: 53m

Opción C: 53m

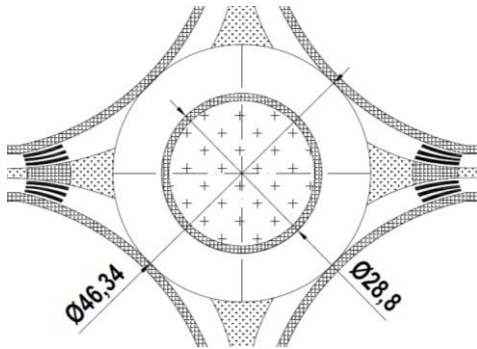


Figura 4.24 Diámetro rotonda opción A.

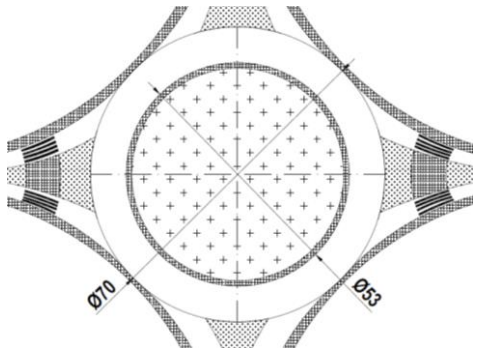


Figura 4.25 Diámetro rotonda opción B. Fuente: Elaboración propia.

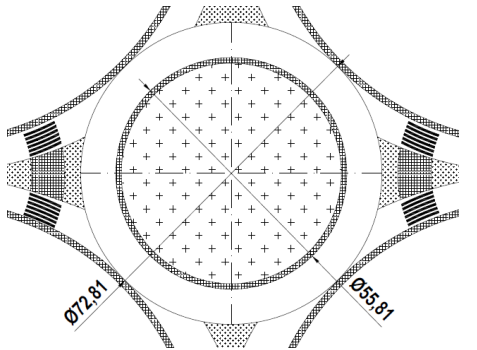


Figura 4.26 Diámetro rotonda opción C. Fuente: Elaboración propia.

4.5.6 Ancho de la calzada circulatoria

De acuerdo al punto 3.5.5, donde describimos el método propuesto por las normas AASHTO 2011, llegamos a los siguientes resultados:

$$W = U1 + 2C + Fa + Fb + Z$$

$$U1 = u + R - [\sqrt{(R^2 - \sum Li^2)}]$$

$$Fa = [\sqrt{(R^2 + A(2l + A))}] - R$$

$$Fb = 0$$

$$C = 1.20$$

$$Z = 0.6$$

	R [m]	L [m]	A [m]	U [m]	Fb [m]	C [m]	Z [m]	Fa [m]	U1 [m]	W [m]
A	29	11.55	2.025	4.2	0	1.2	0.6	0.43	6.59	10
B	53	11.55	2.025	4.2	0	1.2	0.6	0.47	5.5	8.97
C	56	11.55	2.025	4.2	0	1.2	0.6	0.45	5.4	8.85

Tabla 4.9 Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos y, con la ayuda de la tabla propuesta por la FHWA (agregada en el apartado 3.5.5), **deberíamos** optar como ancho de calzada circulatoria:

Opción A: 10m

Opción B: 9m

Opción C: 9m

Pero, considerando las recomendaciones propuestas por la Guía Americana, donde argumenta que, para rotondas de un solo carril, no es conveniente que se consideren anchos de calzada circulatoria de dimensiones muy grandes, ya que afecta el funcionamiento de la rotonda, en cuestión de velocidades y, a su vez, para que se pueda acomodar al vehículo de diseño sin problema alguno de circulación, planteamos entonces, las siguientes dimensiones:

Opción A: 8.5m

Opción B: 8.5m

Opción C: 8.5m

Además, se necesitará un delantal de camiones, como mencionamos en esta tesina. Es recomendable que, para vehículos de diseño grandes, se provea de un delantal de camiones en la isleta central, pero manteniendo una calzada de circulación relativamente angosta, para restringir adecuadamente las velocidades. La anchura del delantal de camiones, se define según la trayectoria recorrida por el vehículo de diseño, y será de 1.30m en el caso de ambas propuestas de rotondas.

4.6 Trazado de accesos

4.6.1 Isleta deflectora

Según lo explicado en el apartado 3.5.8, se recomienda, en caminos de alta velocidad, una longitud total de la isla elevada de por lo menos 45m y un ancho de 1,8m para proveer adecuado refugio a los peatones.

Entonces, para el diseño de la opción B y opción C de nuestro proyecto, se usará el mismo tamaño de isleta deflectora, siendo, la longitud mínima del jardín de la isleta de 25m, y la longitud total de la isleta de 45m, con un ancho de 5.3m, en zona transitable por peatones. En la figura 4.27 podemos observar las dimensiones.

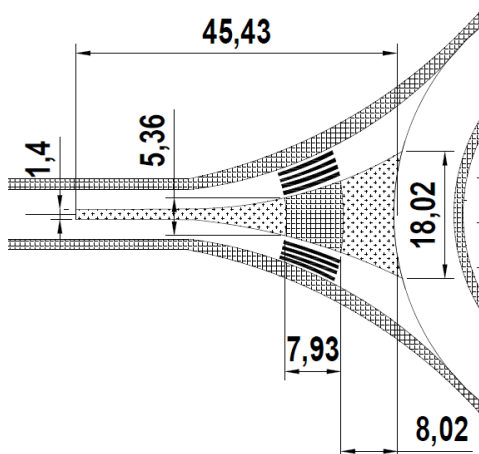


Figura 4.27 Isleta deflectora. Fuente: Elaboración propia.

Mientras que en el diseño de la opción A, utilizaremos la isleta deflectora presentada en la figura 4.27.1

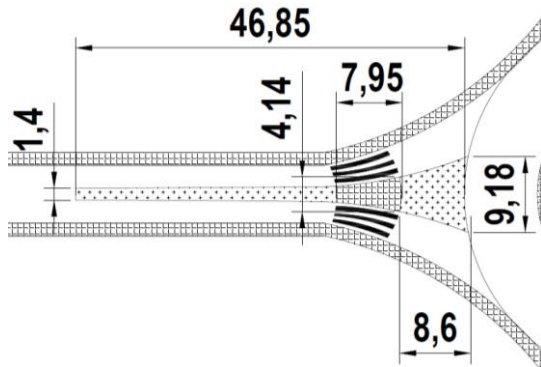


Figura 4.27.1. Fuente: Elaboración propia.

4.6.2 Ancho de entrada

La dimensión del ancho de entrada, fue obtenido a través de un dibujo realizado en el software AutoCAD 2016, mediante una recta que nace desde el final de la isleta deflectora y cae perpendicularmente sobre el cordón derecho. Como explicamos en el punto 3.5.10, se recomiendan anchos de entrada del rango 4.2 a 6,5 m en rotondas de un solo carril y 7.3 a 9.1 en rotondas de dos carriles.

En resumen:

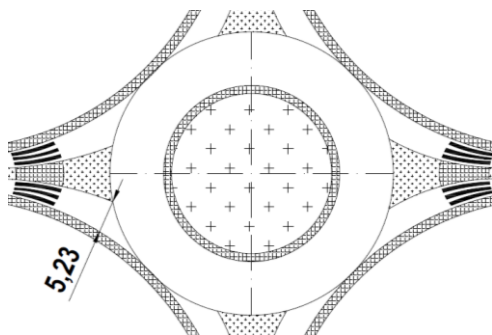


Figura 4.28 Ancho de entrada rotonda opción A. Fuente: Elaboración propia.

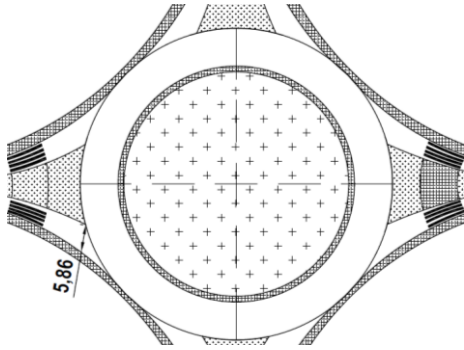


Figura 4.29 Ancho de entrada rotonda opción B Fuente: Elaboración propia.

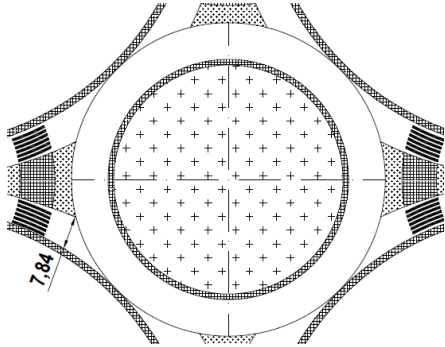


Figura 4.30 Ancho de entrada rotonda opción C Fuente: Elaboración propia.

Opción A: 5.22m

Opción B: 5.85m

Opción C: 7.85

4.6.3 Radio de entrada y salida

El radio de la rotonda se calculó trazando un segmento A-B paralelo desde el inicio de curva de la isleta deflectora de entrada, y luego trazando otra línea, también paralela, pero desde la curva de la isleta deflectora de salida, dando como resultado:

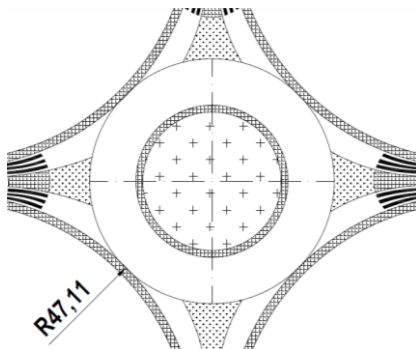


Figura 4.31 Radio de entrada rotonda opción A. Fuente: Elaboración propia

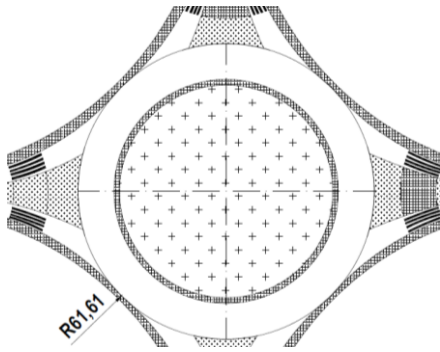


Figura 4.32 Radio de entrada rotonda opción B. Fuente: Elaboración propia.

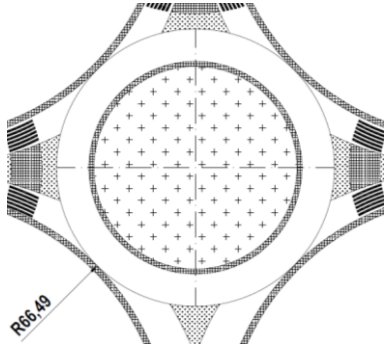


Figura 4.33 Radio de entrada rotonda opción C. Fuente: Elaboración propia.

Opción A: 47.11 m

Opción B: 61.61 m

Opción C: 66.5 m

4.6.4 Velocidad vehicular estimada

Como se explicó en el punto 3.5.14, la Guía América plantea la fórmula para conocer la velocidad de proyecto, en función al radio de la trayectoria.

$$V^2 = 127 R (e + f)$$

Dónde:

R1 = 47.11 m

R2 = 62 m

R3: 66 m

e = 2%

f = 0.16

Obtenemos:

$$V_1 = 32.8 \text{ km/h}$$

$$V_2 = 37.6 \text{ km/h}$$

$$V_3 = 38.8 \text{ km/h}$$

Considerando que, la velocidad máxima de ingreso a rotondas de un carril es 40km/h y en rotondas de dos carriles 50km/h, el radio propuesto en ambos proyectos fue óptimo.

4.6.5 Trayectoria y velocidades máximas

$$e = +0.02 \rightarrow$$

$$V = 8.7622 R^{0.3861}$$

$$e = -0.02$$

$$V = 8.6182 R^{0.3673}$$

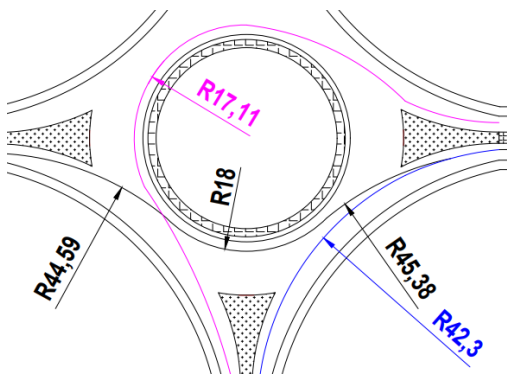


Figura 4.34 Trayectoria vehicular más rápida, Rotonda opción A. Fuente: elaboración propia

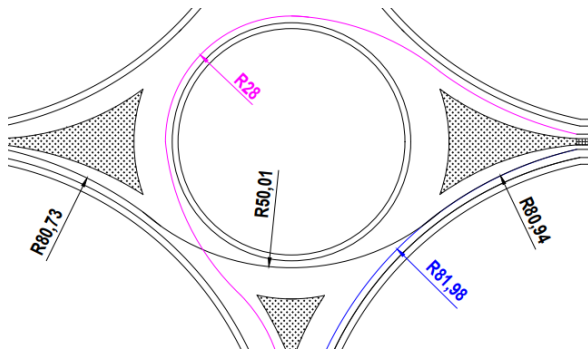


Figura 4.35 Trayectoria vehicular más rápida. Rotonda opción B. Fuente: Elaboración propia.

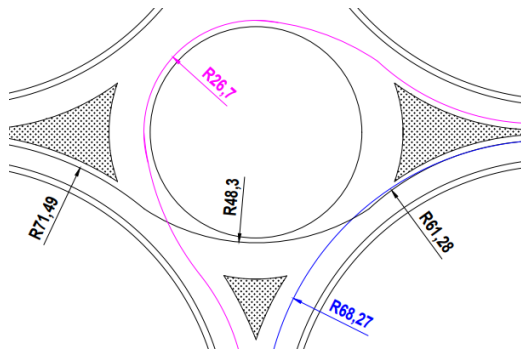


Figura 4.36 Trayectoria vehicular más rápida. Rotonda opción C Fuente: Elaboración propia.

N	Radio [m]	Peralte	Coefficiente de Fricción	Velocidad [km/h]
1	44,59	2%	0.16	37,9
2	18	-2%	0.16	24,9
3	45,38	2%	0.16	38,22
4	17,11	-2%	0.16	24,45
5	42,3	-2%	0.16	34,10

Tabla 4.10 Trayectoria vehicular más rápido rotonda opción A. Fuente: Elaboración propia.

N	Radio [m]	Peralte	Coefficiente de Fricción	Velocidad [km/h]
1	80.73	2%	0.16	47,7
2	50,01	-2%	0.16	36,26
3	80,94	2%	0.16	47,79
4	28	-2%	0.16	29,3
5	81,98	-2%	0.16	43,48

Tabla 4.11 Trayectoria vehicular más rápido rotonda opción C. Fuente: Elaboración propia

N	Radio [m]	Peralte	Coeficiente de Fricción	Velocidad [km/h]
1	71,49	2%	0.16	45,5
2	48,3	-2%	0.16	35,08
3	61,28	2%	0.16	42,9
4	26,7	-2%	0.16	28,79
5	68,27	-2%	0.16	40,6

Tabla 4.12 Trayectoria vehicular más rapido rotonda opción C. Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas dichas velocidades, se deben satisfacer las siguientes relaciones de velocidad, con el fin de conseguir que, las velocidades relativas entre elementos consecutivos sean mínimas y, que las velocidades relativas entre los puntos de conflicto, también sean mínimas.

$$V1 < V2 + 15$$

$$V3 > V2$$

$$V1 > V2 - 10$$

$$V5 < V4 + 20$$

$$V2 < V4 + 20$$

$$V2 < V4 + 20$$

Rotonda opción A			
V1	<	V2+15	
37.9	<	40	CUMPLE
V1	>	V2-10	
37.9	>	14.9	CUMPLE
V3	>	V2	
38.22	>	24.9	CUMPLE
V1	<	V4+30	
37.9	<	54.45	CUMPLE
V5	<	V4+20	
34.10	<	44.45	CUMPLE
V2	<	V4+20	
24.9	<	44.45	CUMPLE

Tabla 4.13 Fuente: Elaboración propia

Rotonda opción B

V1	<	V2+15	
47.7	<	51.26	CUMPLE
V1	>	V2-10	
47.7	>	26.26	CUMPLE
V3	>	V2	
47.79	>	36.26	CUMPLE
V1	<	V4+30	
47.7	<	59.3	CUMPLE
V5	<	V4+20	
43.48	<	49.3	CUMPLE
V2	<	V4+20	
36.26	<	49.3	CUMPLE

Tabla 4.14 Fuente: Elaboración propia

Rotonda opción C

V1	<	V2+15	
45.5	<	50.08	CUMPLE
V1	>	V2-10	
35.08	>	25.08	CUMPLE
V3	>	V2	
42.9	>	35.08	CUMPLE
V1	<	V4+30	
45.5	<	58.79	CUMPLE
V5	<	V4+20	
40.6	<	48.79	CUMPLE
V2	<	V4+20	
35.08	<	48.79	CUMPLE

Tabla 4.15 Fuente: Elaboración propia

4.6.6 Distancia de visibilidad

4.6.6.1 Distancia visual de detención

Como se explicó en el punto 3.5.17.1 la distancia visual de detención, es la suma de la distancia de reacción al frenado y la distancia de frenado. En este proyecto, se asumieron las siguientes velocidades iniciales de aproximación para conocer las distancias necesarias:

Ramal 1 – 7: 70 km/h

Ramal 2-3: 130 km/h [considerando una pendiente del 9%]

Ramal 4: 40 km/h

Ramal 6-5: 130 km/h

Una vez calculadas las distancias, se corrobora que, en la zona de proyecto, no hubiese ninguna limitación visual en alguno de los accesos de aproximación

Ramal 1 – 7 = 105 [m]

Ramal 2-3 = Bajada = 350 [m]

Subida = 243 [m]

Ramal 4 = 50 [m]

Ramal 6-5 = 285 [m]

4.6.6.2 Distancia visual de intersección

Como se mencionó en el punto 3.5.17.3 de esta tesis, se debe conocer la distancia necesaria para que un conductor que no tenga derecho de paso, perciba y reaccione ante la presencia de vehículos en conflicto.

Para conocer dicha distancia, se grafican triángulos visuales, donde una de sus longitudes, denominado, lado conflictivo del triángulo visual, se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

- $d1: (0.278)(V_{principal,entrante})(T_c)$
- $d2: (0.278)(V_{principal,entrante})(T_c)$

La distancia d1 pertenece al flujo de entrada, donde se consideró como velocidad aproximada al promedio entre velocidades teórica de entrada (R1) y la velocidad de circulación R2. Mientras que d2, representa al flujo de circulación, donde se considera como velocidad inicial a la realizada por la trayectoria R4.

Opción A:

$$d1: Vd1 = \frac{Vr1+Vr2}{2} = 31.4 \text{ km/h}$$

$$d2: Vd2 = Vr4 = 24,5 \text{ km/h}$$

Opción B:

$$d1: Vd1 = \frac{Vr1+Vr2}{2} = 41 \text{ km/h}$$

$$d2: Vd2 = Vr4 = 29,3 \text{ km/h}$$

Opción C:

$$d1: Vd1 = \frac{Vr1+Vr2}{2} = 40 \text{ km/h}$$

$$d2: Vd2 = Vr4 = 28,79 \text{ km/h}$$

Opción A = Opción B = Opción C → d1=d2 = 56 [m]

4.7 Capacidad de la Rotonda

En este punto, analizaremos la capacidad de las rotondas propuestas mediante los métodos descriptos en el capítulo III de la tesina.

4.7.1 Método TRRL

Para poder desarrollar el método, primero, se estableció la geometría perteneciente a cada modelo propuesto

Geometría Rotonda opción A	Valor
e [m]	5.22
V [m]	3.5
L' [m]	11.72
D [m]	46
Ø [°]	24
r [m]	47.11

Tabla 4.16 Fuente: Elaboración propia

Parámetros geométricos opción A	Valor
K	1.0600
F	1415.01
Fc	0.5539
Td	1.364
M	0.3678
X2	4.67
S	0.235

Tabla 4.17 Fuente: Elaboración propia

Geometría Rotonda opción B	Valor
e [m]	5.85
V [m]	3.5
L' [m]	25.73
D [m]	70
Ø [°]	21
r [m]	62

Tabla 4.18 Fuente: Elaboración propia

Parámetros geométricos opción B	Valor
K	1.06435
F	1608.93
Fc	0.49
Td	1.1344
M	2.718
X2	5.31
S	0.15

Tabla 4.19 Fuente: Elaboración propia

Geometría Rotonda opción C	Valor
e [m]	7.84
V [m]	7
L' [m]	11.9
D [m]	73
Ø [°]	19
r [m]	66.49

Tabla 4.20 Fuente: Elaboración propia

Parámetros geométricos Opción C	Valor
K	1.07236
F	2326.60
Fc	0.604
Td	1.13447
M	2.7182
X2	7.678559
S	0.11159

Tabla:4.21 Fuente Elaboración propia

Una vez calculados los parámetros geométricos de cada propuesta planteada, se procedió al cálculo de capacidad de entrada, según el método TRRL.

OPCIÓN A	QC (veh/h)	Ve (veh/h)	Qe (veh/h)	Qe > Ve
ENTRADA 1	404	1167	1262	CUMPLE
ENTRADA 2	879	572	983	CUMPLE
ENTRADA 3	900	624	971	CUMPLE
ENTRADA 4	1009	788	907	CUMPLE

Tabla 4.22 Fuente: Elaboración propia

OPCIÓN B	QC (veh/h)	Ve (veh/h)	Qe (veh/h)	Qe > Ve
ENTRADA 1	404	1167	1507	CUMPLE
ENTRADA 2	879	572	1258	CUMPLE
ENTRADA 3	900	624	1247	CUMPLE
ENTRADA 4	1009	788	1190	CUMPLE

Tabla 4.23 Fuente: Elaboración propia

OPCIÓN C	QC (veh/h)	Ve (veh/h)	Qe (veh/h)	Qe > Ve
ENTRADA 1	404	1167	2233	CUMPLE
ENTRADA 2	879	572	1925	CUMPLE
ENTRADA 3	900	624	2090	CUMPLE
ENTRADA 4	1009	788	1984	CUMPLE

Tabla 4.24 Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que las tres propuestas planteadas en nuestro proyecto resultaron efectivas, ya que todas las entradas cumplieron satisfactoriamente con la condición de capacidad.

4.7.2 Método HCM 2010

Como explicamos en el punto 3.6.5, el método presentado por el HCM 2010, permiten la evaluación del funcionamiento operacional de una rotonda de un solo carril o de dos carriles, dados los niveles de demanda de tránsito.

Entonces, para evaluar nuestro proyecto mediante dicho método, se procedió a calcular el flujo de entrada y flujo en conflicto, de igual manera que en el punto 4.5, pero respetando las consideraciones del manual "Transport Manual Capacity 2000".

Condiciones:

- Porcentaje de vehículos pesados en dirección carril 2/3 <>6/5, 1/2 <>3/7: 3%
- Factor de hora pico: PHF: 0.91

Como lo explica la Guía Americana, una vez adoptado el PHF, mediante la siguiente ecuación, se aplica el factor a cada flujo de entrada de la rotonda.

$$V' = \frac{\text{Flujo de entrada de cualquier via}}{\text{Factor de hora pico (PHF)}} = \left[\frac{\text{Veh}}{h} \right]$$

4.7.2.1 Ajuste para vehículos largos

Una vez que se ajustó el flujo de acuerdo al PHF, se procedió a ajustar nuevamente la tasa de flujo para los movimientos provenientes del ramal 1/2 3/7, 3/5 y 6/7, que es donde se registró presencia de camiones, con el factor que se indican en la tabla a continuación y mediante la siguiente ecuación:

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + D(E-1)}$$

$$V_{i,pce} = \frac{V_i}{f_{hv}}$$

Donde:

$V_{i,pce}$: Tasa de flujo de la demanda de movimiento

V_i : Volumen de la demanda de movimiento

F_{hv} : Factor de ajuste de vehículos pesados

D : Proporción de volumen de la demanda que consiste en vehículos pesados

E : Equivalencia de los vehículos de pasajeros para los vehículos pesados

Vehicle Type	Passenger Car Equivalent, E_T
Passenger Car	1.0
Heavy Vehicle	2.0
Bicycle	0.5

Figura 4.37 Equivalencia de los vehículos de pasajeros. Fuente: FHWA

4.7.2.2 Flujo circular ajustado

Con los flujos de entrada ajustados, se procedió al cálculo del nuevo flujo circular, obteniendo los siguientes resultados:

V_{c1} : 173 veh/h

V_{c3} : 975 veh/h

V_{c4} : 1017 veh/h

V_{c6} : 1113 veh/h

Luego, se aplicó la ecuación mencionada en el punto 3.6.5, para obtener la capacidad de la rotonda para cada rama de entrada.

N° Ramal	$V_c[V_e/h]$	Capacidad derecha [Veh/h]	V_e derecha [Veh/h]	Capacidad derecha > V_e derecha.
E1	173	1002	169	CUMPLE
E2	975	572	18	CUMPLE
E3	1017	555	422	CUMPLE
E4	1113	519	300	CUMPLE

Tabla 4.35 Fuente: Elaboración propia

Capacidad Izquierda [Veh/h]	Ve izquierda [Veh/h]	Capacidad izquierda > Ve izquierda
993	403	CUMPLE
600	596	CUMPLE
528	124	CUMPLE
500	865	NO CUMPLE

Tabla 4.36 Fuente: Elaboración propia

Como se ve en la tabla, la capacidad de la rotonda, para la vía derecha, cumplió satisfactoriamente la demanda de flujos entrante, pero en el caso de la vía izquierda, no ocurrió lo mismo. Según los criterios de dicho método, no es posible construir una rotonda de dos carriles (opción C de nuestro trabajo), en la intersección Juan Domingo Perón- Ruta Provincial N°46.

4.7.3 Capacidad por Setra

Como se explicó en el punto 3.6.4, Setra en 1987, propone un método para conocer la capacidad de cada entrada a la glorieta, en función del ancho de entrada, flujo que circula por el anillo circular, flujo saliendo por la entrada inmediatamente arriba y ancho de isleta central. A continuación, se evaluó tanto la opción de proyecto A, como la B (ambas con 1 carril de entrada y 1 carril de circulación).

Proyecto opción A							
N° RAMAL	Qs	L	Qc	Qg	C	Ve	C > Ve
E1	1397	9.17	152	503	940	1167	NOCUMPLE
E2	436	9.17	879	955	775	572	CUMPLE
E3	551	9.17	900	1005	734	624	CUMPLE
E4	515	9.17	1009	1090	700	788	NOCUMPLE

Tabla 4.37 Fuente: Elaboración propia

Proyecto opción B

N° RAMAL	Qs	L	Qc	Qg	C	Ve	C > Ve
E1	0	18	152	145	1517	1167	CUMPLE
E2	0	18	879	841	915	572	CUMPLE
E3	0	18	900	861	900	624	CUMPLE
E4	0	18	1009	957	815	788	CUMPLE

Tabla 4.38 Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en las tablas citadas anteriormente, que la demanda de tránsito en cada ramal de aproximación, cumple de manera satisfactoria con los requisitos impuestos por el método Setra en la opción de Proyecto B.

No ocurre lo mismo en el caso de la opción A, ya que en la entrada N°1 y N°2, no cumple la condición.

CAPITULO V

RESULTADOS

A continuación, se describirán los diseños geométricos, con sus respectivas dimensiones, de los tres modelos de rotondas propuestos y evaluadas, según el método TRRL, HCM y SETRA, en la sección anterior.

Rotonda 1

Nº de carriles de entrada: 1 carril de entrada, para cada entrada

Nº de carriles de salida: 1 carril de salida, para cada salida.

Ancho carril de aproximación: 3.5 [m]

Diámetro inscrito de glorieta: 46 [m]

Diámetro isleta central: 28.8 [m]

Ancho de calzada circulatoria: 8.5 [m]

Rotonda 2

Nº de carriles de entrada: 1 carril de entrada, para cada entrada

Nº de carriles de salida: 1 carril de salida, para cada salida.

Ancho carril de aproximación: 3.5 [m]

Diámetro inscrito de glorieta: 70[m]

Diámetro isleta central: 53[m]

Ancho de calzada circulatoria: 8.5[m]

Rotonda 3

Nº de carriles de entrada: 2 carriles de entrada, para cada entrada

Nº de carriles de salida: 2 carriles de salida, para cada salida.

Ancho carril de aproximación: 3.5 [m]

Diámetro inscrito de glorieta: 73 [m]

Diámetro isleta central: 56 [m]

Ancho de calzada circulatoria: 8.5 [m]

Una vez evaluados los tres diseños de rotonda planteados en este proyecto, para la intersección Juan Domingo Perón-Ruta Provincial N°46 y previo a la adopción y justificación del modelo acorde a la situación de la zona, se planteó la siguiente solución para el ramal de aproximación N° 1/7 [Acceso Juan Domingo Perón].



Figura 6.1 Fuente: Elaboración propia

Considerando que en la zona marcada con flechas(aproximadamente), es donde se van a generar los cruces peatonales y de ciclistas inexpertos que no quieran utilizar la rotonda para cruzar la intersección y, además, para desalentar a que los peatones crucen por el medio de la intersección, planteamos el siguiente diseño para el ramal número 7 de la intersección.

Sobre la vereda izquierda (viniendo desde el centro de la ciudad, dirigiéndose hacia la intersección), que bordea el Acceso Juan Domingo Perón, aprovechar la superficie libre de edificación y construir un sendero para correr, que sea de uso abierto y gratuito.

Ante la falta de lugares que brinden condiciones apropiadas para correr, los ciudadanos, utilizan la zona central del acceso para correr/caminar. Esto implica un gran riesgo porque ante una mínima falla humana y, con un auto que se desplaza, se puede provocarse un grave accidente.

Entonces, lo que se plantea es lo siguiente:

Sobre la vereda derecha del acceso, no realizar ninguna modificación alguna, mientras que, sobre la vereda izquierda se plantea, construir un sendero

elaborado con caucho ligado con poliuretano, material que presenta varias ventajas, siendo la más importante, que amortigua el impacto de la pisada y protege al usuario de posibles lesiones. Además, presenta una resistencia que impide la deformación ante el uso intensivo, asegura una duración prolongada por su espesor y garantiza protección ante los rayos UV que le evita el desgaste del color.

Además, será posible pavimentar la zona lateral paralela al sendero de caucho, para ser utilizado por ciclistas, en caso de no querer utilizar el Acceso. A continuación, se mostrarán imágenes de como quedaría el ramal N°7.

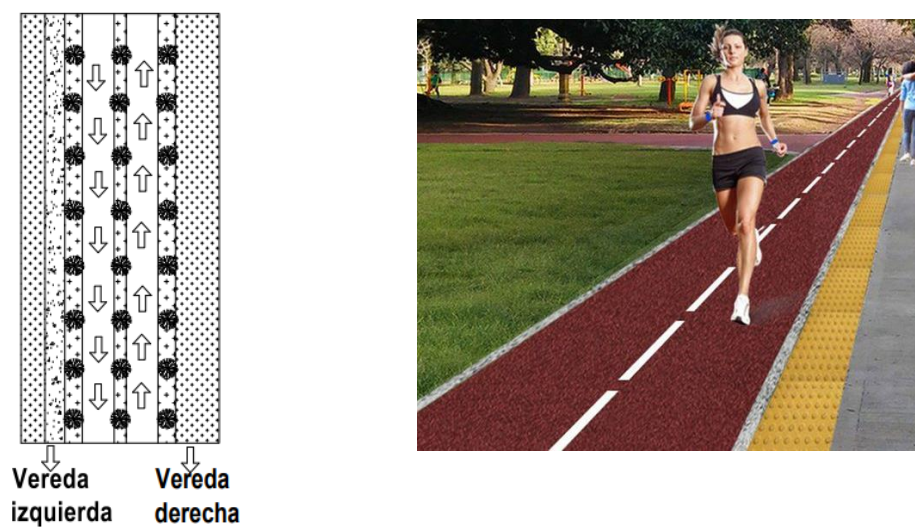


Figura 6.2 Fuente: Elaboración propia.

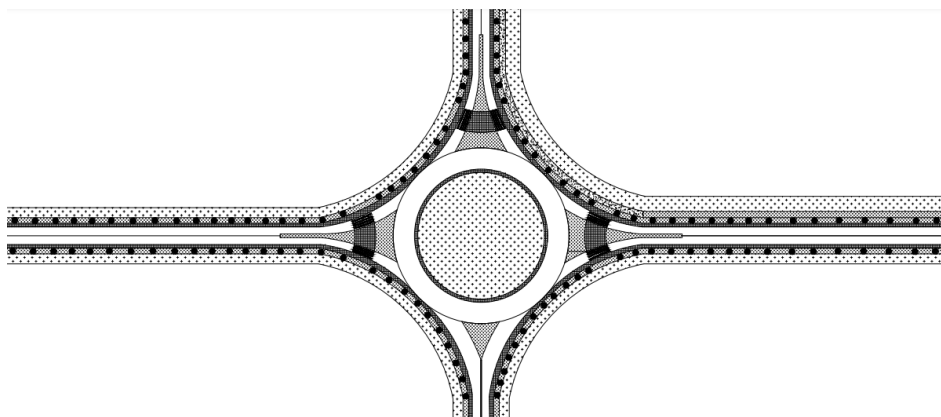


Figura 6.3 Fuente: Elaboración propia

Capítulo VI

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

- El tipo de rotonda más apropiado, a la demanda de flujo vehicular existente en la intersección acceso Juan Domingo Perón - Ruta Provincial N°46, es, en teoría, la rotonda normal, con dos vías de acceso en entrada, salida y circulación. Esta cumplió satisfactoriamente, con la capacidad según el método TRRL, SETRA y reunió la mayor cantidad de condiciones cumplidas según el método HCM, aunque no en su totalidad.
- La comprobación de los tres métodos, el TRRL, el método SETRA y el HCM, se pudo establecer que tanto el TRRL como el SETRA, son más complejos y específicos, ya que toman en cuenta el flujo vehicular y la geometría de la rotonda, al realizar el cálculo de la capacidad. No ocurre lo mismo con el que propone el Transport Manual Security 2000, ya que solo toma en cuenta el flujo vehicular para realizar el cálculo de la capacidad.
- La fundamentación en el método TRRL y método SETRA, que, a criterio de quien escribe son los específicos, se descarta la opción de proyecto opción A (1 solo carril por vía, con un diámetro de circulo inscrito de 46m), quedando demostrado que la opción B (1 carril por vía, con un diámetro de circulo inscrito de 70m), cumple favorablemente con la demanda de tránsito en hora pico, presente en la intersección.
- La Guía Americana recomienda que para la magnitud del volumen de flujo vehiculares que presenta la intersección en hora pico, es recomendable el diseño de una glorieta con dos vías de acceso y de circulación, sin embargo, se comprobó que, ajustando el ancho de entrada, el ancho de glorieta y radio de la entrada y salida, se puede cubrir la demanda de tránsito existente. Por lo tanto, se planteó como solución al problema el diseño geométrico de la rotonda opción B.

- La rotonda calculada en este proyecto, no puede ser construida con las dimensiones actuales de la intersección, por lo tanto, se necesitará pavimentar en la zona faltante.
- Una vez finalizado el proyecto y evaluado, las tres posibles soluciones para la intersección en estudio, se consideró que, el diseño geométrico perteneciente a la opción B, cumple satisfactoriamente con los objetivos propuestos, debido a que:
 - I. Según el método SETRA y TRRL, el diseño geométrico es acorde para cubrir la demanda de tránsito en hora pico.
 - II. Considerando que el colapso de la intersección se genera en días puntales de la semana o en fecha especiales, el diseño adecuado de rotonda de un solo 1 carril de circulación y de aproximación, será suficiente.
 - III. Considerando que el diseño geométrico de una rotonda con dos carriles de circulación y de aproximación, genera mayor peligro sobre los peatones y ciclistas que transitan la intersección en estudio, se debería evitar una rotonda de dos carriles.
 - IV. Al tratarse de una entrada a un Parque y de una zona con un gran volumen de niños y adultos que cruzan la intersección, diseñar la rotonda con un solo carril de circulación y un ancho de 8.5m, implica que los automóviles se vean obligados (por la geometría impuesta) a circular a baja velocidad por la intersección, por lo tanto, es beneficioso para las personas no motorizadas que cruzan la zona.

Finalmente concluimos que se logró por medio de este proyecto:

- Brindar seguridad, comodidad y capacidad, en la intersección Juan Domingo Perón-Ruta Provincial N°46
- Conseguir que en fechas especiales (como es el caso de Fiestas Nacionales), la intersección NO colapse
- Disminuir el número de siniestros ocasionados en la intersección
- Mejorar la estética de la entrada a la ciudad de Bragado
- Darle mayor importancia a la entrada al Parque Lacunario General San Martín
- Evitar que personal de la Dirección de Tránsito, deba dirigir de forma manual el flujo de tránsito

Este proyecto será presentado en la Municipalidad de Bragado para continuar con los estudios faltantes y lograr finalmente mejorar la intersección Juan Domingo Perón y Ruta Provincial N°46.

BIBLIOGRAFÍA

American Association of State Highway and Transportation Officials (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C., Estados Unidos.

Anurag Pande (2016). *Traffic engineering handbook*. Institute of transportation engineers. Estados Unidos (7 edición).

De La Hoz, C ; Pozueta J (1989). *Calculo de la capacidad en Glorietas*. En De La Hoz, C; Pozueta J, *Recomendaciones para el diseño de Glorietas en carreteras Suburbanas*. (pp. 43- 57). Madrid.

De La Hoz, C.; Pozueta J (1995). *Análisis del funcionamiento de intersecciones giratorias. Resultados de la observación de doce glorietas en la Comunidad de Madrid*. Consejería de Transportes. Dirección General de Carreteras. Madrid.

De La Hoz, C.; Pozueta J. (1991): *Diseño de carreteras en áreas suburbanas*. Consejería de Política Territorial. Dirección General de Transportes. Madrid.

Gasulla D (2011). *Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante microsimulación de tráfico*. Trabajo final de carrera. Escuela técnica superior de ingeniero de caminos, canales y puertos, por la Universidad Politécnica de Valencia. IX Premio Abertis.

Greenshields, B., Thompson, J., Dickinson, H., & Swinton, R. (1934). *The Photographic Method of Studying Traffic Behavior*. Proceedings of the 13th Annual Meeting of the Highway Research Board Held at Washington, D.C. December 7 -8. Part I: Reports of Research Committees and Papers. Vol 13, Part I. (pp 382-399)

Greenshields, B.; Bibbins; J.; Channing, W.; Miller, H. (1935) *A Study of Traffic Capacity*. Proceedings of the 14th Annual Meeting of the Highway Research

FACULTAD DE INGENIERIA

Board Held at. Washington, D.C. December 6-7 Part I. Vol 14, Part I. (pp 448-477)

Gallardo, D. (2005) Rotondas Urbanas. En D Gallardo, *Funciones de las Rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización*. Tesis Ing. Caminos. Universidad Técnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. (pp 43-47). Cataluña.

Goñi E; Ferreyra M(2018).La seguridad vial en intersecciones: Diseño y evaluación preventiva. *Congreso INTER-CISEV*. Buenos Aires, Argentina. <http://www.intercisev2019.org.ar/pdfs/S5-03-Rodolfo-Goni.pdf>

Kühne, R. D. (2011). Foundations of traffic flow theory, the fundamental diagram. En Kühne *Transportation research circular 75 years of the fundamental diagram for traffic flow theory*. (pp 3-5).

Municipalidad de Bragado.(S.f).Recuperado el 21 de julio de 2020, de <http://www.bragado.gov.ar/web/inicio.php>-
<http://www.bragado.gov.ar/web/transparencia/catastro/cu-bragado.pdf>

Memoria de la infraestructura Vial 1810-2010. Camara Argentina de la Construcción. Buenos Aires. Argentina

Quintero, J. R. (2011). Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de ingeniería de tránsito y transporte. *Revista Facultad de Ingeniería*, 20(30), 65-77

Ruiz M ; Albert E; Diez C; Bianchi L; Macey M; Fernandez G (2016). Criterios de prefactibilidad para diseños de intersecciones viales. *XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito*. <http://congresodevialidad.org.ar/congreso2016/TRA/TRA-144.pdf>

Robinson, B.; I. Redegerdts ; W. Scarborough ; W. Kittelson ; R. Troubeck ; w. Brilon ; I. Bondzio ; K. Courage ; M. Kyte ; A. Flannery ; E. Myers ; J. Bunker ; G.

FACULTAD DE INGENIERIA

Jacquemart. (2000). Speeds through the roundabout. En Robinson; Redegedts, Scarborough ; Kittelson. *Roundabouts an a informational guide*. (pp 132 – 157).

Rodegerdts, I.; J. Basen.; C. Tiesler.; J. Knudsen.; E Myers.; M. Johnson.; M. Moule.; B. Persaud.; C. Lyon.; S. Hallmark.; H. Isebrands.; B. Crown.; B. Guichet.; .A O'brien. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP).(2010).*Roundabouts: An Informational Guide.2 ed*. Washington DC.EEUU.

SGE y PDNV-EICAM, (2010). *Normas y recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial*.

Salazar R. *Normativas Vigentes del IRI, tipos de singularidades, instrumentos, precisiones y cálculos de Multas*.MOP- Dirección de Vialidad-Laboratorio Nacional de Vialidad.
<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Normativa%20vigente%20IRITipos%20SingularidadesInstrumentosPrecisiones%20y%20Multas%20de%20IRI.pdf>

Torres, A. (2015). *Análisis y comparación de criterios de diseño geométrico en las rotondas modernas* (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Vega Hernandez H (2016). *Un estudio de la capacidad de tráfico (1935)*.Unidad de Seguridad Vial y Transporte, Boletín técnico PITRA LanammeUCR.Universidad de Costa Rica.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. División de desarrollo urbano. *Manual de Vialidad Urbana. Recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana* (2009)

ANEXO A

