

GUÍA PARA DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA Y SECCIÓN TRANSVERSAL DE
MINI GLORIETAS URBANAS

Autores:

Cristian Camilo Uribe Caro

José Alejandro Villamil Vega

Andrés Leonardo Silva Balaguera



Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Facultad de Ingeniería (Tunja)

Ingeniería Civil

Tunja, Colombia

2021

Citar/How to cite	[1]
Referencia/Reference	[1] C. Uribe Caro, J. Villamil Vega, “Guía para diseño geométrico en planta y sección transversal de mini glorieta urbanas en fase preliminar”, Trabajo de grado Ingeniería civil, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Tunja, 2021
Estilo/Style: IEEE (2014)	

Grupo de Investigación en Ingeniería Civil y Ambiental (GICA)

Semillero de Investigación en Geomática e Infraestructura Vial (SIGIV)

Línea de investigación en Infraestructura vial

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia - <http://www.uptc.edu.co/>

TABLA DE CONTENIDO

I.	PROLOGO	8
II.	DEFINICIÓN Y ANTECEDENTES	9
	A. Listado de acrónimos	9
	B. Generalidades	10
	C. Antecedentes Internacionales	19
	D. Cuadro Comparativo Normativo	28
	E. Metodología de Diseño.....	29
III.	CAPACIDAD EN MINI-GLORIETAS.....	34
	A. Metodología Wardrop.....	34
IV.	ESTUDIO DE TRANSITO	38
	A. Transito Actual	38
	B. Aumento del tránsito	40
V.	ELECCIÓN DEL VEHÍCULO DE DISEÑO	42
	A. Criterios de Elección del Vehículo de Diseño.....	42
	B. Elección	44
	C. Para Mini-glorietas Urbanas en Colombia	45
VI.	CRITERIOS DE DISEÑO EN PLANTA Y SECCIÓN TRASVERSAL.....	48
	A. Accesos	48
	B. Velocidad del Proyecto en Mini-glorietas	55
	C. Trayectorias de Giro a Evaluar en Mini-glorietas	59
	D. Diámetro Inscrito.....	68
	E. Anchos de Carril y Longitud de Entrecruzamiento	70
	F. Faldón Montable.....	72
	G. Isleta central.....	74

H.	Peralte	76
VII.	TÉCNICA DE DEFINICIÓN DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	79
A.	Para mini-glorietas con cuatro ramales	79
B.	Para mini-glorietas con tres ramales.....	85
C.	Recomendaciones	89
VIII.	VISIBILIDAD	90
A.	Visibilidad Hacia la Izquierda	90
B.	Visibilidad Hacia la Derecha.....	91
C.	Visibilidad Hacia un Paso Peatonal.....	92
D.	Visibilidad Dentro de la Calzada Anular.....	92
IX.	RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE SARDINELES Y BERMAS	94
A.	Sardineles	94
B.	Berma	94
X.	RECOMENDACIONES PARA PEATONES Y BICI-USUARIOS	95
XI.	DISPOSITIVOS DE CONTROL DEL TRANSITO	98
A.	Señalización Vertical.....	99
B.	Señalización o Demarcación Horizontal	105
XII.	BIBLIOGRAFÍA	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Puntos de Conflicto en na Intersección	16
Tabla 2 : Anchos de Carril Glorietas España.....	21
Tabla 3: Cuadro Comparativo Elementos Geométricos y de Diseño	28
Tabla 4 Valores de Referencia de capacidad en glorietas.....	36
Tabla 5 Elección de Vehículo de Diseño según “Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogota.D.C” ...	45
Tabla 6 Ángulos Entre Ramales Recomendados - C3 – 4 Ramales.	53
Tabla 7 Ángulos Entre Ramales Recomendadas – Bus – 4 Ramales.	53
Tabla 8 Ángulos Entre Ramales Recomendados - C3 - 3 Ramales	53
Tabla 9 Ángulos Entre Ramales Recomendados - Bus - 3 Ramales	54
Tabla 10 Diámetros de Círculo Inscrito Recomendados	68
Tabla 11 Anchos de carril recomendados.....	71
Tabla 12 Anchos de carril de entrada y salida recomendados.	71
Tabla 13 Longitud de entrecruzamiento recomendada.	72
Tabla 14 Valores Geométricos Recomendados para Faldón Montable	73
Tabla 15 Diámetro inscrito de 32m, 31m – C3 – 4 ramales	79
Tabla 16 Diámetro inscrito de 30m – C3 – 4 ramales	80
Tabla 17 Diámetro inscrito de 29m– C3 – 4 ramales	80
Tabla 18 Diámetro inscrito de 28m – C3 – 4 ramales	81
Tabla 19 Diámetro inscrito de 27m– C3 – 4 ramales	81
Tabla 20 Diámetro inscrito de 26m, 25m, 24m – C3 – 4 ramales	81
Tabla 21 Diámetro inscrito de 32m, 31m- Bus – 4 ramales	82
Tabla 22 Diámetro inscrito de 30m - Bus – 4 ramales	82
Tabla 23 Diámetro inscrito de 29m - Bus – 4 ramales	83
Tabla 24 Diámetro inscrito de 28m, 27m, 26 m - Bus – 4 ramales	83
Tabla 25 Diámetro inscrito de 25m - Bus – 4 ramales	84
Tabla 26 Diámetro inscrito de 24m, 23m - Bus – 4 ramales	84
Tabla 27 Diámetro inscrito de 32m – C3 – 3 ramales	85
Tabla 28 Diámetro inscrito de 31m – C3 – 3 ramales	85
Tabla 29 Diámetro inscrito de 30m, 29m – C3 – 3 ramales	86
Tabla 30 Diámetro inscrito de 28m – C3 – 3 ramales	86
Tabla 31 Diámetro inscrito de 27m, 26m, 25m, 24m o menos – C3 – 3 ramales.....	87
Tabla 32 Diámetro inscrito de 32m,31m – Bus – 3 ramales.....	87
Tabla 33 Diámetro inscrito de 30m – Bus – 3 ramales.....	88
Tabla 34 Diámetro inscrito de 29m – Bus – 3 ramales.....	88
Tabla 35 Diámetro inscrito de 28-27m – Bus – 3 ramales	89

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Intersección Tipo Glorieta.....	11
Ilustración 2 Glorieta Convencional.....	12
Ilustración 3 Ejemplo Glorieta de un Solo Carril	13
Ilustración 4 Glorieta Pequeña	13
Ilustración 5 Glorieta a Desnivel.....	14
Ilustración 6 Puntos de Conflicto Intersección Normas vs Glorieta.....	15
Ilustración 7 Ejemplo Práctico de la Reducción de Puntos de Conflicto.....	16
Ilustración 8 Faldones en Glorietas	17
Ilustración 9 : Etapas del Diseño	30
Ilustración 10 Elementos cálculo de capacidad	35
Ilustración 11 componentes de volumen de transito futuro	41
Ilustración 12 Variables influyentes en la selección del vehículo de diseño	42
Ilustración 13 Vehículo C3.....	47
Ilustración 14 Vehículo Bus Mediano	47
Ilustración 15 Intersección de 5 Ramales.....	49
Ilustración 16 Intersección de 6 Ramales	49
Ilustración 17 Configuración Ángulos con 4 Ramales	51
Ilustración 18 Configuración Ángulos con 3 Ramales	52
Ilustración 19 Configuración Ángulos con 3 ramales	52
Ilustración 20 Evaluaciones de rutas rápidas.....	56
Ilustración 21 Construcción de la ruta rápida en glorieta de un solo carril	57
Ilustración 22 Construcción de la ruta rápida y radio mínimo.....	58
Ilustración 23 Trayectoria 1 Glorieta de 4 Ramales	60
Ilustración 24 Trayectoria 2 Glorieta de 4 Ramales	60
Ilustración 25 Trayectoria 3 Glorieta de 4 Ramales	61
Ilustración 26 Trayectoria 4 Glorieta de 4 Ramales	61
Ilustración 27 Trayectorias Evaluadas en Glorietas de 4 Ramales	62
Ilustración 28 Trayectoria 1 Glorieta de 3 Ramales	63
Ilustración 29 Trayectoria 2 Glorieta de 3 Ramales	63
Ilustración 30 Trayectoria 3 Glorieta de 3 Ramales	64
Ilustración 31 Trayectoria 4 Glorieta de 3 Ramales	64
Ilustración 32 Trayectorias Evaluadas en Glorietas de 3 Ramales	65
Ilustración 33 Metodología de Modelación de Trayectorias Recomendada.....	67
Ilustración 34 Diámetro Inscrito.....	68

Ilustración 35 Partes en una Glorieta.....	70
Ilustración 36 Ejemplo Uso de Faldón Montable	72
Ilustración 37 Isleta central.	74
Ilustración 38 peralte recomendado en glorietas de 2 o más carriles.....	77
Ilustración 39 peralte recomendado en glorietas de 1 carril o mini-glorietas	77
Ilustración 40 Visibilidad hacia la izquierda en aproximación.....	90
Ilustración 41 Visibilidad hacia la izquierda en inserción	91
Ilustración 42 Visibilidad hacia la derecha.....	91
Ilustración 43 Visibilidad hacia un paso peatonal	92
Ilustración 44 Visibilidad dentro de calzada anular.....	93
Ilustración 45 Ubicación de las señales verticales.....	101
Ilustración 46 Orientación de las señales verticales	101
Ilustración 47 Señal SP-20	102
Ilustración 48 Señal SP-33	102
Ilustración 49 Señal SP-47	103
Ilustración 50 Señal SP-46	103
Ilustración 51 Señal SP-59	103
Ilustración 52 Señal SR-02.....	104
Ilustración 53 Señal SR-06.....	104
Ilustración 54 Señal SR-30.....	105
Ilustración 55 Demarcación línea de pare	107
Ilustración 56 Demarcación línea de seda el paso	108

I. PROLOGO

Las glorietas se definen como un tipo de nudo que canalizan los flujos procedentes de tres o más accesos por medio de una calzada anular, son estructuras viales que ayudan a disminuir los puntos de conflicto en las intersecciones además de aumentar la seguridad, disminuir tiempos de circulación y ofrecer una mejor estética a la red vial, todo esto como lo demuestra la experiencia recolectada mediante el uso de estas a través de los años por todo el mundo.

Actualmente en el país se cuenta con una gran cantidad de glorietas tanto en la red vial nacional como en red vial urbana, las glorietas diseñadas para la red vial urbana a nivel nacional generalmente se hacen en autopistas o vías con altas velocidad y una gran carga de vehículos pesados, en algunos casos se empiezan a implementar o hablar de diseño de glorietas compactas o mini glorietas en zonas urbanas con espacio reducido, que no son más que un tipo de rotonda con dimensiones pequeñas con aplicación a vías urbanas de bajas velocidades y una carga vehicular menos pesada. Las mini-glorietas representan un gran impacto en el desarrollo de la malla vial urbana en Colombia.

En esta guía se realiza una comparación de los estándares internaciones en el diseño de mini-glorietas en países como España y Estados unidos, con respecto a la normativa vigente en Colombia, siguiendo una metodología propuesta se analizan aspectos de diseño como estudio de tránsito, elección del vehículo de diseño, parámetros geométricos, criterios de diseño estéticos y de seguridad como evaluación de visibilidad y señalización vial, y se establece una técnica de elección de parámetros geométricos.

II. DEFINICIÓN Y ANTECEDENTES

A. *Listado de acrónimos*

ASSHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

INVIAS: Instituto Nacional de Vías.

C3: Camión de 3 ejes.

MDGV -2008: Manual de Diseño Geométrico de Vías del Instituto Nacional de Vías, publicado en el 2008.

IDU: Guía para el diseño de vías urbanas en Bogotá.

VeTRA: Software Vehicle Tracking.

HCM: Highway Capacity Manual.

PCE: Equivalencia de vehículos pesados con los vehículos de pasajeros.

NCRHP-672: National Cooperative Highway Research Program.

B. Generalidades

1. Intersección

Se llama intersección al área donde dos o más vías terrestres se unen o cruzan para las cuales se consideran tres tipos generales de intersecciones: a nivel, desnivel y pasos[1].

- Intersección a nivel es la zona donde dos o más caminos se unen o cruzan a nivel, permitiendo la mezcla de los diferentes flujos de tránsito, de acuerdo con su geometría son: de tres ramas, de cuatro ramas y de ramas múltiples; estas últimas, se evitarán hasta donde sea posible. Además, se incluyen dentro de la clasificación, las siguientes variaciones: sin canalizar, ampliadas y canalizadas.
- Intersección a desnivel es la zona donde dos o más caminos se interceptan a diferente nivel, con enlaces que unen las distintas ramas de la intersección.
- Paso es el cruce a desnivel, donde un camino se cruza con otro camino o vías terrestres o ductos, sin que puedan unirse.

2. Glorietas (referencias)

Las glorietas son intersecciones de dos o más caminos, están compuestas por una calzada anular de un solo sentido de circulación, tiene prioridad sobre el tránsito entrante a la misma, controlado con señales de Ceda el Paso. La salida de vehículos de la glorieta es únicamente con giros a la derecha.[1].

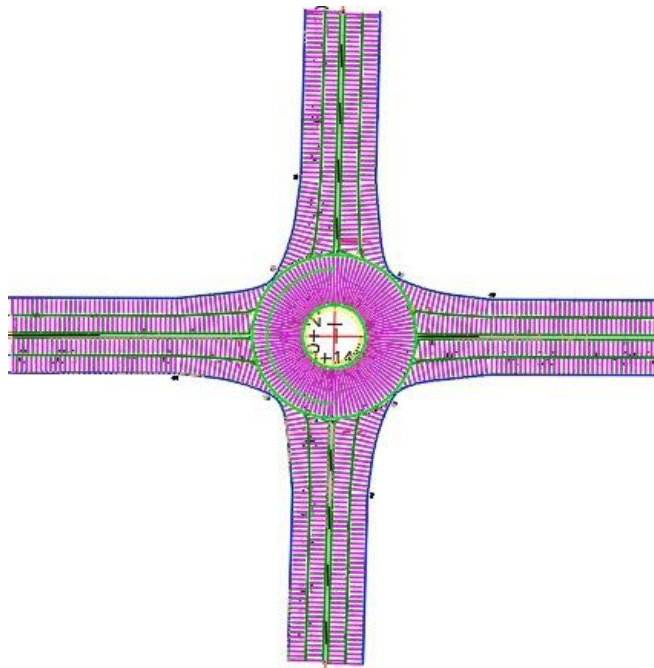
Bajo la denominación de glorieta se designa a un tipo especial de nudo caracterizado porque los tramos confluyen y se comunican a través de un anillo en el que se existe una circulación rotatoria alrededor de una isleta central. Las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino

que convergen y divergen: debido a esto el número de puntos de conflictos es mucho menor que en otros tipos de intersección [1].

El funcionamiento como tal de las glorietas se centra en la prioridad de los vehículos que circulan en el anillo sobre los que desean ingresar desde los ramales de acceso. Con una ocupación de suelo y un costo de construcción relativamente reducida, una glorieta puede ofrecer prestaciones interesantes frente a intersecciones convencionales o reguladas por semáforos[1].

Además, su sencillez y uniformidad de funcionamiento facilitan la comprensión por el usuario, ya que resulta posible cambiar de sentido y rectificar errores de destino. Su capacidad resulta mayor, y los tiempos de espera fuera de las horas pico son menores que en una intersección regulada por semáforos. Asimismo, en carreteras con calzadas separadas y demanda equilibrada, una glorieta tendrá generalmente menos accidentes que otros tipos de intersección[1].

Ilustración 1 Intersección Tipo Glorieta

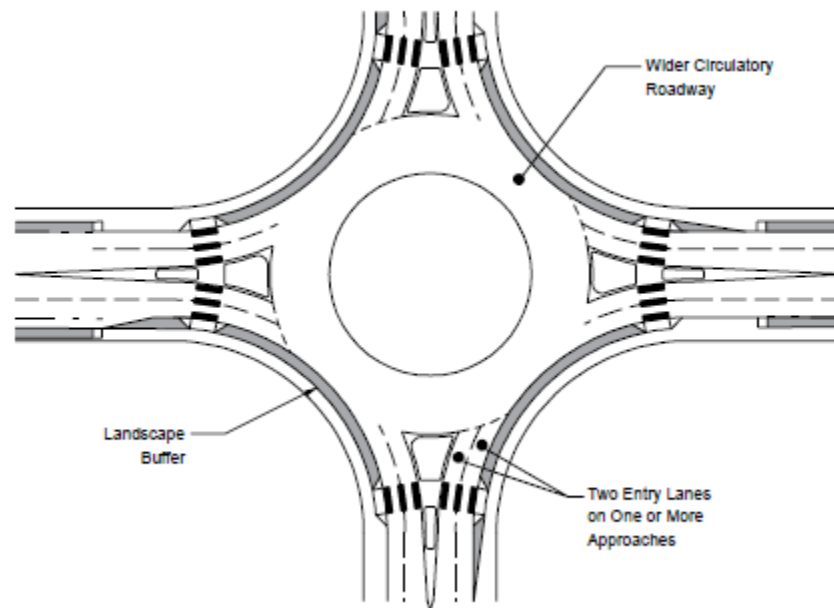


Fuente: propia

a) *Tipos de glorietas* (**REFERENCIAS**)

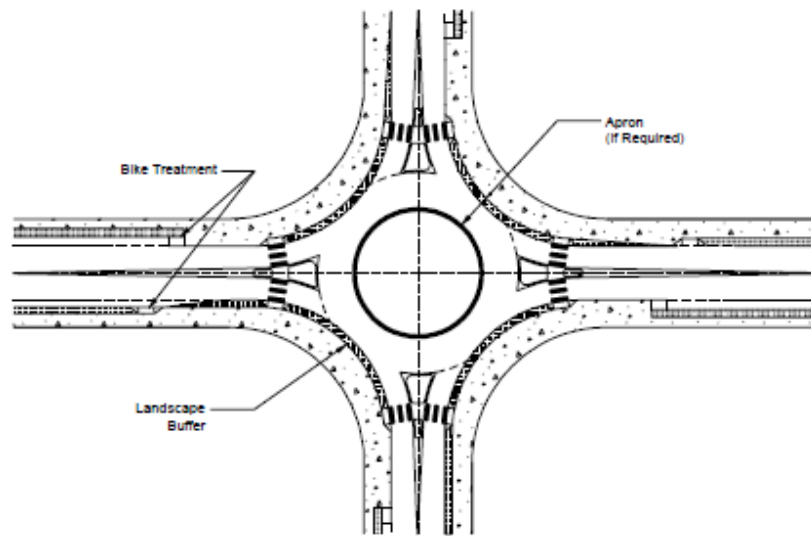
En general los tipos de glorietas a nivel se pueden dividir en varios tipos diferentes como glorietas normales o convencionales, pequeñas o compactas, glorietas turbo, entre otras. Las glorietas normales convencionales tienen una calzada, en esta confluyen 3 o más accesos, pero el principal delimitante de la clasificación es el diámetro de su isleta central el cual debe ser igual o superior a 25 m para empezar a denominarse glorietta convencional. Este tipo de glorietas funcionan especialmente bien con 3 accesos[1].

Ilustración 2 Glorieta Convencional



Fuente: AASHTO 2018

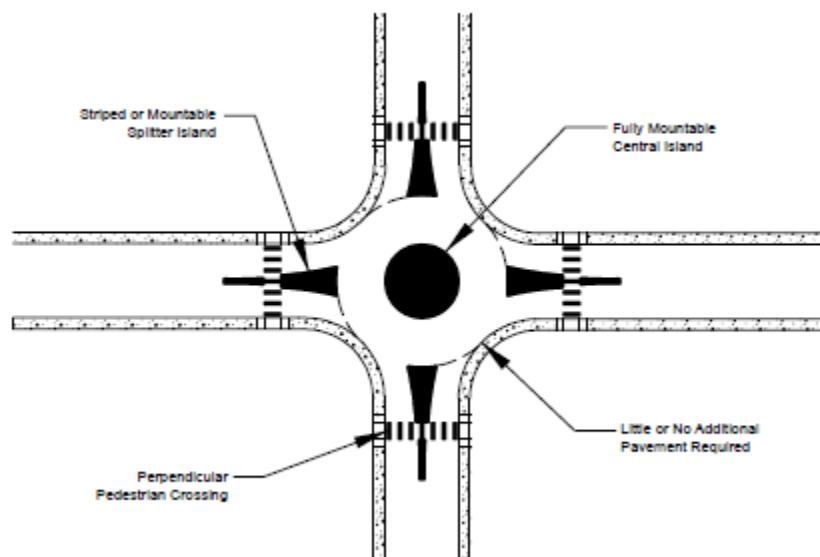
Ilustración 3 Ejemplo Glorieta de un Solo Carril



Fuente: AASHTO

Cuando el diámetro de la isleta central de alguna glorieta no sobrepasa los 25m esta se clasifica como glorieta pequeña, aparte de esto presenta un ensanchamiento en los accesos para permitir el ingreso de varios vehículos a la vez[1].

Ilustración 4 Glorieta Pequeña



Fuente: AASHTO

Adicional a estos tipos de glorietas existen las glorietas a desnivel en la que alguna de los tramos se conecta con una vía a distinto nivel por lo que es necesario infraestructura como puentes o túneles, las glorietas a desnivel permiten velocidades elevadas y al mismo tiempo desviar el tránsito de vehículos al no tener que ingresar a la glorieta lo que descongestiona la intersección y al mismo tiempo permite velocidades elevadas.

Ilustración 5 Glorieta a Desnivel



Fuente: Bogota.gov.co

Otro de los tipos de glorieta que también se presentan, son las mini-glorietas, que son aquellas glorietas con diámetro de isleta central de alrededor de 4 metros o menos. Las mini-glorietas pueden ser muy efectivas para mejorar intersecciones urbanas existentes con problemas de capacidad y seguridad sin embargo una consideración para este tipo de glorietas es que no debe presentar tránsito de carga o de transporte. Solo deben usarse si todos los accesos tienen su velocidad limitada a 40 km/h[1].

Hay dos situaciones diferentes en relación con el emplazamiento y funcionamiento de las glorietas. En zona urbana, el espacio es más limitado, las intensidades son altas y frecuentemente con importantes variaciones a lo largo del día. Las glorietas pueden destacar la transición entre carretera y una urbana, pero no suelen ser compatibles con los sistemas urbanos de control de la circulación, que mueven los vehículos en grupos coordinando las fases de los semáforos para permitir su avance. Las glorietas interfieren este tipo de movimiento agrupado; Hasta el punto de que dichos sistemas no pueden predecir con precisión las intensidades más allá de ellas.

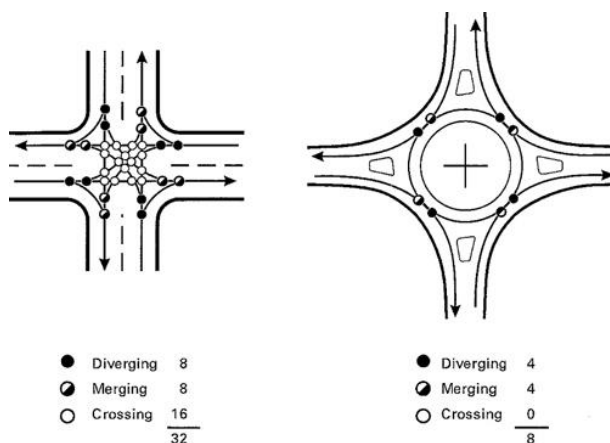
Fuera de la zona urbana con altas velocidades de acceso, menores variaciones de la intensidad y pocas limitaciones de espacio la glorieta es preferible a la regulación por semáforos; pero la pérdida de prioridad que impone al tránsito de paso disminuye su nivel de servicio, y esto puede resultar poco conveniente en un itinerario principal[1].

3. Seguridad en Glorietas

Las intersecciones representan un importante desafío de seguridad para los profesionales del transporte, por diseño, las intersecciones introducen conflicto en un sistema de carreteras, ya que es el lugar donde se encuentra el tránsito opuesto y requiere algún tipo de control de estos puntos de conflicto [2], las glorietas han demostrado una gran solución para la reducción de estos puntos de conflicto siendo una solución vial viable en el contexto urbano[3].

Las condiciones de guiado y la separación de los diversos movimientos por las islas divisorias y la isla central reducen el número de conflictos, por ejemplo, la (ilustración.6) muestra gráficamente que mientras que una intersección típica de cuatro vías tiene un total de 32 posibles puntos de conflicto, una rotonda de cuatro tramos tiene sólo 8 posibles puntos de conflicto[4].

Ilustración 6 Puntos de Conflicto Intersección Normas vs Glorieta



Fuente: NCRHP 2010

Tabla 1 Puntos de Conflicto en na Intersección

Numero de ramas, de doble circulación.	Numero de conflictos y tipos de maniobras, en los movimientos en una intersección			
	Cruce	convergencia	Divergencia	Total
3	3	3	3	9
4	16	8	8	32
5	49	15	15	79
6	124	24	24	172

Fuente: Manual de México 2018

Ilustración 7 Ejemplo Práctico de la Reducción de Puntos de Conflicto



Fuente: A. Pratelli, "Design of modern roundabouts in urban traffic systems," vol. 89, pp. 83–93, 2006

El volumen vehicular y geometría de la glorieta tienen relación directa con la seguridad en ella, se ha demostrado que el volumen vehicular tiene una relación lineal con el aumento de accidentes, cuando el diámetro del círculo inscrito aumenta los accidentes disminuyen ya que permite mejores maniobras de los vehículos, anchos de carril muy grandes en las entradas aumenta la inseguridad, por el contrario anchos de carril de circulación grandes aumentan la seguridad en glorietas[5].

Se debe diseñar las glorietas procurando mantener la seguridad para todos los usuarios de las glorietas, en glorietas urbanas es común ver el paso de ciclistas echo que se debe tener en cuenta durante el diseño, así se recomienda usar diámetros inscritos entre 20 y 40 m ya que

son un 20% más seguros para los ciclistas que diámetros más pequeños o más grandes.[6] como también se pueden encontrar recomendaciones como el uso de faldones en el exterior de la isla central que sirvan tanto para el paso de ciclistas como para el acomodamiento de vehículos pesados[7].(Ilustración.8)

Ilustración 8 Faldones en Glorietas



Fuente: H. N. Isebrands and R. Retting, Enhancing Intersection Safety through Roundabouts. 2008

El número de brazos de entrada en una glorieta también se relaciona con la seguridad, entre mayor es el número de entradas en una glorieta, la seguridad tiende a verse disminuida, al reducir una entrada en una intersección se aumenta la seguridad de esta hasta en un 37% así como también al aumentar un carril de circulación la probabilidad de choque aumenta un 25% [8] y esto es así ya que en una glorieta con espacios muy grandes le permiten al conductor aumentar la velocidad de circulación.

4. Micro-simuladores en el Diseño e Investigación

RODEL, SIDRA y VISSIM por sus abreviaciones representan los tres softwares más usados en Europa para el análisis de glorietas desde el análisis de velocidad, trayectorias y capacidad, no queda claro cual resulta mejor para cada parámetro en específico pero si se ha realizado una comparación metodológica respecto al cálculo de capacidad en los tres software, los resultados demuestran que si se cuenta con datos disponibles para la calibración del modelo

SIDRA y VISSIM son más adaptables ya que ambos proporcionan parámetros de calibración, VISSIM por el contrario permite modelar muchas glorietas, así como otros tipos de intersecciones simultáneamente, SIDRA y RODEL solo permiten la simulación de una rotonda a la vez [9].

Las herramientas de micro simuladores generalmente requieren realizar calibraciones dependiendo el uso que se le desee dar para obtener resultados más precisos, para realizar estas calibraciones se recomienda obtener datos de campo como trayectorias de giro, brecha o retraso, actualmente el uso de nuevas técnicas de recolección de información han facilitado esta tarea, el procesamiento de imágenes es un ejemplo de ello mediante el seguimiento de video y el procesamiento de la información en el software VeTra se han obtenido estos valores y realizado análisis con buenas calibraciones [10], usando la misma técnica se desarrolló un programa en Republica Checa llamado DataFROMSKY que permite medir perfiles de velocidad en glorietas[11].

VeTRA (VEHICLE TRACKING FOR ROUNDABOUT ANALYSIS) es un software de evaluación de trayectorias de giro de la familia AUTODESK que ha demostrado tener resultados muy eficientes comparándolos mediante procesamiento de imágenes y medidas reales en campo. [12] resultando una herramienta muy útil para la modelación matemática del vehículo de diseño, elementos geométricos de la glorieta y trazado de trayectorias de giro, para una correcta elección de parámetros geométricos que aseguren una correcta circulación de los vehículos.

5. *Impacto en el Medio Ambiente*

Es necesario generar diseños que sean amigables con el medio ambiente por lo tanto se ha logrado investigar los impactos geométricos de las glorietas con respecto a su impacto en el medio ambiente, se ha demostrado que las mini-glorietas o glorietas de un solo carril generan un menor tiempo de viaje y una reducción del 13% al 15% de emisiones de CO2 por unidad de distancia con respecto a glorietas de mayor tamaño[13].

C. Antecedentes Internacionales

Para completar esta guía de diseño se ha revisado las principales normas redactadas en algunos países a nivel internacional y nacional por eso en este apartado se nombran algunas recomendaciones en el diseño de mini-glorietas, desde criterios de concepción del proyecto, valores geométricos típicos y algunos criterios de diseño, esto con base a normativa de Estados Unidos, España y Colombia.

1. España

a) Normas Vigentes

Actualmente en España se usa la “Guía de Nudos Varios del 2012 “de la secretaria general de infraestructura, guía que remplazo a las “Recomendaciones sobre Glorietas “publicadas por el antiguo MOPU en el año 1989, estas guías se basan fundamentalmente en especificaciones de la normativa de Reino Unido, en el caso de mini-glorietas se usan criterios presentes en la norma CD 116 (Geometric design of roundabouts). Estas son las normas tenidas en cuenta para España en esta guía.

b) Consideraciones para Implementar una Mini-glorieta

Para implementar una glorieta o mini-glorieta la guía establece en el punto considerado como un nudo o intersección sean mimo tres el número de vías que concurren, intersección en la cual no se debe situar paradas de transporte colectivos ni se tendrán ningún carril exclusivo en el diseño. También define el trazado en planta, sección transversal, y trazado en perfil como consideraciones para el diseño de las mini-glorietas, consideraciones que se deben acoplar con las características de las vías que allí intercectan, restricciones de espacio y características del tránsito que a su vez se ve reflejado en una correcta elección de la geometría de la glorieta.

c) *Ángulos Recomendados*

Para mini-glorietas y glorietas en general se recomienda usar ángulos entre los 20° y 60°, ángulo formado entre la tangente al carril de acceso y una tangente en un punto del carril de circulación dentro de la glorieta. Ángulos demasiado pequeños dificulta la inserción de los usuarios, pues obliga al conductor que pretende insertarse mirar hacia atrás para ver si hay un espacio suficiente, se recomienda para un diseño más óptimo que las vías entrantes formen lo más cercano a un ángulo recto respecto a la glorieta.

d) *Isleta Central*

Para el caso de mini-glorietas y glorietas en general un elemento imprescindible es su isleta central, alrededor de la cual se dispone una calzada anular además de las isletas separadoras de las trayectorias. La isleta central deberá ser circular de 1 a 7.5 m de diámetro la cual debe estar elevada a una altura máxima de 15 cm de la elevación del carril de circulación o también puede ir pintada de color blanco sin ninguna elevación.

e) *Anchos de Carril*

La guía define los anchos de carril en función del diámetro del círculo inscrito de la glorieta, es decir para diámetros de 28 m se recomienda un ancho de carril de 8 m, para 32 m se tiene un ancho de carril de 7.2 m y así sucesivamente (Tabla.2), nótese que a medida que crece el diámetro de la glorieta decrece el valor de ancho de carril, esto con el fin de no ofrecer una zona demasiado amplia evitando que el conductor tenga la percepción de aumentar la velocidad.

Aunque en esta norma se especifican los anchos de carril para glorietas de 28 m de diámetro o más, para el caso de mini-glorietas se recomiendan anchos de carril entre 8 y 9 m.

Tabla 2 : Anchos de Carril Glorietas España

Diámetro Exterior (m) De la Calzada Anular	Anchura carril (m)
28	8.0
32	7.2
36	6.7
40	6.3
44	6.0
48	5.8
52	5.6
56	5.4
60	5.3

*Fuente: Guía de
Nudos Varios 2012*

f) *Uso de Faldón Montable*

En mini-glorietas y glorietas compactas debido a sus diámetros pequeños y con el fin de garantizar el paso de vehículos en las condiciones extraordinarias de circulación, se recomienda dejar un faldón o paso montable el cual puede rodear el exterior de la isla central con un ancho de 0.5 m y un máximo de 1.5 m, debe estar construido en un material transitable y que soporte la carga vehicular y sin presencia de señales de tránsito, con una textura o color diferente al carril de circulación con una elevación de 5 cm máximo por encima de la calzada anular.

g) *Diámetro de Círculo Inscrito*

Para mini-glorietas se define un diámetro de círculo inscrito de máximo 28m. y no se define un valor mínimo, aunque este debe garantizar una correcta trayectoria al vehículo de diseño.

h) Velocidad de Diseño

En vista de que las mini-glorietas tienen unas pequeñas dimensiones y se encuentran en vías urbanas, se exigen bajas velocidades de circulación, la velocidad operativa en las entradas de la rotonda debe disminuirse a máximo 50 km/h y la velocidad de diseño a 40 km/h.

i) Peralte

En cuanto al diseño transversal se recomienda tener cuidado con la inflexión a la entrada de la glorieta, por ello se recomienda un peralte máximo del 5% en las entradas a la altura de la marca de detención del vehículo, valor que se puede reducir al máximo para permitir un correcto drenaje superficial, y dentro de la calzada de circulación de la glorieta un rango entre el 2% y 4% hacia su borde exterior.

2. Estados Unidos

a) Nomás Vigentes

Para Estados Unidos se usan unas normas más populares entre el ámbito ingenieril americano como lo son la norma “ASHTOO” A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2018 y debido a la gran cantidad de investigación e información que se desarrolla en este país se generan reportes especializados o que tratan un tema en específico como es para este caso “NCRHP (Report 672) 2010”, “ Roundabouts an informal guide (2000)”, “NCRHP (Report 572) ” los cuales establecen guía de información y diseño de glorietas.

b) Consideraciones para Implementar una Mini-glorieta

Para la implementación de glorietas o mini-glorietas se debe tener en cuenta que la aplicación o construcción se hará en puntos de intersección entre mínimo 3 ramales viales y se recomienda que máximo se tengan 4 ramales, pero en zonas donde se tenga una mayor

cantidad de vías interceptándose se debe estudiar la posibilidad de generar bifurcaciones entre dos vías antes de llegar a la glorieta y que esta se construya en vías con bajas velocidades, además se debe tener en cuenta el espacio disponible y el tipo de zona en la que se va a desarrollar el proyecto.

Se debe tener en cuenta que la implementación del tipo de glorieta dependerá de factores como capacidad y volumen de tránsito en la zona.

c) Ángulos Recomendados

Las recomendaciones de los ángulos de entrada son los mismos que para todas las glorietas, se recomienda que el ángulo entre los ramales sea de 90° pero se pueden permitir valores de más o menos 15° es decir desde 75° hasta 105° son recomendados. Para el ángulo de salida no se encuentra información en la norma.

d) Isleta Central

La isla central es utilizada para alinear los vehículos, además esta indica la deflexión y la circulación que debe hacer el vehículo que transita en la glorieta y en algunos casos proporciona refugio a los peatones, las islas centrales pueden estar a nivel o elevadas. En el caso de las mini-glorietas, es 100% montable y debe tener un área mínima de 4.6 m².

e) Anchos de Carril

Para el ancho de carril se debe establecer primero la cantidad de carriles que se tiene, en los ramales viales y la cantidad de carriles que va a tener la glorieta, para el caso de un carril el ancho mínimo es de 4.2 m y máximo de 5.5 m, siendo así el requerido de 4.6 m. para el caso de dos carriles el ancho de carril requerido será de 7.3 m a 9.1 m.

Se debe tener en cuenta que el ancho de carril puede ser el mismo que se tiene en el ramal de entrada o en su defecto hasta 1.2 veces el ancho del carril de entrada.

f) *Uso de Faldón Montable*

El faldón montable es utilizado especialmente para darle un espacio adicional de circulación a los vehículos de gran tamaño como lo pueden ser los de tipo articulado, los cuales usan este espacio para evitar así montarse en la isleta central o usar el carril adyacente al de circulación. Para el faldón montable se establece un valor de peralte de 2% máximo por drenaje, la capa usada para el faldón puede ser la misma de los carriles o puede ser una superficie diferente para evitar que los demás vehículos usen este ancho adicional para circular,

g) *Diámetro de Círculo Inscrito*

Para las mini-glorietas se establece que el diámetro inscrito debe estar entre 13 m y 27 m. pero además que este no debe exceder los 30 m.

h) *Velocidad de Diseño*

La máxima velocidad deseada para ingresar y circular en la mini-glorieta debe ser un valor entre 25 km/h a 30 km/h. ya que por las dimensiones se debe tener bajas velocidades.

i) *Peralte*

En el diseño de sección transversal se debe asignar un valor de peralte el cual no debe ser mayor a 2% para el faldón, y en el ancho del carril se puede tener el valor de peralte por el bombeo normal en todo el ancho del carril, o se puede dividir en dado caso de tener más de un carril siendo este un valor de $\frac{2}{3}$ o $\frac{1}{2}$ del carril con el bombeo normal y el $\frac{1}{3}$ o $\frac{1}{2}$ restante con el bombeo normal invertido.

j) Capacidad Estructural

La capacidad estructural no afecta la operación del tránsito, y el efecto se la seguridad esta solamente relacionado con la probabilidad de que la estructura falle, por esta razón la capacidad estructural no se revisa aquí y no hace parte de la investigación. [14]

3. Colombia

a) Normas Vigentes

Las normas que rigen el diseño geométrico de intersecciones en Colombia son el Manual de diseño geométrico de carreteras (MDGTV 2008), el cual presenta los parámetros y criterios para el diseño de intersecciones, pero a grandes rasgos. Mientras que la guía de diseño urbano de Bogotá D.C presenta toda la aplicación de cada una de las diferentes intersecciones incluyendo el diseño de mini glorietas urbanas de una forma más detallada, presentando criterios de diseño, consideraciones de implementación entre otros.

b) Consideraciones para Implementar una Mini-glorieta

Las consideraciones para dar solución a un punto de intersección vial según el manual de carreteras dependerá de factores asociados a la topografía del terreno, a las características geométricas de la carretera, del punto de intersección, a las condiciones de su flujo vehicular y volúmenes de tránsito; mientras que la guía de diseño indica que dependerá de la jerarquía funcional de las vías, a la integración de las vías con el sistema de transporte público, intensidad y tipo de tránsito los cuales estarán en función de los volúmenes de tránsito y a criterios físicos como configuración del terreno, relieve, perfil longitudinal, pero la elección del mejor caso dependerá de la experiencia del diseñador.

Para lo cual se presenta que cuando se tenga poco espacio se pueden implementar mini-glorietas además que las velocidades muy bajas en los ramales viales que se intersecten y no debe existir tránsito de carga o transporte público.

c) *Ángulos Recomendados*

Para los ángulos dependerá si la intersección es de tipo canalizada, para la cual se establecen ángulos de entrada entre 60° y 90° siendo el de 60° el ideal para la entrada a la glorieta; mientras que para el ángulo de salida se establece un valor ideal de 30° . El ángulo es medido entre el eje de la calzada de acceso y un punto tangente en la parte exterior de la glorieta.

d) *Isleta Central*

Las isletas son elementos para el manejo, separación de conflictos y áreas de maniobras en las intersecciones. Las isletas son zonas situadas entre carriles de circulación cuyo objetivo es guiar el movimiento de los vehículos, servir de refugio a los peatones y proporcionar una zona para la ubicación de la señalización y la iluminación.

Para las mini-glorietas la isleta central debe tener un diámetro menor a 4 metros, el islote puede o no ser montable, los cuales están demarcados con pintura en caso de ser montables.

e) *Anchos de Carril*

Para el manual de diseño geométrico los anchos de carril de entrada y salida están en función del radio interior de ingreso a la intersección, variando las dimensiones desde 4,5 metros hasta 6,2 metros siendo este un ancho de carril sencillo, pero si se requiere un ancho de carril con espacio para sobrepasar un vehículo estacionado este ancho variará entre 6 metros y 9,5 metros, a mayor radio interior menor será el ancho de carril, teniéndose un valor máximo de 15 metros de ancho de sección de entrecruzamiento; mientras que para la guía de diseño urbano se establece un valor de calzada de hasta 12 metros.

f) *Uso de Faldón Montable*

Para la normativa colombiana no se establece el uso de faldón montable pero tampoco se establece el que no se pueda usar o adoptar los criterios de construcción establecidos por otras normativas.

g) *Diámetro de Círculo Inscrito*

Para la normativa colombiana no se establecen los valores de diámetro de círculo inscrito para las mini-glorietas.

h) *Velocidad de Diseño*

Ya que las mini-glorietas son aplicadas en cruces de vías locales para las cuales se establecen velocidades de 30 km/h o menos, pero la aplicación de estas pretende la disminución de la velocidad hasta 10 km/h.

i) *Peralte*

Para el manual de diseño se selecciona para la sección transversal peraltes con valores entre el 2% a 4% referentes al bombeo normal; mientras que para la guía de diseño dependerá si se tiene uno, dos o más carriles, si se tiene uno se usa el valor del bombeo normal, pero si se tienen 2 o más carriles se dispone un peralte hacia el interior con un máximo de 2% en los 2/3 interiores de la calzada y el tercio restante con un valor cercano al 3% sin excederlo.

D. Cuadro Comparativo Normativo

A continuación, se resume los elementos principales en el diseño geométrico de mini-glorietas y algunos criterios generales del diseño de glorietas en general, esto contemplado en la normativa nacional e internacional de referencia.

Tabla 3: Cuadro Comparativo Elementos Geométricos y de Diseño

PARAMETRO	NORMA DE REFERENCIA		
	ESPAÑA	ESTADOS UNIDOS	COLOMBIA
Ancho de carril	8-9 m	N/A	<15 m
Diámetro isla central	1-7.5 m	>4.6m ²	<4 m
Faldones	0.5 -1.5 m	N/A	N/A
Anchos de entrada y salida	N/A	4.2 y 5.5 m	4.5 y 6.2 m
Ángulos de entrada y salida	20°- 60°	75°-105° y N/A	60° y 30°
Peralte	2%- 4%	2%-4%	2 – 4%
Trayectorias a evaluar	4	4	4

N/A: No aplica

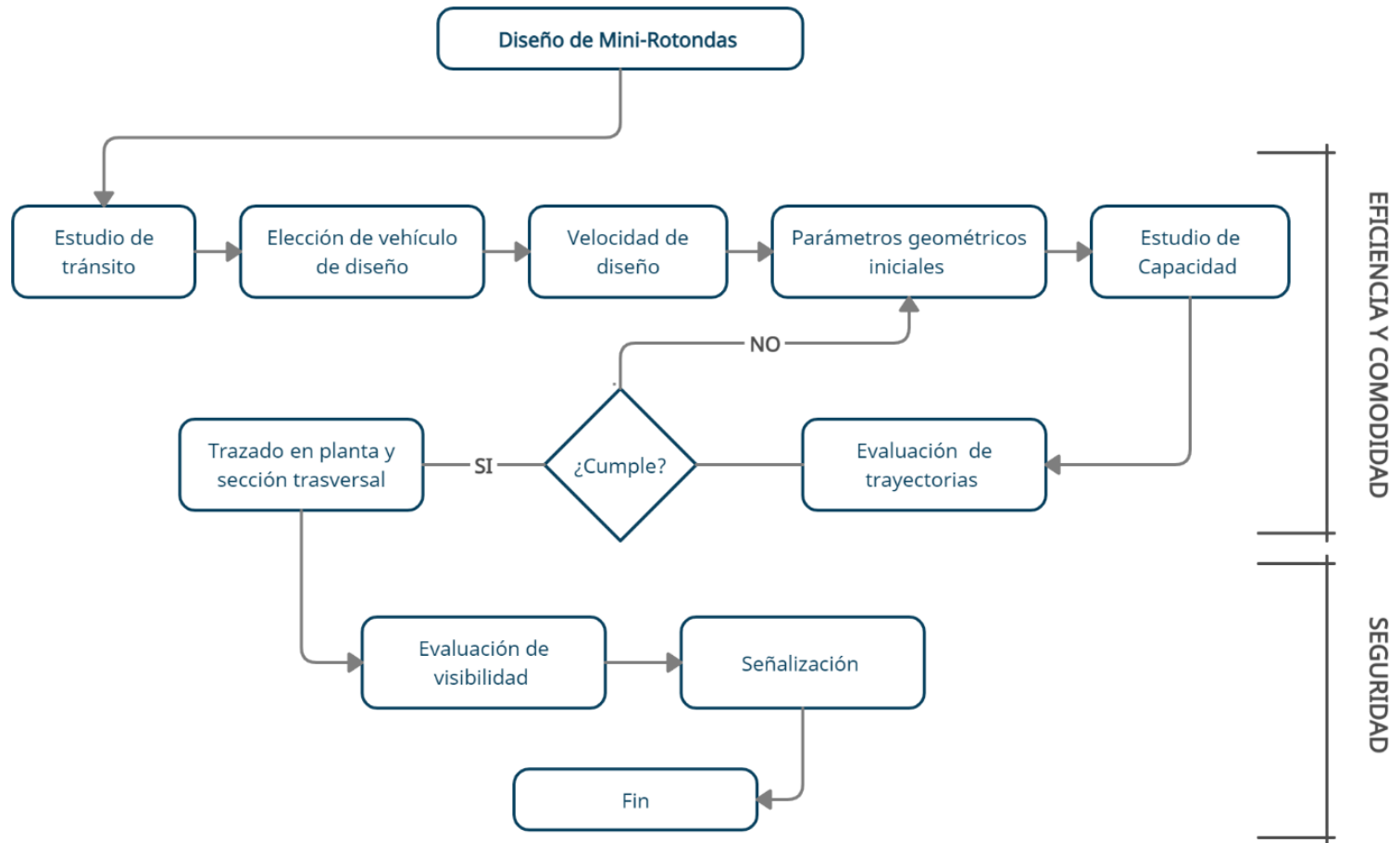
Fuente: Propia

E. Metodología de Diseño

Los arreglos geométricos en las intersecciones dependen de factores como tránsito, topografía y velocidad, además el diseño está compuesto por tres elementos bidimensionales que al unirlos se obtiene un elemento tridimensional correspondiente a la vía, se conocen como alineamiento horizontal, alineamiento vertical y el diseño transversal [15], los cuales deben asegurar una circulación cómoda y segura, aunque el alineamiento vertical es función de las condiciones topográficas, el diseño trasversal y horizontal permite realizar recomendaciones y proponer valores de diseño.

En este apartado se muestra una metodología de diseño propuesta para mini-glorietas en fase preliminar y algunos criterios de otras fases posteriores como la evaluación de visibilidad y señalización.

Ilustración 9 : Etapas del Diseño



Fuente: Propia

1. Descripción General de Etapas del Diseño

a) Estudio de Tránsito

Las metodologías de estudios de tránsito se enfocan en determinar el volumen de tránsito actual y futuro, como puede influenciar al sector donde se desarrolla y las vías aledañas, para así realizar un pronóstico de su comportamiento a lo largo del tiempo[16]. Información que no solo servirá para determinar el vehículo de diseño sino además la capacidad que debe tener la intersección proyectada.

b) Elección del Vehículo de Diseño

Durante el diseño se debe realizar un estudio de la composición vehicular que circula o circulara por la glorieta, para el diseño habitualmente suelen elegirse como vehículos de diseño los tipos camión rígido o autobús y en algunos casos articulados, las dimensiones mínimas se determinan con el vehículo tipo más desfavorable, las dimensiones recomendables las determina el vehículo tipo que más utilice la intersección[17].

c) Parámetros Geométricos Iniciales

Los parámetros geométricos iniciales hacen referencia a las consideraciones de diseño que se tiene en la zona de construcción de la obra vial, para el caso de intersecciones tipo glorieta se deben establecer parámetros geométricos como[18]:

- Diámetro de círculo inscrito: Se establece inicialmente según el espacio que se tiene.
- Ancho de carril: Se establece según las consideraciones de radio de giro en el islote central.
- Ángulos de entrada y salida: Estos son establecidos a partir de las condiciones en las que se encuentran los ramales viales en el punto de intersección.

- Peralte: Se asigna un valor establecido como bombeo normal, con el fin de permitir el flujo de agua y que esta no se deposite en la capa del pavimento, evitando condiciones de hidropilano, deterioro del pavimento y ayudando a realizar el giro de una forma segura.

d) Estudio de Capacidad

La capacidad de aproximación de una glorieta está influenciada directamente por el patrón de flujo, los tres flujos de interés, flujo entrante, flujo circulante y flujo de salida, la capacidad en la glorieta decrece tanto como el conflicto vehicular crece como se describe en el “Highway Capacity Manual HCM” [19].

e) Trazado o Evaluación de Trayectorias

Las trayectorias que realiza el vehículo en la glorieta representan los radios más rápidos necesarios para desarrollar la trayectoria, en este caso iniciando desde un denominado ramal de entrada, circulando por la glorieta y finalmente tomando otra vía desde un denominado ramal de salida; dependiendo la cantidad de ramales se tendrán más o menos posibles trayectorias que puede realizar un vehículo en la glorieta.

f) Trazado en Planta y Sección Transversal

Una vez verificada las trayectorias de los vehículos de diseño y la capacidad deseada se establecen los parámetros geométricos definitivos tanto en planta como en sección transversal[20].

g) Evaluación de Visibilidad

Se debe evaluar la visibilidad que tendrá el usuario al transitar por la glorieta con el fin de verificar su seguridad, la evaluación de visibilidad en una glorieta dependerá de la posición en la que se encuentre el vehículo[21], es decir:

- Visibilidad en la entrada: En donde se debe garantizar la visibilidad hacia la izquierda, la visibilidad hacia la derecha y la visibilidad hacia el paso peatonal.
- Visibilidad en la glorieta. En donde se debe garantizar visibilidad a toda la glorieta para el vehículo circulante.

h) Señalización

La señalización vial hace referencia a los dispositivos reguladores de tránsito, los cuales son indispensables para la seguridad y correcto tránsito de los vehículos que hacen uso de la vía o de la intersección[20].

Esta debe ser acorde, visible, llamativa ante el usuario, fácil de entender, que, de tiempo suficiente para responder adecuadamente, infunda respeto y sea creíble. Su fin, es el de regular la circulación, advertir de posibles obstáculos y guiar a los usuarios, de manera que sea acorde al diseño del proyecto[22].

El tipo de señalización que se requiere para un proyecto, será en sentido vertical, con la implementación de señales verticales, y en sentido horizontal, será la demarcación de la vía y cruces peatonales.

III. CAPACIDAD EN MINI-GLORIETAS

A. Metodología Wardrop

Para el cálculo de capacidad de la sección de entrecruzamiento se utiliza la expresión propuesta por Wardrop, la cual está en función de parámetros tales como el ancho de la sección de entrecruzamiento, ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento, longitud de la sección de entrecruzamiento entre otros, los cuales son parámetros o consideraciones de diseño que se tienen establecidas o se deben establecer en un diseño de intersección tipo glorieta[20].

1. Calculo capacidad

Para el cálculo de capacidad se presenta la siguiente ecuación [23]:

$$Qp = \frac{160 * W * \left(1 + \frac{e}{W}\right)}{1 + \frac{W}{L}}$$

$$e = \frac{(e_1 + e_2)}{2}$$

Donde:

Qp: capacidad de seccion de entrecruzamiento, como transito muxto, en veh/hora .

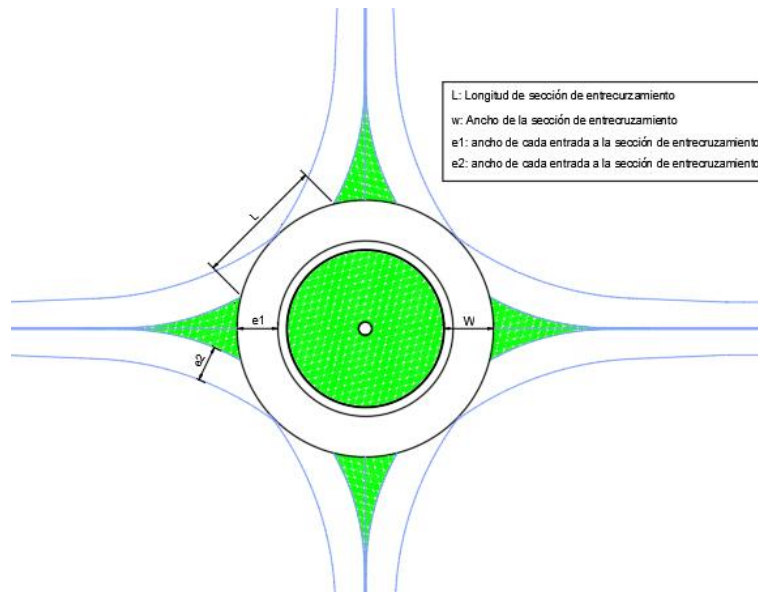
W: ancho de la seccion de entrecruzamiento, en metros.

e: ancho promedio de las entradas a la seccion de entrecruzamiento, en metros.

$e_1 + e_2$: ancho de cada entrada en la seccion de entrecruzamiento, en metros.

L: longitud de la seccion de entrecruzamiento, en metros.

Ilustración 10 Elementos cálculo de capacidad



Fuente: Propia

2. Consideraciones del método

Este tipo de cálculo de capacidad pretende que[20]:

- No hay vehículos estacionados en los accesos de la glorieta.
- La zona de la glorieta en planta es plana y la pendiente de los accesos no excede el 4%.
- La fórmula está basada en observación de glorietas existentes.
- Porcentaje de vehículos pesados del 15%.

Para glorietas nuevas o mejoramiento de glorietas existentes, en donde sea necesaria la modificación de los accesos, la capacidad de diseño de la sección de entrecruzamiento no debe ser superior al 85% de la capacidad práctica. Si por restricciones de espacio en la zona de construcción se debe usar la totalidad de la capacidad práctica (100%), es decir no se puede hacer la reducción del 15% se debe considerar los siguientes ajustes[20]:

- Si el ángulo de entrada esta entre 0^a y 15^a, reducir en 5% la capacidad de entrecruzamiento.
- Si el ángulo de entrada esta entre 15^a y 30^a, reducir en 2,5% la capacidad de entrecruzamiento.
- Si el ángulo de salida está entre 60^a y 75^a, reducir en 2,5% la capacidad de entrecruzamiento.
- Si el ángulo de salida es mayor que 75^a, reducir en 5% la capacidad de entrecruzamiento.
- Si el ángulo interno es mayor que 95^a, reducir en 5% la capacidad de entrecruzamiento.

3. *Capacidades esperadas*

Al elegir entre diseñar algún tipo de glorieta ya sea mini, de un solo carril o de dos, la capacidad es un factor a tener en cuenta, y aunque la capacidad depende del mismo diseño, se pueden tomar valores de referencia según el tipo de glorieta, estos valores ya se han desarrollado con base a investigación mediante modelos analíticos y estudio de diferentes tipos de glorietas[24](Tabla.4).

Tabla 4 Valores de Referencia de capacidad en glorietas

Tipos de glorietas	No de carriles de entrada	Capacidad en el anillo (veh/h)
Glorietas minis y compactas	1	1600
Glorietas compactas con 2 carriles	1 2	1600 1600
Glorietas grandes	1 2	2000 2500

Fuente: F. Corriere and M. Guerrieri, "Performance Analysis of Basic Turbo-Roundabouts in Urban Context," Procedia - Soc. Behav. Sci., vol. 53, pp. 622–632, 2012

Como se muestra en la (Tabla.4) para mini glorietas se puede esperar una capacidad de 1600 v/h, además estudios alemanes han demostrado que el volumen de tráfico de 15000v/día para una mini-glorietas no representa ningún problema, además de demostrar un buen funcionamiento en vías alemanas[25].

IV. ESTUDIO DE TRANSITO

En el desarrollo de un proyecto o construcción de una vía nueva o el mejoramiento de una ya existente, se hace necesario el determinar los volúmenes de tránsito futuro, para así poder determinar y predecir la influencia que va a presentar en la zona de desarrollo y las vías aledañas, además de generar un pronóstico del comportamiento que se desarrollara a lo largo del tiempo.

Además, la finalidad de este estudio es comparar la capacidad de la glorieta con el flujo vehicular esperado para un periodo de diseño. Esta guía recomienda un tiempo de 20 años como lo establece “INVIAS”, [26] ya que, este tiempo es adecuado para la estimación de la vida útil de la obra, estimaciones de influencia en la economía de la zona, índice de desarrollo que se generara y modificaciones en la población.

Se deben establecer estudios tales como un análisis al plan de desarrollo de la zona e inversión programada por el estado, quienes principalmente son los proponentes y desarrolladores de este tipo de obras civiles; además de un examen comparativo con rutas de crecimiento del tránsito en carreteras con características similares [16].

La “AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)” [27] además del “Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y transporte 2005” [16] establecen las siguientes componentes para la determinación del tránsito futuro.

A. *Transito Actual*

Para conocer el tránsito actual es necesario realizar aforos vehiculares o revisar los ya existentes en diferentes puntos de la zona de estudio, determinando la composición del tránsito estimado de:

- Flujo peatonal, motos y bicicletas.
- Flujo de vehículos livianos, transporte público y vehículos de carga.

Por otra parte, para desarrollar la caracterización según el “Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte en Santa fe de Bogotá (Agosto-2005)”[16], se deberá realizar las siguientes actividades:

- Datos recopilados del Inventario de las características de tránsito.
- Información de jerarquización de la red vial, rutas utilizadas por el sistema de transporte y del uso del suelo.
- Información de aforos vehiculares para caracterizar y establecer la demanda actual de las vías de influencia directa del proyecto.
- Aforos vehiculares, peatonales en las vías de acceso y salida de la zona del proyecto, durante un día típico y un día atípico de la semana por cada punto crítico identificado a nivel de tránsito.
- Inventario de las características de transporte de la zona de influencia del proyecto.
- Inventario detallado de la infraestructura vial en el área de influencia según el tipo de vía, el estado físico y sentidos de circulación.

Teniendo en cuenta esta información, se prosigue a identificar las siguientes componentes del tránsito actual:

1. Tránsito existente

Para determinar el tránsito existente se deben generar conteos o encuestas de origen y destino entre los usuarios corrientes y recolectados con base en los procedimientos de la ingeniería de tránsito, en los cuales se requiere la siguiente información[16].

a) Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

Se halla efectuando un conteo durante una semana de todos los tipos de vehículos que pasan por la carretera en un punto específico y durante un periodo de tiempo, teniendo en cuenta las variaciones mensuales y estacionales, para finalmente dividirlo en 7 días el conteo obtenido[16]; se debe tener en cuenta que, dependiendo de la zona de estudio el aforo se realizara a diferentes horas y en una o más veces al día.

En efectos de aplicación cuando se desea implementar una nueva vía, se puede adoptar los datos de tránsito de otra vía situada en una zona de características similares o una vía alterna a la que se desea construir.

2. Transito Atraído

Es aquel recibido por las vías aledañas debido a las ventajas que ofrece, y las condiciones mejoradas[16].

B. Aumento del tránsito

1. Crecimiento normal del tránsito

Es aquel incremento en los vehículos automotores por ascenso de población en el año, con base en los censos oficiales sobre automotores que lleven las dependencias de circulación de tránsito y el recorrido medio en kilómetros por vehículo, con base en el consumo anual de gasolina registrado en la zona determinada o el territorio en general del país[16].

Como resultado se evaluarán las curvas de crecimiento y se determinará una tasa aproximada del aumento del tránsito y aplicarla al año seleccionado para el diseño.

2. *Tránsito inducido*

Originado por las mejoras de una carretera o la construcción de una nueva y es atribuido a la atracción de la novedad, más que a la necesidad, el tránsito por consiguiente puede oscilar entre un 5% a un 25% del tránsito actual y un periodo de desarrollo de 1 a 2 años[16].

3. *Tránsito desarrollado*

Esto se debe a el progreso económico e integración de las tierras adyacentes a la vía, a diferencia del inducido tiene un tiempo mayor de influencia debido al uso de la tierra destinada a futuro y se determina con el número de viajes por día para diferentes sectores de la vía.

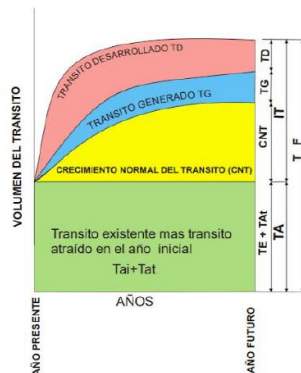
Luego el tránsito futuro para efectos del proyecto se deriva a partir del tránsito actual y el incremento del tránsito que se puede plantear mediante la siguiente expresión[16]:

$$TF = Ta + IT$$

Reemplazando con todos los componentes tenemos

$$TF = (Tai + Tat) + (CNT + Tg + Td)$$

Ilustración 11 componentes de volumen de tránsito futuro



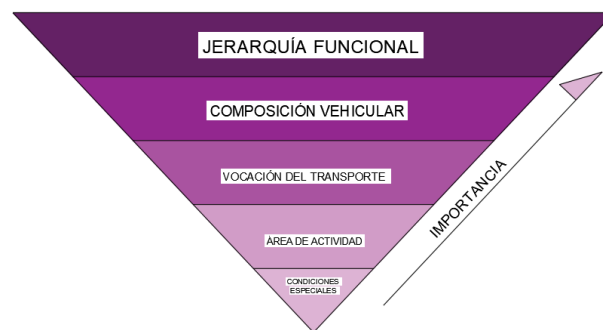
Fuente: “Manual para la revisión de estudios de tránsito”. (2008).

V. ELECCIÓN DEL VEHÍCULO DE DISEÑO

A. *Criterios de Elección del Vehículo de Diseño*

La guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá [28] establece que el vehículo de diseño se debe elegir respecto a cuatro criterios, el primero es la jerarquía funcional, el segundo la composición vehicular, vocación del transporte y por último área de actividad. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de estos criterios.

Ilustración 12 Variables influyentes en la selección del vehículo de diseño



Fuente: Propia

1. Jerarquía funcional

La clasificación funcional de las vías atiende a una agrupación según las características del servicio que ofrecen en el marco de una red vial, es decir, si su configuración aporta a la movilidad a la conectividad y/o a la accesibilidad local, la clasificación más común dentro de la red vial urbana es[28], [29]:

- Red vial metropolitana: Corresponde a la red de vías que articula operacionalmente la movilidad de mediana y larga distancia.
- Red vial urbana: Permite la conexión urbana, propia de cada uno de los municipios que conforman el área metropolitana.

- Red vial arterial: Vías que articulan operacionalmente los subsistemas de la malla arterial principal y secundaria.
- Red vial intermedia: Su función es permitir el acceso desde las vías arterias y nacionales a puntos de interés urbano en vías colectoras.
- Red vial local: Facilitan el acceso a las propiedades o actividades adyacentes, conectan la red vial arterial e intermedia con los barrios, como también conecta la red vial local con las zonas residenciales

2. *Composición vehicular*

Los vehículos de diseño seleccionados para un proyecto vial deben ser los más representativos en el tránsito existente o proyectado en la intersección, ya que estos son los que demandan mayores exigencias en el diseño[28], en el caso de las mini glorietas serán los que demandarán mayor área para cumplir las trayectorias.

Para reconocer los tipos de vehículos que se pueden llegar a encontrar a continuación se muestra una clasificación con base a algunas de sus características generales[28].

- Vehículos Livianos: Automóviles convencionales de dos ejes simples, además se incluyen motocicletas.
- Vehículos Pesados: Se refiere a vehículos de carga como tracto camiones o vehículos articulados (C2S2, C3S3, C3S2 y C3S3).
- Vehículos de Emergencia: Se refiere a vehículos de bomberos o ambulancias, categoría que se puede asimilar a un camión C2-G de 9.15 m de largo.
- Vehículos Proveedores de Servicios: Son un tipo de vehículos que normalmente transita por todos los tipos de vías urbanas, como lo son transporte de agua, repartición de mercancías o recolección de basura.
- Vehículos de Transporte de Pasajeros: Vehículos de componen la malla de transporte urbano como microbús, buseta, buseton, articulado y biarticulado estos últimos presentes en ciudades como Bogota.D.C, Cali y Bucaramanga.

3. *Vocación del transporte*

Diferente a la clasificación por tipo de vehículo en este caso se habla de una clasificación vehicular con base al servicio que prestan o entidades a las que pertenecen, un ejemplo es la red de transporte público y la red de transporte de carga[28].

4. *Área de actividad*

El área de actividad se refiere a la clasificación funcional de la zona urbana donde se encuentra la intersección, normalmente se encuentra este tipo de clasificación en los Planes de Ordenamientos Territorial (POT) de las ciudades, con base a esta clasificación se puede llegar a relacionar el tipo de vehículos que circula o circulara por la intersección, algunas de las áreas de actividad que podemos encontrar son[28]:

- Uso residencial
- Uso dotacional
- Uso comercial y de servicios
- Uso integral
- Uso industrial

B. Elección

En la “Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogotá.D.C” [28] se recomienda una tabla para practica para la elección del vehículo de diseño con base a los criterios explicados anteriormente (Tabla.5), aunque su uso solo debe definirse para una fase del proyecto básica ya que se refiere un tipo de información secundaria, para una información más precisa se recomienda obtener información primaria con base a estudios en situ.

Tabla 5 Elección de Vehículo de Diseño según “Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogota.D.C”

CONDICIÓN	TIPO DE VEHÍCULO DE DISEÑO										
	V.L	V.P			V.S-V.E	V.T					
	"AUTO (PM-5.79M)"	"CAMIÓN (WB-12M)"	"CAMIÓN (WB-15M)"	"CAMIÓN (WB-19M)"	"CAMIÓN C2-G (SUM-9.15M)"	"MICROBÚS (19PAS-6.28M)"	"BUSETA (40PAS-8.42M)"	"BUSETON (50PAS-7.59M)"	"PADRON (80PAS-12.25M)"	"ARTICULADO (160PAS-18.29M)"	"BIARTICULADO (240PAS-27.57M)"
JERARQUÍA FUNCIONAL											
Arteriales principales					X						
Autopistas urbanas					X						
Vías rápidas urbanas					X						
Vías arterias convencionales					X						
Vías complementarias					X						
Vías intermedias					X						
Vías locales	X				X						
VOCACIÓN DEL TRANSPORTE											
Red de transporte público masivo										X	X
Red de transporte público colectivo						X	X	X	X		
Red de transporte de carga		X	X	X	X						
ÁREA DE ACTIVIDAD											
Residencia	X				X						
Dotacional					X						
Comercio y Servicios		X			X						
Central	X				X						
Integral					X						
Industrial		X	X	X							
Minera		X	X	X							

Fuente: Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogota.D.C

C. Para Mini-glorietas Urbanas en Colombia

Para el caso de mini-glorietas estas se diseñan para zonas de bajas velocidades, no para vías principales como autopistas o vías con alto flujo de vehículos articulados si no por el contrario para vías tipo colectoras o vías locales con poco flujo de carga pesada. Para este tipo de vías la composición vehicular que se tiene en la mayoría de las ciudades de Colombia es de vehículos livianos, vehículos de emergencia, vehículos proveedores de servicios y con más frecuencia vehículos de transporte de pasajeros.

Teniendo en cuenta los criterios de elección del vehículo de diseño, el desarrollo de esta guía se basa principalmente entre dos vehículos de diseño, Vehículo C3 y Bus Mediano, de los cuales más adelante se recomendarán valores de parámetros geométricos para mini-glorietas.

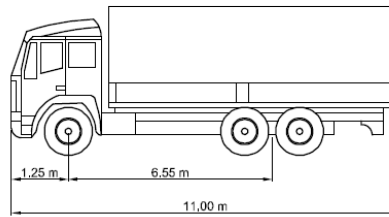
La razón del porque se recomiendan estos dos vehículos de diseño está fundamentada a la suposición de dos situaciones, la primera corresponde a una condición ordinaria y la otra a una condición extraordinaria.

1. Vehículo C3

La situación extraordinaria la podemos definir con el paso del vehículo con más grandes dimensiones que se espera transite por la mini-glorieta el cual se define con base a aforos o estudios de tránsito en el lugar que se realizara el proyecto, normalmente este tipo de vehículos son de tipo articulado y demandan los más grandes requerimientos de giro en el diseño vial, por ejemplo la norma “INVIAS” establece que el vehículo de diseño C3S2 representa a los vehículos articulados C3S2 y C3S3 para el diseño de curvas de giro reducido.

En esta guía no se considera el Vehículo C3S2 ya que este tipo de vehículos articulado no transitan por zonas residenciales o vías urbanas no primarias o locales, por el contrario como se ha explicado anteriormente si se espera una circulación de vehículos de transporte de mercancía y de transporte público, para esta situación extraordinaria se define como más frecuente la circulación de vehículos de transporte de carga o mercancía por lo cual en esta guía se recomienda el uso del vehículo C3, (Ilustración.13) el cual se considera representa las condiciones extraordinarias tanto de vehículos de emergencia como de vehículos proveedores de servicios.

Ilustración 13 Vehículo C3

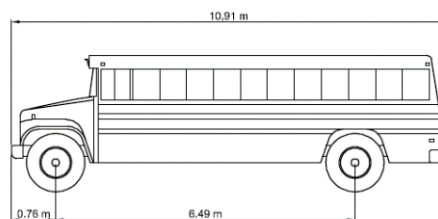


Fuente: Norma INVIAS

2. Vehículo Bus Mediano

La condición normal se evalúa con los vehículos que con más frecuencia circulan por la intersección, las condiciones más típicas de circulación en vías urbanas son los vehículos con menos de cinco toneladas como los automóviles, camionetas y camperos, como se clasifican en la norma INVIAS [23], pero también es común una frecuente circulación diaria de algunos vehículos con más de cinco toneladas como los buses de transporte público, convirtiéndolo en el vehículo que demanda unos mayores requerimientos en el diseño para unas condiciones normales diarias de circulación. Por esta razón en esta guía se recomienda el uso del vehículo Bus mediano pequeño según la nomenclatura nacional (ilustración.14).

Ilustración 14 Vehículo Bus Mediano



Fuente: Norma INVIAS

VI. CRITERIOS DE DISEÑO EN PLANTA Y SECCIÓN TRASVERSAL

A. Accesos

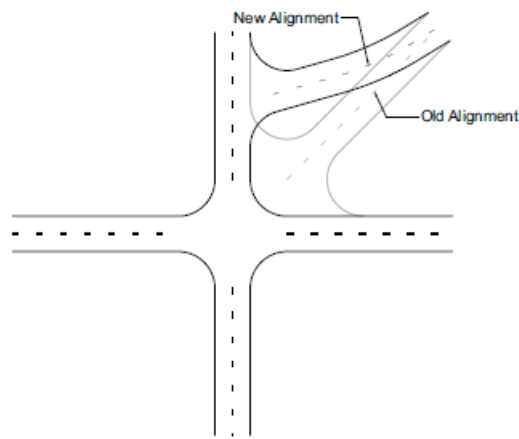
Los accesos están ligados por las condiciones en las que se encuentren o intersecten dos o más tramos viales, por esta razón lo deseable es tener una separación de ángulo equidistante entre los ramales resultantes de la intersección, en donde la condición más idónea es la intersección de 2 vías obteniéndose así 4 ramales en la intersección.

No se justifican glorietas con más de 4 ramales ya que las condiciones de distancias de entrecruzamiento disminuyen, generándose así mayores puntos de conflicto en la glorieta y disminuyendo su capacidad de circulación.

En condiciones donde resulten más de 4 ramales, se hace necesario el generar algunas modificaciones en el diseño en planta de tal manera que:

- Si se tiene una condición de intersección de 5 ramales: Se deberá corregir el diseño de uno de estos brazos de tal manera que los 4 ramales que se intersectan queden con un ángulo lo más equidistante posible entre ellos, y haciendo llegar el ramal corregido al ramal más cercano de la intersección, manteniendo las condiciones de distancia de visibilidad de parada, cruce, entre otras[30]. (Ilustración.15).

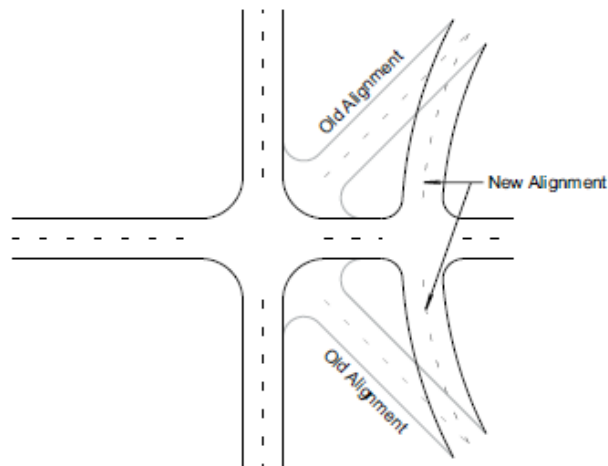
Ilustración 15 Intersección de 5 Ramales.



Fuente: Norma AASHTO

- Si se tiene una condición de intersección de 6 ramales: Se deberá corregir el diseño de dos de estos brazos de tal manera que los 4 ramales que se intersectan queden con un ángulo lo más equidistante posible entre ellos, y haciendo llegar los dos ramales corregidos al ramal más cercano de la intersección generando así dos intersecciones de 4 ramales, manteniendo las condiciones de distancias de visibilidad de parada, cruce, entre otras[30].(Ilustración.16).

Ilustración 16 Intersección de 6 Ramales



Fuente: Norma AASHTO

Se hace necesario el corregir los accesos o ramales en una intersección a nivel ya que cuando se presenta una intersección con múltiples tramos viales, las glorietas son las más apropiadas para dar solución a la intersección[30].

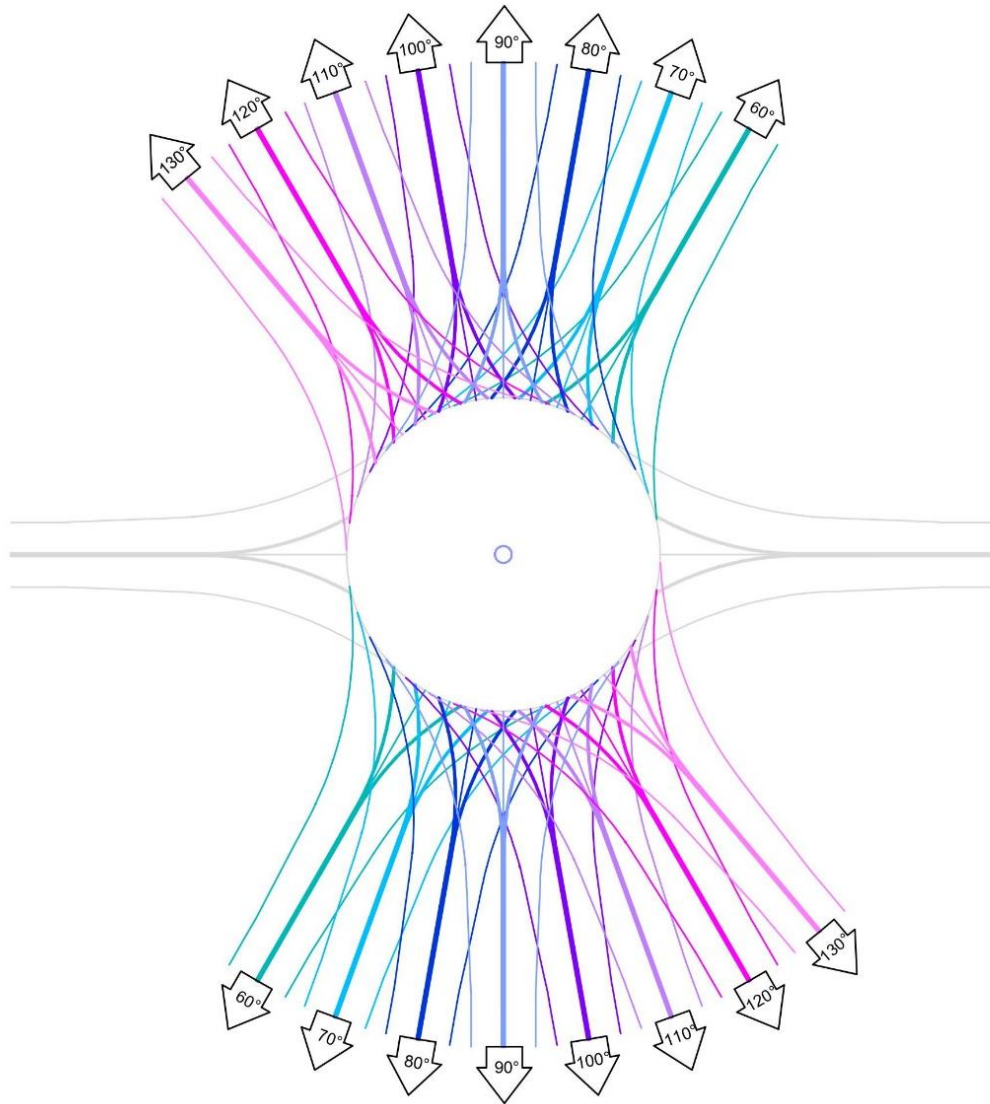
1. Ángulos de entrada y de salida

Las condiciones de ángulos ya sean de entrada o de salida permiten al vehículo ingresar a la intersección de una forma segura, cómoda y deben garantizar una correcta entrada en la trayectoria dependiendo el giro que el vehículo deba dar, de tal forma que las condiciones de ingreso permitan al conductor poder visualizar los vehículos circulantes en la rotonda y a su vez, en la salida visualizar cruces peatonales y vehículos en el ramal de salida.

Para la normativa AASHTO[30] las condiciones de ángulos entre ramales deben ser entre 75° y 105° en una condición ideal, pero para esta guía se establecen condiciones de ángulos más críticas en las que los vehículos que circulen por la mini-glorieta no verán afectada la trayectoria, pudiendo así circular por esta de una forma segura (Tabla.6-9).

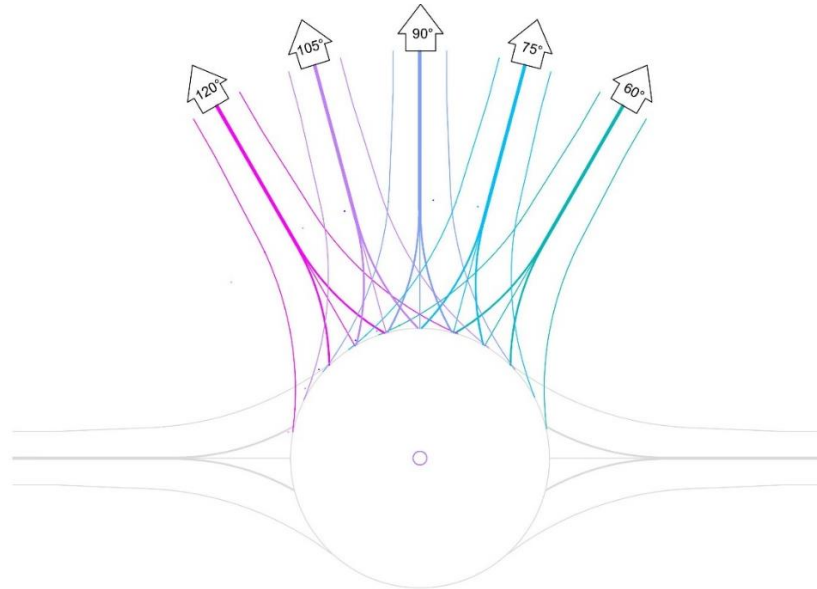
A continuación, se muestran las configuraciones de ángulos posibles para glorietas tanto de 4 ramales como de 3 ramales.

Ilustración 17 Configuración Ángulos con 4 Ramales



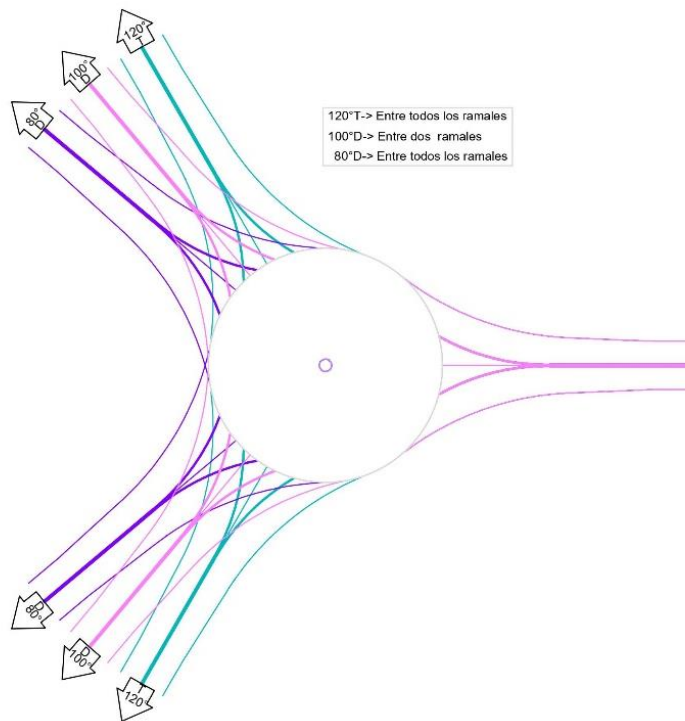
Fuente: Propia

Ilustración 18 Configuración Ángulos con 3 Ramales



Fuente: Propia

Ilustración 19 Configuración Ángulos con 3 ramales



Fuente: Propia

Tabla 6 Ángulos Entre Ramales Recomendados - C3 – 4 Ramales.

Vehículo C3 - Mini-glorietas 4 ramales	
Diámetro inscrito	Angulo entre ramales
32 m - 29 m	60°-130° *
28 m	60°-130° *
27 m	70°-130° *
(*) Recomendaciones ángulos de entrada y se salida	

Fuente: Propia

Tabla 7 Ángulos Entre Ramales Recomendadas – Bus – 4 Ramales.

Vehículo Bus mediano - Mini-glorietas 4 ramales	
Diámetro inscrito	Angulo entre ramales
32 m - 29 m	60°-130°
28 m – 23 m	60°-130° *
<=26 m	NA
(*) Recomendaciones ángulos de entrada y se salida	

Fuente: Propia

Tabla 8 Ángulos Entre Ramales Recomendados - C3 - 3 Ramales

Vehículo C3 - Mini-glorietas 3 ramales	
Diámetro inscrito	Angulo entre ramales
32 m - 28 m	60°-120° *
	80°D, 100°D, 120-T°
<=27m	NA
(*) Recomendaciones ángulos de entrada y se salida	

Fuente: Propia

Tabla 9 Ángulos Entre Ramales Recomendados - Bus - 3 Ramales

Vehículo Bus mediano - Mini-glorietas 3 ramales	
Diámetro inscrito	Angulo entre ramales
32 m - 31 m	60°-120° * 80°D, 100°D,120°T
30 m – 27 m	60°-120° ** 80°D, 100°D,120°T
<=26m	---

(*) Recomendaciones ángulos de entrada y se salida

Fuente: Propia

2. *Recomendaciones en ángulos de entrada y salida*

* Para ángulos entre ramales menores de 60° se recomienda usar alternativas como: el uso de un carril o salida para que en el giro a la derecha el vehículo no tenga que entrar a la glorieta, sino que use esta salida para realizar la trayectoria o usar un sobre-ancho externo para cumplir el giro, siempre y cuando el espacio del proyecto lo permita.

** Para ángulos entre ramales menores de 70° se recomienda usar alternativas como: el uso de un carril o salida para que en el giro a la derecha el vehículo no tenga que entrar a la glorieta, sino que use esta salida para realizar la trayectoria o usar un sobre-ancho externo para cumplir el giro, siempre y cuando el espacio del proyecto lo permita.

B. Velocidad del Proyecto en Mini-glorietas

1. Velocidad de diseño

Una de las condiciones iniciales a establecer en una intersección es la velocidad de circulación que tendrá, pero este factor dependerá de las condiciones en las que se encuentre la intersección, ya que se debe garantizar que todos los vehículos que circulen por la glorieta mantengan una velocidad uniforme desde el ingreso de la glorieta, durante todo el paso en esta y hasta la salida. Por ende, la velocidad de proyecto se debe fijar inicialmente y a ella deben ajustarse todos los elementos de proyecto, para lograr uniformidad.[20]

Para establecer la velocidad en la glorieta, se debe tener en cuenta la velocidad de las vías que se intersectan, ya que si son velocidades muy altas se debe generar una condición en la que el conductor perciba la glorieta como un obstáculo, para así poder reducir la velocidad y que el vehículo ingrese a la glorieta con la velocidad esperada. En zonas urbanas se diseñan las vías a velocidades bajas en condiciones menores a 40 Km/h[30], por esta razón la aplicación de mini-glorietas es muy común en estas zonas, ya que su implementación se hace en zonas de poco espacio y por esto mismo se debe asegurar que las velocidades sean bajas para garantizar la seguridad y correcta operación.

Se establece un valor de velocidad para mini-glorietas de 20 Km/h a 30Km/h, teniendo en cuenta que la implementación de este tipo de intersección pretende la disminución de la velocidad en un valor máximo de 10 Km/h con respecto a la velocidad que se tiene en el ramal de entrada, es decir, que su implementación se realizara en vías que tengan una velocidad máxima de 40 Km/h[30].

Se debe garantizar que los anchos de entrecruzamiento o el ancho de carril sea el adecuado con base al tránsito esperado y al vehículo de diseño, ya que, el sobre dimensionar la glorieta permite al conductor de vehículos livianos aumentar la velocidad en la circulación por la intersección.

La disminución de la velocidad en el ingreso a la intersección deberá regularse con el uso de señalización vertical, señalización horizontal y otros dispositivos dependiendo las condiciones, como lo puede ser: el uso de reductores de velocidad (visuales y/o auditivos), semáforos, entre otros.

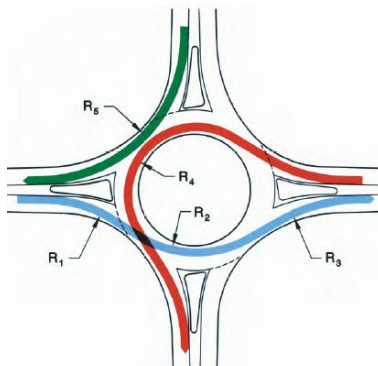
2. *Chequeo de trayectoria más rápida*

Se debe realizar una chequeo de la trayectoria o recorrido más rápido permitida por la geometría de la glorieta, para movimientos a la entrada, a través y a la salida de la glorieta, según “NCRHP 672” [31]. Es el camino más suave y plano posible para un solo vehículo, en ausencia de tránsito e ignorando las marcas de los carriles. Esta trayectoria más rápida se traza para un vehículo que atraviesa la entrada, rodea la isla central y sale por el ramal de salida correspondiente, deben trazarse tantas rutas rápidas como tipos de movimientos hayan.

Las metodologías de la ruta más rápida no representan las velocidades esperadas del vehículo, sino velocidades teóricamente alcanzables para fines de diseño, y esto es así ya que las velocidades reales pueden variar sustancialmente según factores como la capacidad de conducción del usuario, y tolerancia a las fuerzas de la gravedad entre otros [31].

A continuación, se ilustran las rutas rápidas a evaluar:

Ilustración 20 Evaluaciones de rutas rápidas



Fuente: NCRHP Reporte 672, Performance checks

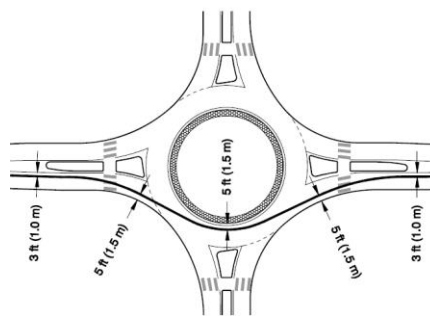
Donde:

- R1: es el radio de la ruta de entrada, representa el radio mínimo en el camino más rápido antes de la línea de entrada.
- R2: es el radio de la trayectoria de circulación, representa el mínimo radio en el camino más rápido alrededor de la isla central.
- R3: es el radio de la trayectoria de salida, representa el mínimo radio en el camino más rápido en la salida.
- R4: es el radio de trayectoria de giro a la izquierda, representa el radio mínimo de la trayectoria de giro a la izquierda.
- R5: es el radio de trayectoria de giro a la derecha, representa el radio mínimo del camino más rápido de giro a la derecha.

a) Construcción de las rutas rápidas

La velocidad de diseño se la rotonda se determina a partir del radio mínimo a lo largo de la ruta más rápida, el radio más pequeño generalmente ocurre en la calzada a circulatoria cuando el vehículo gira a la izquierda alrededor de la isla central, para el trazado de la ruta más rápida se asume que el vehículo tiene 2 m (6 ft) de ancho y mantiene un espacio libre mínimo de 0.5 m (2 ft), para esto la línea central de la ruta del vehículo se dibuja a 1.5 m (5ft) del borde de la glorieta, y a 1 m (3 ft) desde una línea de borde pintada [31].

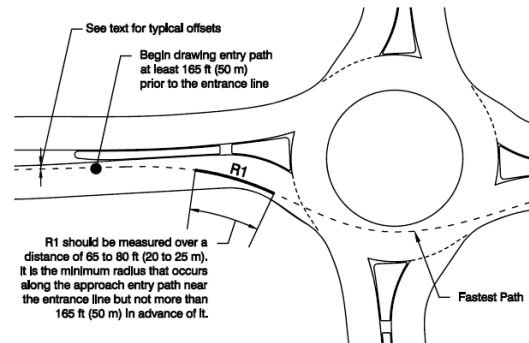
Ilustración 21 Construcción de la ruta rápida en glorieta de un solo carril



Fuente: NCRHP Reporte 672, Performance checks

Además, la construcción del camino más rápido debe iniciar al menos 50 m (165 ft) antes de la línea de entrada.

Ilustración 22 Construcción de la ruta rápida y radio mínimo



Fuente: NCRHP Reporte 672, Performance checks

b) Estimación de la velocidad del vehículo

La AASHTO “Green Book” [27] plantea una relación entre la velocidad de desplazamiento y la curvatura horizontal, teniendo en cuenta algunos factores externos que afectan la velocidad como el rozamiento con la superficie de rodadura como el peralte, teniendo en cuenta el peralte más común como lo son +0.02 y -0.02 mediante las siguientes expresiones:

$$V = 3.4415R^{0.3861} \text{ para } e = +0.02$$

$$V = 3.4614R^{0.3673} \text{ para } e = -0.02$$

Donde:

V = velocidad prevista (mph)

R = radio de curva (ft)

E = peralte transversal (ft/ft)

C. Trayectorias de Giro a Evaluar en Mini-glorietas

Aunque más adelante en esta guía se presentan unas tablas de diseño donde ya se ha realizado la evaluación de trayectorias para glorietas de tres y cuatro ramales para vehículos C3 y Bus mediano con diferentes configuraciones geométricas, en este apartado se realiza una pequeña definición de las trayectorias a evaluar y metodología recomendada para que el diseñador pueda aplicar en caso que el vehículo de diseño sea diferente.

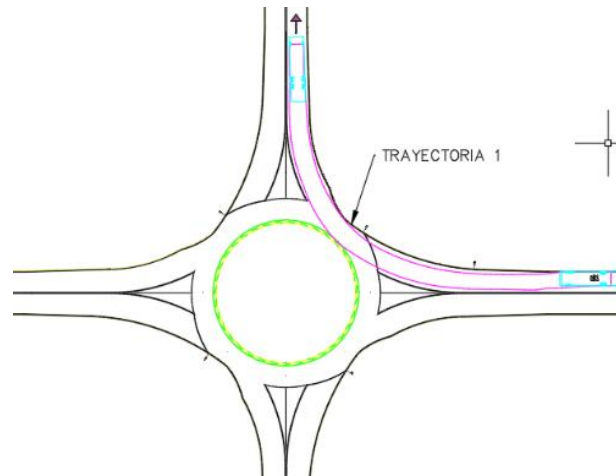
Como se ha mencionado en la metodología se debe evaluar el área de barrido que deja el vehículo de diseño al hacer una maniobra dentro de la rotonda, estas maniobras se conocen como trayectorias de giro y representan los posibles giros que podría realizar el vehículo de diseño, es importante evaluarlas ya que de esta manera verificamos que el vehículo no usa espacios no transitables al realizar la trayectoria, una vez validadas para el vehículo de diseño se comprueba que los parámetros geométricos propuestos para el diseño de la mini-glorieta satisfacen las solicitudes.

A continuación, se describirán las trayectorias a evaluar en glorietas tanto de 4 ramales como de 3 ramales con base a normativas como la NCRHP [32] y Guía de Nudos Varios (España) [21].

1. Glorieta con cuatro ramales

- El ramal de entrada se encuentra consecutivo al ramal de salida.

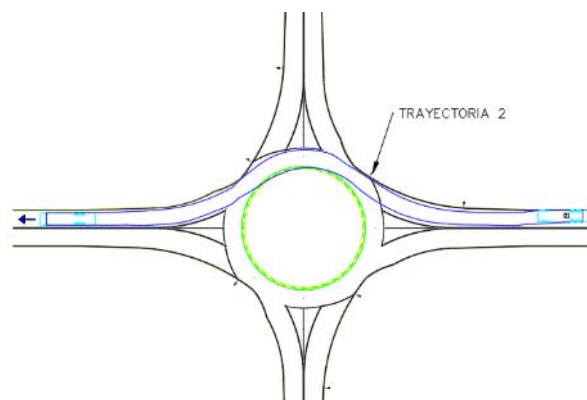
Ilustración 23 Trayectoria 1 Glorieta de 4 Ramales



Fuente: Propia

- El ramal de salida está a dos brazos del ramal de entrada para el caso de glorietas de 4 brazos.

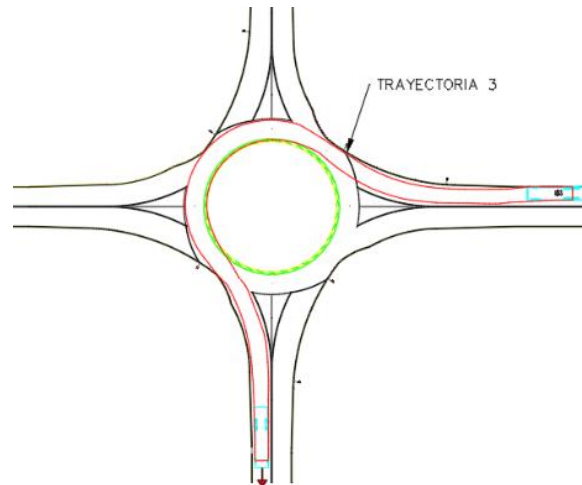
Ilustración 24 Trayectoria 2 Glorieta de 4 Ramales



Fuente: Propia

- El ramal de salida es consecutivo con el ramal de entrada, es decir el tercer brazo desde el ramal de entrada para el caso de glorietas de 4 ramales.

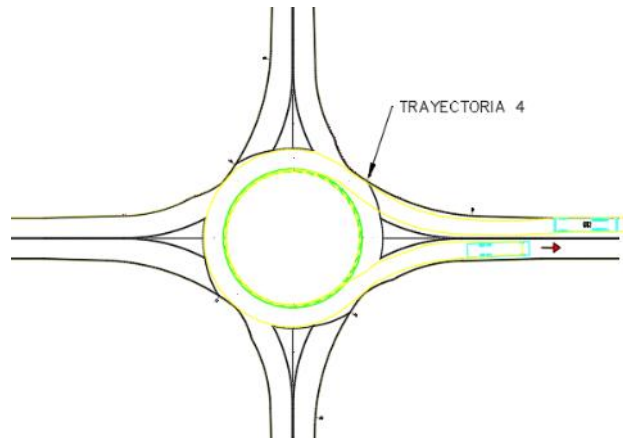
Ilustración 25 Trayectoria 3 Glorieta de 4 Ramales



Fuente: Propia

- Giro donde el ramal de entrada es el mismo que de salida, dando todo el giro a la glorieta.

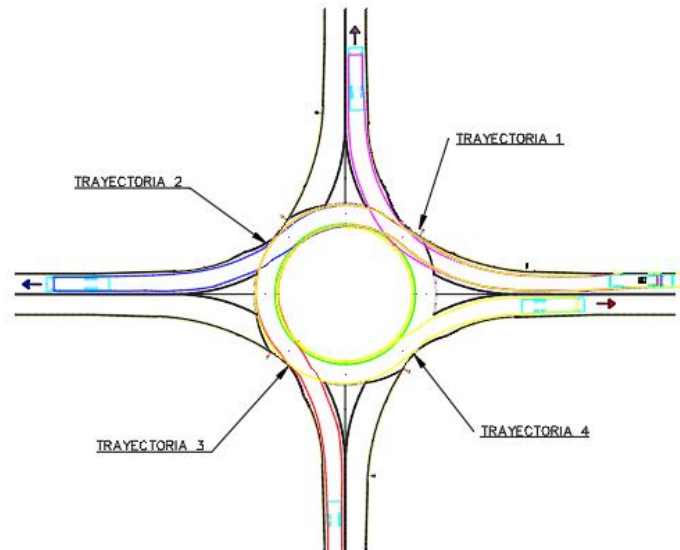
Ilustración 26 Trayectoria 4 Glorieta de 4 Ramales



Fuente: Propia

A continuación, se muestra el resumen de las trayectorias evaluadas para glorietas de 4 ramales:

Ilustración 27 Trayectorias Evaluadas en Glorietas de 4 Ramales



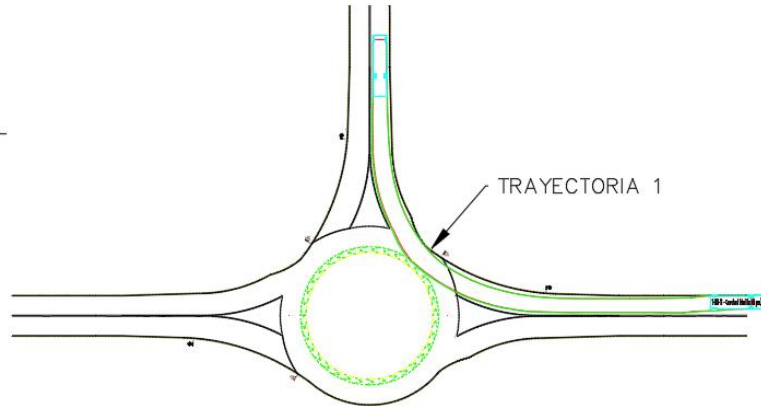
Fuente: Propia

2. *Glorieta con tres ramales*

Para las glorietas de 3 ramales se presentan algunas trayectorias similares a las presentadas para mini-glorietas de 4 ramales; donde se eligen para el trazado de las simulaciones el uso de las cuatro trayectorias las cuales se representan gráficamente a continuación:

- Giro en el que el ramal de entrada se encuentra consecutivo al ramal de salida.

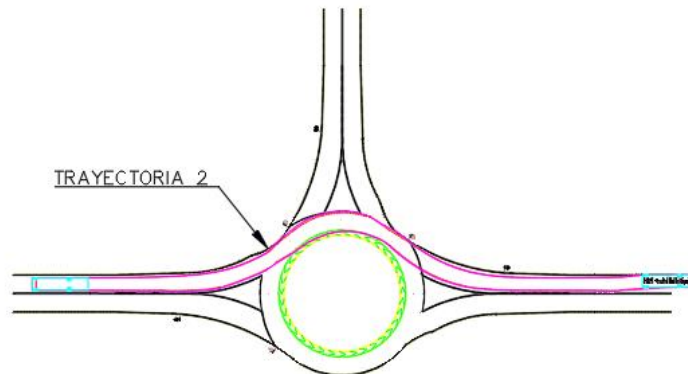
Ilustración 28 Trayectoria 1 Glorieta de 3 Ramales



Fuente: Propia

- El ramal de salida está a dos brazos del ramal de entrada, es decir, cuando se tiene un ramal entre el ramal de entrada y el ramal de salida.

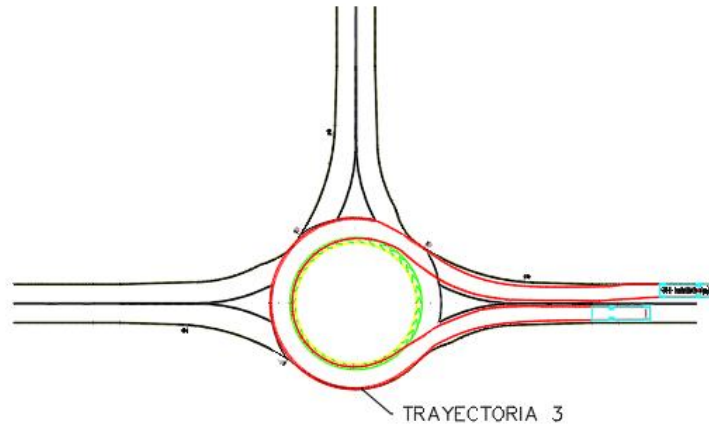
Ilustración 29 Trayectoria 2 Glorieta de 3 Ramales



Fuente: Propia

- Giro en el que el ramal de salida es el mismo que el ramal de entrada, dando el giro tipo U en la glorieta.

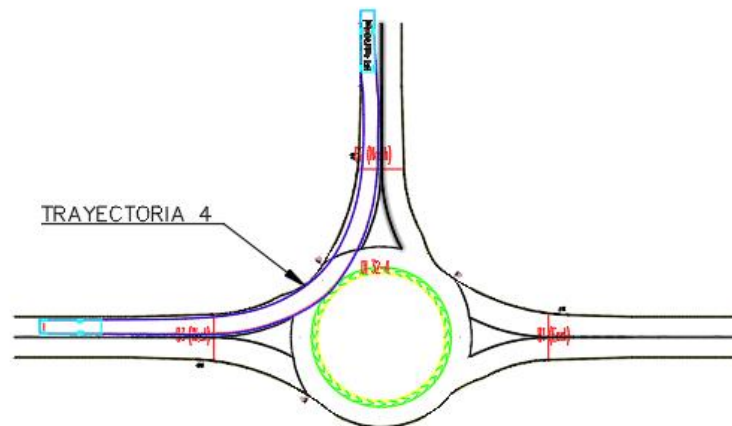
Ilustración 30 Trayectoria 3 Glorieta de 3 Ramales



Fuente: Propia

- Giro en el que el ramal de entrada se encuentra consecutivo al ramal de salida, es similar a la trayectoria 1 en las glorietas con ángulos entre ramales de $90^\circ - 120^\circ$, pero en los demás ángulos esta trayectoria varía en especial en los ángulos entre ramales de 80° y 100° medidos entre el ramal 2 y el ramal 3.

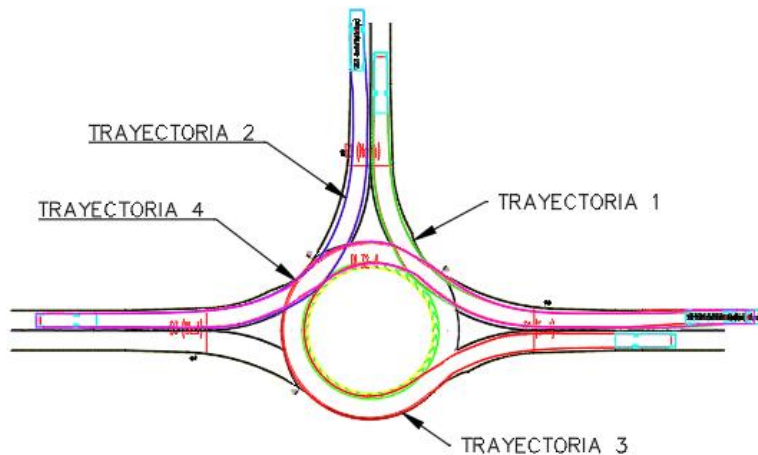
Ilustración 31 Trayectoria 4 Glorieta de 3 Ramales



Fuente: Propia

A continuación, se muestra el resumen de las trayectorias evaluadas para glorietas de 3 ramales:

Ilustración 32 Trayectorias Evaluadas en Glorietas de 3 Ramales



Fuente: Propia

3. *Software recomendado para simulaciones*

El modelado de estas trayectorias actualmente se puede llegar a realizar mediante el uso de software, en esta guía se recomienda el software “Vehicle Tracking For Roundabout Analysis” el cual se recomienda con base a cuatro criterios, el primero se basa en la fiabilidad y estado actual del uso del software en proyectos de investigación, el segundo criterio se basa en su uso o manejabilidad, el tercero se enfoca en la normativa de referencia y por último su aplicabilidad y uso a nivel nacional.

VeTRA “Vehicle Tracking for Roundabout Analysis” es un software de evaluación de trayectorias de giro de la familia AUTODESK que ha demostrado tener resultados muy eficientes comparándolos mediante procesamiento de imágenes y medidas reales en campo. [12] Como se demostró también en una investigación en glorietas de Croacia para la implementación del software para el diseño de turbo glorietas, mediante pasos muy sencillos como la elección vehículo de diseño, pre diseño de la geometría, barrido de trayectoria en el

programa y diseño de los elementos con base a la huella de la trayectoria en el programa [33], investigación que obtuvo muy bajas diferencias entre los resultados del software y datos tomados en campo.

A demás de la fiabilidad que dejan las investigaciones respecto al programa Vehicle Tracking, el software se destaca por su eficiencia en el manejo, creación de glorietas, elección del vehículo y trazado de las trayectorias, mejorando la productividad, ya que se puede establecer un modelo de flujo desde la creación de la glorieta hasta la corrida de la modelación disminuyendo la probabilidad de errores en caso de que sea una gran cantidad de configuraciones a evaluar.

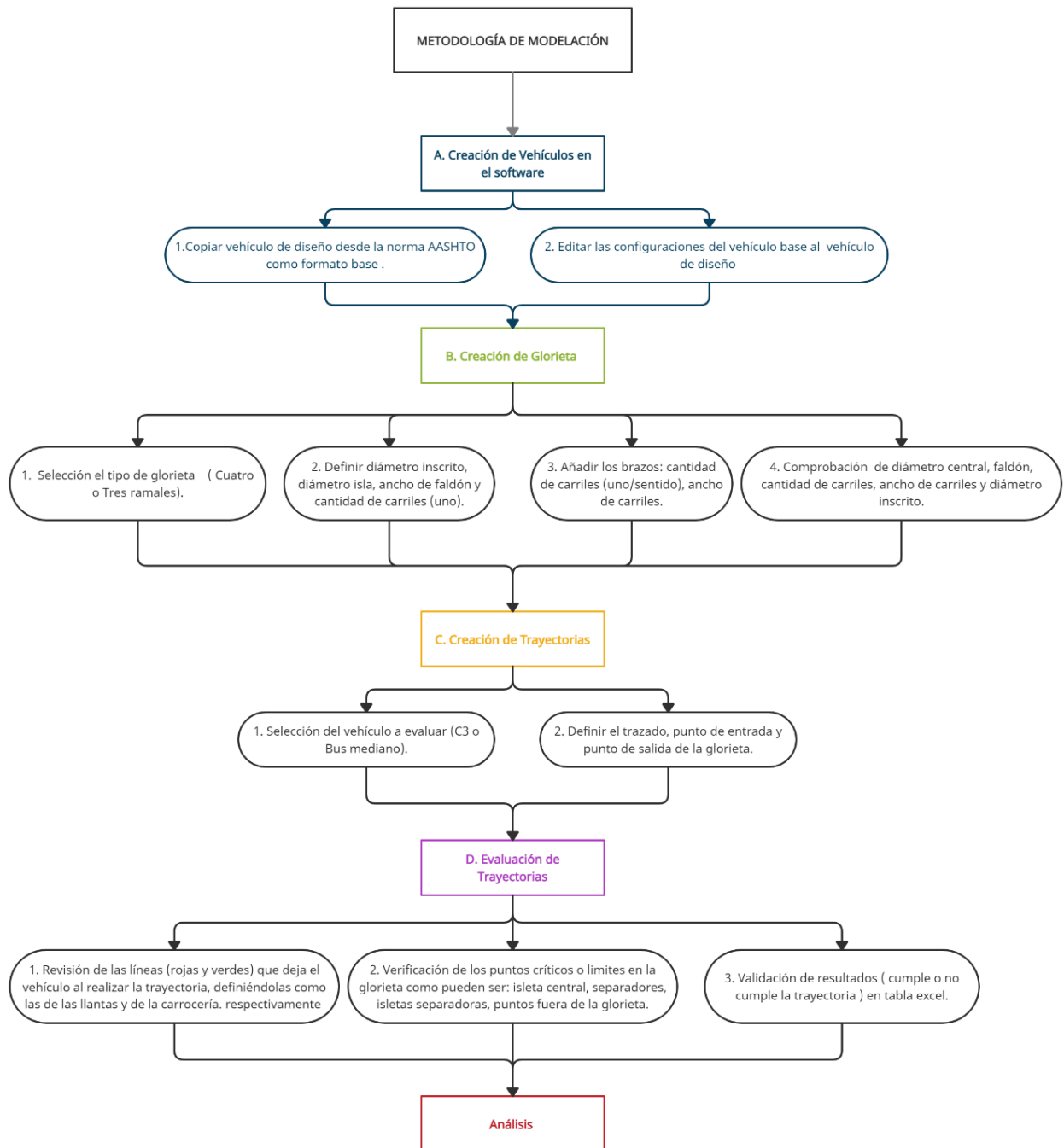
El programa pertenece a la compañía Autodesk.inc que se dedica a creación de software para uso en industrias de infraestructura, en este caso en específico con aplicación vial, al ser una compañía de Estados Unidos dentro de su normativa de referencia contempla la AASHTO, norma con la cual Colombia comparte en su gran mayoría criterios de diseño, lo cual resulta favorable para cualquier proyecto, un ejemplo de esto es la facilidad de editar solo algunos parámetros de los vehículos con base a vehículos predeterminados del programa, ya que sus diferencias son muy pocas.

Por último, es un software que resulta compatible con la interfaz de programas cotidianamente usados por ingenieros en Colombia y en América, el programa Vehicle tracking cumple con esta condición al pertenecer a la familia Autodesk y trabajando como una extensión del programa civil 3d, software que es conocido y enseñado desde las universidades

4. *Flujo de trabajo recomendado para el modelamiento de trayectorias*

En esta guía también se recomienda un flujo de trabajo practico para el modelado y evaluación de trayectorias en el software “Vehicle Tracking For Roundabouts Analysis “.

Ilustración 33 Metodología de Modelación de Trayectorias Recomendada

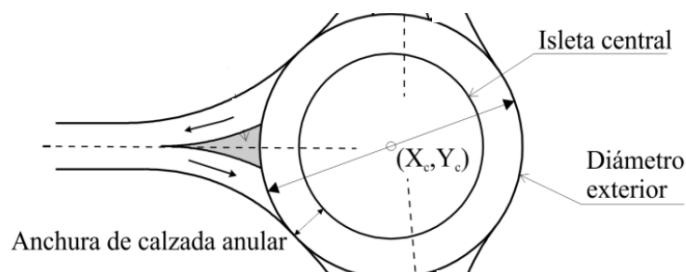


Fuente: Propia

D. Diámetro Inscrito

Es el diámetro del borde exterior que define la calzada anular. Con formas circulares se puede determinar como la suma de las dimensiones de la isleta central y dos veces la anchura de la calzada anular.

Ilustración 34 Diámetro Inscrito



Fuente: NCRHP 572 [32]

A continuación, se muestran los diámetros recomendados para mini-glorietas tanto para vehículo C3 como para vehículo Bus mediano:

Tabla 10 Diámetros de Círculo Inscrito Recomendados

Diámetros de círculo inscrito recomendados	
Vehículo C3	Vehículo Bus Mediano
	32 m
	31 m
32 m	30 m
31 m	29 m
30 m	28 m
29 m	27 m
28 m	26 m
27 m	25 m
	24 m
	23 m

Fuente: Propia

1. *Recomendaciones para diámetro inscrito*

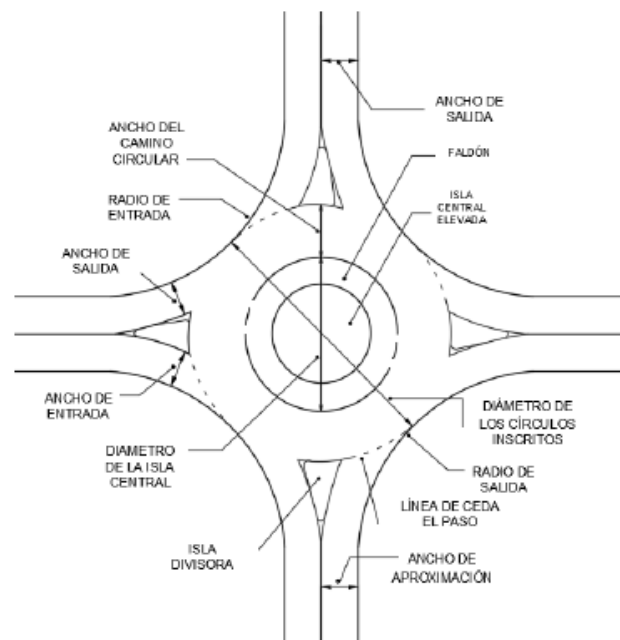
- Se recomienda un diámetro máximo de 32 m en el diseño de mini-glorietas, aunque este solo se debe usar en lugares donde el espacio lo permita y consideraciones propias del proyecto, ya que, a un mayor diámetro mayores son los recursos a usar.
- Para vehículo C3 se recomienda un diámetro mínimo de 27 m, valores inferiores generan dificultades al vehículo para desarrollar sus trayectorias adecuadamente.
- Para vehículo Bus Mediano se recomienda un diámetro mínimo de 23 m, valores inferiores genera dificultades al vehículo para desarrollar sus trayectorias adecuadamente.
- En situaciones donde el espacio requiera una glorieta de menor tamaño de los valores aquí recomendados, se sugiere optar por configuraciones diferentes como por ejemplo una isla central totalmente transitable donde se garantice el cumplimiento de las trayectorias de giro, de no ser así se sugiere pensar en otro tipo de intersección.
- A medida que disminuye el diámetro de círculo inscrito se dificulta el cumplimiento de algunas trayectorias para ángulos de inserción o de salida muy cerrado como de 60°, 70, 120° y 130°.

E. Anchos de Carril y Longitud de Entrecruzamiento

El ancho de carril hace referencia al espacio destinado para la circulación del vehículo, la longitud de entrecruzamiento hace referencia al espacio entre el borde exterior del diámetro de isleta central y el borde interior del diámetro inscrito medidos de forma perpendicular sin pasar uno sobre otro, este espacio es la suma de los anchos de carriles que se tengan más el ancho de faldón.

Además, la longitud y el ancho de la zona de entrecruzamiento definen la capacidad del tramo y la facilidad de maniobra para los vehículos[20].

Ilustración 35 Partes en una Glorieta.



Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras

A continuación, se muestran los anchos de carril recomendados para la circulación dentro de las mini-glorietas:

Tabla 11 Anchos de carril recomendados.

Anchos de carril recomendados	
Vehículo C3	Vehículo Bus Mediano
3.3 m	3 m
3.5 m	3.3 m
3.65 m	3.5 m
4 m	3.65 m
	4 m

Fuente: Propia

Se presentan valores de ancho de carril para los dos vehículos de diseños recomendados en esta guía, debido a que el C3 es más largo que el Bus necesita un ancho de carril de 3.3 m mientras que para el Bus un ancho de carril de 3 m como mínimo, pero se recomienda que siempre se utilice un faldón montable para condiciones en las que un vehículo más grande necesite el paso por la rotonda.

1. Anchos de carril entrada y salida

Para mini-glorietas se establecen valores de ancho de carril con base a la comparación bibliográfica entre la normativa de España, Estados Unidos y Colombia, los cuales se muestran a continuación (Tabla.12):

Tabla 12 Anchos de carril de entrada y salida recomendados.

Anchos de carril de entrada y salida recomendados
4.2 m – 6.2 m

Fuente: Propia

Los anchos de entrada y salida establecidos están en el rango entre 4.2 m y 6.2 m en intersecciones donde solo se tenga un carril de entrada y un carril de salida, como lo es para

el caso de mini-glorietas. En esta guía se recomienda un ancho de carril de entrada de 4m a 4.5m.

2. *Longitud de Entrecruzamiento*

Para la longitud de entrecruzamiento se establecieron valores correspondientes a la suma de los anchos de carril de circulación establecidos previamente y el faldón montable, obteniéndose así:

Tabla 13 Longitud de entrecruzamiento recomendada.

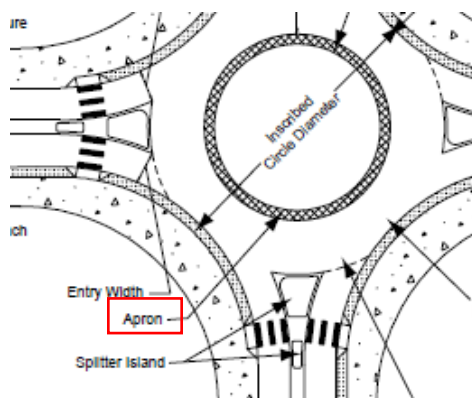
Anchos de carril recomendados
Vehículo C3 - Vehículo Bus Mediano
3.5 m – 6 m

Fuente: Propia

F. *Faldón Montable*

En mini-glorietas y glorietas compactas debido a sus dimensiones tan reducidas y con el fin de garantizar el paso de vehículos en condiciones extraordinarias de circulación, se recomienda el uso de un faldón o paso montable que funciona como un sobre ancho, este estará ubicado rodeando la parte externa de la isla central.

Ilustración 36 Ejemplo Uso de Faldón Montable



Fuente: AASHTO

A continuación, se muestran algunas recomendaciones geométricas para su diseño:

Tabla 14 Valores Geométricos Recomendados para Faldón Montable

Elevación sobre calzada anular	Anchos Recomendados (m)
A nivel ** 5 cm	0.5 – 1 – 1.5 – 2

** Recomendaciones

Fuente: Propia

1. Recomendaciones para faldón montable

- Cuando se deje el faldón al mismo nivel de la calzada anular, este puede ser del mismo material del carril, pero debe ser pintado de un color diferente, o un cambio en su textura, esto con el fin de evitar que los vehículos livianos intenten hacer uso de este.
- Cuando quede en una elevación diferente al carril de circulación, se debe construir en un material completamente transitable y con la capacidad estructural de soportar la carga por el vehículo de diseño.
- No se deben colocar señales de tránsito o cualquier otro obstáculo dentro del faldón montable que pudiese llegar a interferir con la circulación de los vehículos.
- A partir de 2 metros de ancho de faldón esta guía no recomienda aumentar más este parámetro, ya que, desde estas condiciones para vehículos de diseño como lo son el rígido (C3) y el Bus mediano no se necesita más espacio, sin embargo, para condiciones de vehículos más grandes como lo pueden ser los de tipo articulado las consideraciones de ancho de faldón quedaran a criterio del ingeniero a cargo del diseño del proyecto.

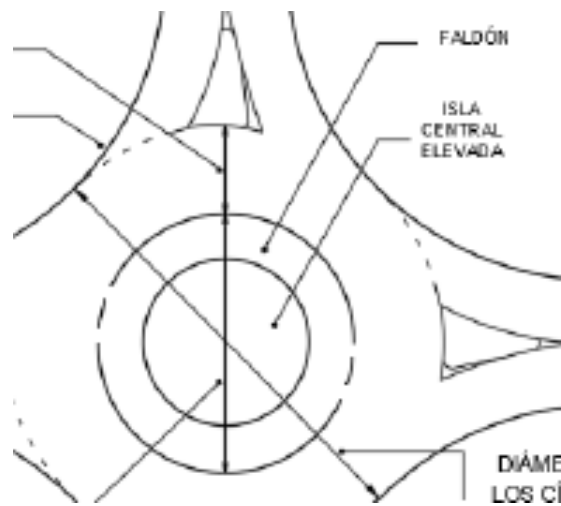
G. Isleta central

Para las glorietas la isleta central hace referencia a la parte circular que se encuentra en el centro de la intersección, se recomienda que la dimensión del diámetro de esta isleta se modifique con base al diámetro inscrito que tenga la rotonda, es decir:

$$Isleta\ Central = \varnothing\ Inscrito - 2 * Ancho\ de\ carril - 2 * Faldòn$$

Las condiciones de isleta central se obtendrán utilizando la formula descrita de tal manera que siempre quedara a consideración del ingeniero cada uno de los valores, según determine para el ancho de carril, el faldón montable y el diámetro inscrito.

Ilustración 37 Isleta central.



Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras

1. Recomendaciones para isleta central.

- Algunas consideraciones de construcción permiten establecer que la isleta central se haga al nivel de la superficie del pavimento, de tal manera que esta se demarcara únicamente mediante señalización horizontal.
- En glorietas más grandes se podrá dejar la isleta a una elevación diferente de al menos 15cm de altura medidos desde la superficie del pavimento, ya sea del carril o del faldón.
- Cuando se tenga una isleta central elevada, esta se debe construir en otro material, ya que como no se usará para la circulación de los vehículos se puede prescindir de una superficie de pavimento, esta consideración principalmente por el aspecto económico que genera el usar el mismo material de la zona destinada para el tránsito de los vehículos.
- En la isleta central se recomienda que entre más pequeña sea esta, no se construyan o pongan elementos que impidan o disminuyan la visibilidad, ya que esto incurriría en problemas de seguridad.

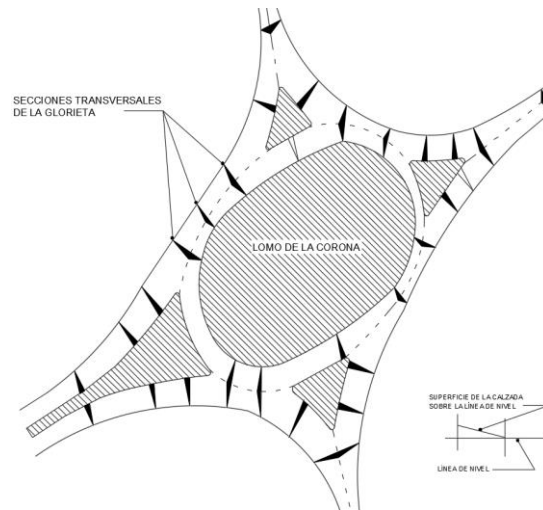
H. Peralte

En zonas urbanas las condiciones de peralte recomendadas no deben exceder el 4%, este valor de peralte se puede establecer ya que en estas vías las velocidades son bajas, por lo cual las condiciones de pendiente transversal generalmente se diseñan para evitar condiciones de “hidroplaneo”, el deterioro del pavimento por acumulación de aguas y así mejorando la seguridad en la vía. Es decir, poder así garantizar condiciones de bombeo normal, estableciendo así un valor mínimo de peralte del 2% [27].

Para condiciones de entrada y salida a la mini-glorieta se debe establecer un valor de peralte que permita al conductor entrar a la intersección de forma segura, por esta razón el conductor debe ver la glorieta como un obstáculo de tal manera que disminuya su velocidad a la de diseño de la intersección y poder así establecer un valor de peralte entre el 2% y el 4% [27], esta condición dependerá de la transición de peralte, el empalme entre el carril y el anillo central que establezca el diseñador y las condiciones de la zona para permitir el bombeo normal. Ya que, si es una zona de altas lluvias se necesitará la circulación del agua de una manera más rápida que si es una zona poco lluviosa.

En una glorieta a nivel o a desnivel, donde la prioridad de circulación la tienen los vehículos circulantes en el anillo, los peraltes se establecen por la necesidad de mantener estable la marcha del vehículo en la curva, a pesar de que en mini-glorietas la velocidad en que se opera suelen ser bajas (30 Km/h o menos), es necesario proveer de una pendiente trasversal para contrarrestar las fuerzas centrífugas que podrían generarse. Para glorietas de dos o más carriles se recomienda disponer un peralte hacia el interior, con un máximo de 2%, en los 2/3 o 1/2 del carril en la calzada anular, y en el 1/3 o 1/2 restante uno cercano al 3%, sin excederlo [28].

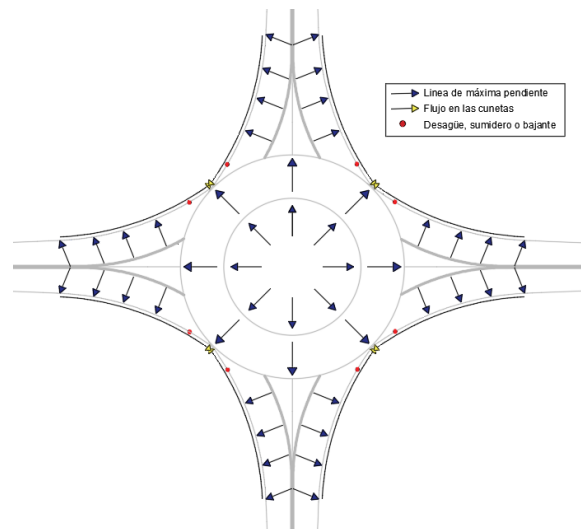
Ilustración 38 peralte recomendado en glorietas de 2 o más carriles.



Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras

Cuando se tenga en la glorieta un solo carril se recomienda que el bombeo se haga hacia la parte exterior en la glorieta, es decir desde la isleta central hacia la parte exterior de los carriles en cada ramal, generando así un punto de empalme entre el carril de entrada y de salida más cómodo y evitando la condición de salto que se puede tener.

Ilustración 39 peralte recomendado en glorietas de 1 carril o mini-glorietas



Fuente: Propia

Otra recomendación es que zonas como isleta central (cuando esta no sea del mismo material que los carriles), isletas canalizadoras, separadores, andenes, entre otros, siendo zonas donde no circulan los vehículos deben analizarse de tal manera que no generen puntos de acumulación de agua y tratando de eliminarla ya sea con sumideros, entre otras obras de tal manera que esta no genere más flujo hacia los carriles y se pueda garantizar que el agua se recoja antes de la entrada a la intersección.

VII. TÉCNICA DE DEFINICIÓN DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

Mediante investigación previa al desarrollo de esta guía se establecieron unas tablas que le servirán al diseñador para seleccionar en función del diámetro inscrito, número de ramales y ángulos de entrada los rangos de carriles y faldones, esto con el fin de facilitar al diseñador la iteración al momento de encontrar la geometría que satisfaga las solicitudes tanto de trayectorias como de espacio.

A continuación, se muestran las tablas para dos vehículos de diseño que son C3 y Bus mediano.

A. Para mini-glorietas con cuatro ramales

1. Vehículo C3

Tabla 15 Diámetro inscrito de 32m, 31m – C3 – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
70°-80°-90°-100°-110°-120°-130°	0.5	4**	1-2-3-4
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

*Remitirse a recomendación 1

** Remitirse a recomendación 2

Fuente: Propia

Tabla 16 Diámetro inscrito de 30m – C3 – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
70°-80°-90°-100°	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
110° - 120° -130°	0.5	4**	1-2-3-4
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

* Remitirse a recomendación 1.

** Remitirse a recomendación 2.

Fuente: Propia

Tabla 17 Diámetro inscrito de 29m– C3 – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°	1	(3.5 - 3.65 -4)	2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
70°-80°-90°-100°-110°- 120°-130°	1	(3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

*Remitirse a recomendación 1

Fuente: Propia

Tabla 18 Diámetro inscrito de 28m – C3 – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60° -70*	1	(3.5 - 3.65 -4)	2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
80°-90°-100°-110°-120°- 130°	1	(3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

* Remitirse a recomendación 1

Fuente: Propia

Tabla 19 Diámetro inscrito de 27m– C3 – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°		***	
70	1	(3.5 - 3.65 -4)	2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
80°-90°-100°-110°-120°- 130°	1	(3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

* Remitirse a recomendación 1

*** Remitirse a recomendación 3

Fuente: Propia

Tabla 20 Diámetro inscrito de 26m, 25m, 24m – C3 – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°-70°-90°-100°-110°- 120°-130°		***	

*** Remitirse a recomendación 3

Fuente: Propia

2. *Bus pequeño*

Tabla 21 Diámetro inscrito de 32m, 31m- Bus – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60° - 70°-80°-90°-100°- 110°	0.5	4**	1-2-3-4
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
120°-130°	0.5	4**	1-2-3-4
	1		
	1.5	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2		
	2.5		

** Remitirse a recomendación 2

Fuente: Propia

Tabla 22 Diámetro inscrito de 30m - Bus – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°- 70°-80°-90°-100°- 110°-120°-130°	0.5	4**	1-2-3-4
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

** Remitirse a recomendación 2

Fuente: Propia

Tabla 23 Diámetro inscrito de 29m - Bus – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°- 70°-80°-90°-100°	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
110°- 120°-130°	0.5	4**	1-2-3-4
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

** Remitirse a recomendaciones 2

Fuente: Propia

Tabla 24 Diámetro inscrito de 28m, 27m, 26 m - Bus – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°	1	(3.5 - 3.65 -4)	2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
70°-80°-90°-100°-110°- 120°-130°	1	(3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

* Remitirse a recomendación 1

Fuente: Propia

Tabla 25 Diámetro inscrito de 25m - Bus – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°	1	(3.65 -4)	2-3-4*
	1.5	(3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
70°-80°-90°-100°-110°- 120°-130°	1	(3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5	(3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

* Remitirse a recomendaciones 1

Fuente: Propia

Tabla 26 Diámetro inscrito de 24m, 23m - Bus – 4 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°	1	4	2-3-4*
	1.5	(3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
70°-80°-90°-100°-110°- 120°-130°	1	4	1-2-3-4
	1.5	(3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

* Remitirse a recomendaciones 1

Fuente: Propia

B. Para mini-glorietas con tres ramales

1. Vehículo C3

Tabla 27 Diámetro inscrito de 32m – C3 – 3 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
120°T - 75°- 90°-105°- 100°D	0.5	(4)	1-2-3-4
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
80°D	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
60° - 120°	0.5	(4) **	1*-2-3-4*
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

*Remitirse a recomendación 1

**Remitirse a recomendación 2

Fuente: Propia

Tabla 28 Diámetro inscrito de 31m – C3 – 3 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
120°T - 75°- 80°D	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
	0.5	(4)**	
90° - 100°D- 105°	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	0.5	(4)**	
60° - 120°	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	1*-2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
	0.5	(4)**	

**Remitirse a recomendación 1*

***Remitirse a recomendación 2*

Fuente: Propia

Tabla 29 Diámetro inscrito de 30m, 29m – C3 – 3 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
120°T - 75° - 80°D-90° - 100°D- 105°	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
60° - 120°	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	1*-2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

**Remitirse a recomendación 1*

Fuente: Propia

Tabla 30 Diámetro inscrito de 28m – C3 – 3 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
120°T - 75° - 80°D-90° - 100°D- 105°	1	(3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
60° - 120°	1	(3.5 - 3.65 -4)	1*-2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

**Remitirse a recomendación 1*

Fuente: Propia

Tabla 31 Diámetro inscrito de 27m, 26m, 25m, 24m o menos – C3 – 3 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
60°-75°-90°-105°- 120°-80°D-100°D- 120°T		***	

*** Remitirse a recomendación 3

Fuente: Propia

2. *Bus pequeño*

Tabla 32 Diámetro inscrito de 32m,31m – Bus – 3 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
120°T - 75°- 80°D-90° - 100°D- 105°-120°	0.5	(4) **	1-2-3-4
	1	(3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
60°	0.5	(4) **	1*-2-3-4*
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

*Remitirse a recomendación 1

**Remitirse a recomendación 2

Fuente: Propia

Tabla 33 Diámetro inscrito de 30m – Bus – 3 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
120°T - 75° - 80°D-90° - 100°D- 105°	0.5	(4) **	1-2-3-4
	1	(3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
60° - 120°	0.5	(4)**	1*-2-3-4*
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

*Remitirse a recomendación 1

**Remitirse a recomendación 2

Fuente: Propia

Tabla 34 Diámetro inscrito de 29m – Bus – 3 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
120°T - 75° - 90°-105°- 100°D	0.5	(4)	1-2-3-4
	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
80° D	1	(3.5 - 3.65 -4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
	60° - 120°	0.5	
1		(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	
1.5			
2		(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
2.5			

*Remitirse a recomendación 1

**Remitirse a recomendación 2

Fuente: Propia

Tabla 35 Diámetro inscrito de 28-27m – Bus – 3 ramales

ANGULO (°)	ANCHOS DE FALDON (m)	ANCHOS DE CARRIL (m)	TRAYECTORIAS QUE CUMPLEN
120°T - 75° - 80°D-90° - 100°D- 105°	1	(3.5 -3.65 - 4)	1-2-3-4
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		
60° - 120°	1	(3.3 - 3.5 - 3.65 -4)	1*-2-3-4*
	1.5		
	2	(3 - 3.3 - 3.5 -3.65 - 4)	
	2.5		

*Remitirse a recomendación 1

**Remitirse a recomendación 2

Fuente: Propia

C. Recomendaciones

1. Cuando no se puede realizar la primera trayectoria que corresponde al giro a la derecha se recomienda usar otras alternativas como el uso de un carril o sobre-ancho externo para cumplir el giro, siempre y cuando el espacio del proyecto lo permita.
2. Cuando solo se tenga una opción de ancho de carril por faldón y este sea 1.2 veces mayor al ancho del carril de entrada, se recomienda aumentar el ancho de faldón para disminuir el ancho de carril, evitando así la iniciativa de los vehículos livianos a aumentar la velocidad dentro de la rotonda.
3. El ángulo para esta condición de diámetro inscrito o menores no cumple con ninguna de las configuraciones planteadas, se recomienda cambiar las condiciones de entrada siempre y cuando el espacio lo permita, o usar otras alternativas como dejar la isla central totalmente transitable.

VIII. VISIBILIDAD

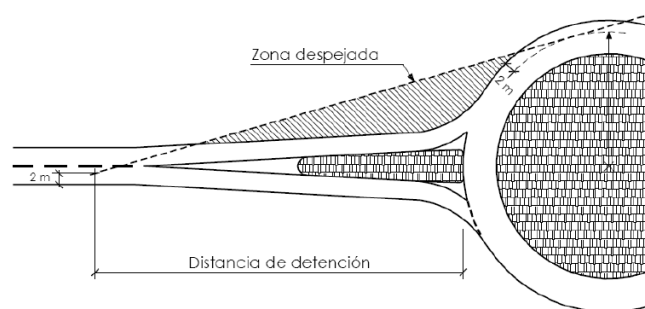
La evaluación de la visibilidad de una glorieta se realiza en sus accesos con la premisa de dos situaciones a las que se ve enfrentado el conductor, la primera de ellas es la situación de aproximación donde se debe permitir al conductor comprobar si va a tener que disminuir la velocidad de su vehículo para pasar por la glorieta, la segunda es la inserción dentro de la glorieta donde se debe permitir al conductor elegir un hueco en el tránsito circulante para su ingreso[21].

Una vez claras las dos situaciones a tener en cuenta, se deben evaluar los siguientes criterios de visibilidad:

A. *Visibilidad Hacia la Izquierda*

En la situación de aproximación se debe evaluar la visibilidad desde un punto A situado a la izquierda de la pata de entrada a una distancia igual a la distancia de parada, hasta un punto B ubicado en el borde de la calzada anular de la glorieta con un desfase de 2 m hacia su parte interna[21]. (Ilustración.40).

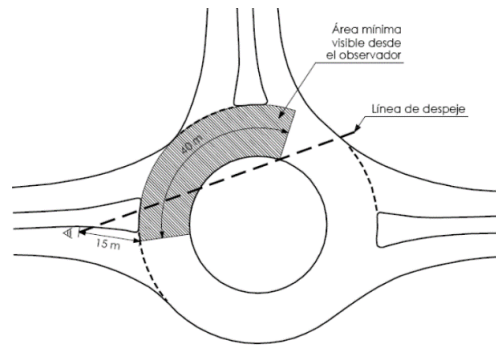
Ilustración 40 Visibilidad hacia la izquierda en aproximación



Fuente: Guía de nudos varios 2012, España

En la situación de inserción, desde el centro de cualquier carril de entrada a la distancia de la marca de detención y hasta 15 m antes de dicha marca se debe tener visual a la totalidad de la calzada anular[21]. (Ilustración.41).

Ilustración 41 Visibilidad hacia la izquierda en inserción

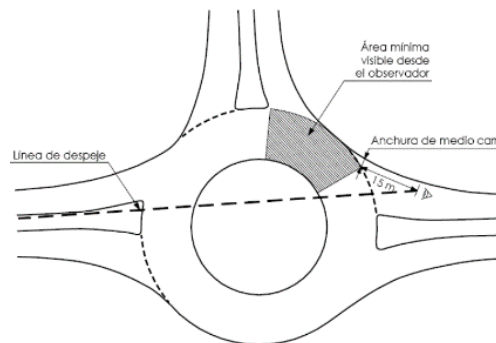


Fuente: Guía de nudos varios 2012, España

B. Visibilidad Hacia la Derecha

En cualquiera de las entradas, como desde el centro de cualquier carril en la marca de detención, como también desde el centro del carril derecho 15 m antes, se debe garantizar una visual a la totalidad de la calzada anular hasta el más lejano de los límites como la salida siguiente o 40 m medidos a lo largo de la calzada anular[21]. (Ilustración.42).

Ilustración 42 Visibilidad hacia la derecha



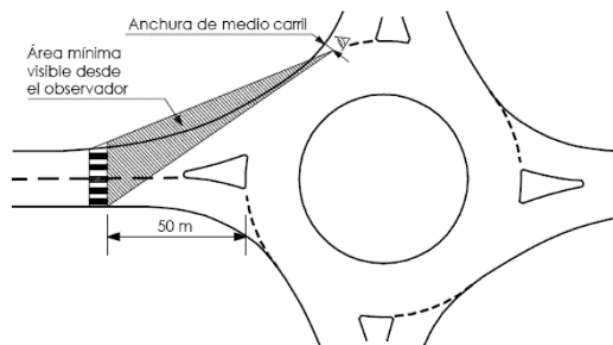
Fuente: Guía de nudos varios 2012, España

C. Visibilidad Hacia un Paso Peatonal

Si en uno de los accesos existe un paso de cebra para peatones antes de la calzada anular, se debe poder tener visual total desde una distancia igual a la requerida para que un vehículo pare a la velocidad específica de circulación.

En cualquiera de las entradas desde el centro de cualquier carril a una distancia igual a la marca de detención se debe ver la totalidad de un paso cebra situado en la siguiente salida si este está a menos de 50 m de la calzada anular[21].. (Ilustración.43).

Ilustración 43 Visibilidad hacia un paso peatonal

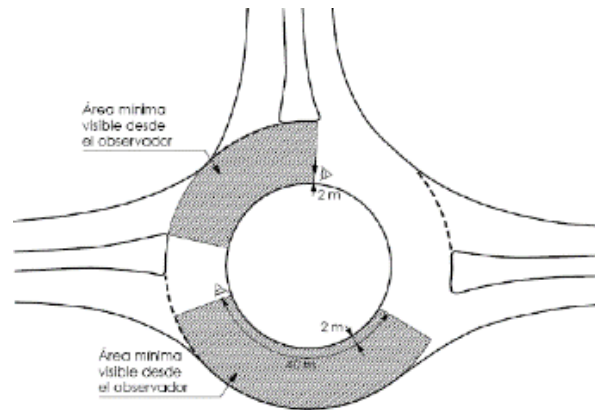


Fuente: Guía de nudos varios 2012, España

D. Visibilidad Dentro de la Calzada Anular

Debe garantizarse una visibilidad desde cualquier punto de la calzada de la glorieta, a dos metros del borde de la isla central, hasta la siguiente salida, o a una distancia mínima de 40m a lo largo de la calzada anular[21]. (Ilustración.44).

Ilustración 44 Visibilidad dentro de calzada anular



Fuente: Guía de nudos varios 2012, España

IX. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE SARDINELES Y BERMAS

A. *Sardineles*

Se definen de acuerdo al artículo 2° del Código Nacional de Tránsito “Ley 769 del 2002”[34] como sardineles a aquellos elementos de concreto, asfalto u otros materiales que se utilizan para delimitar la calzada de una vía y sirve como una barrera para evitar el paso de los vehículos en esta zona.

1. *Recomendaciones*

- Cuando se tenga una isleta central elevada, o en otro tipo de material sobre el cual no puedan circular los vehículos, esta isleta debe estar limitada por sardineles.
- Para glorietas urbanas en las que se tengan pasos peatonales se debe utilizar el sardinel como delimitante entre el ancho de entrecruzamiento y el andén.
- En mini-glorietas que tengan la isleta central montable no se usaran sardineles, ya que la delimitación de esta se hará con señalización horizontal.

B. *Berma*

Se define de acuerdo al artículo 2° del Código Nacional de Tránsito.” Ley 769 del 2002”[34] como la parte de la estructura de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia.

1. *Recomendaciones*

- Cuando se tenga una gran proporción del tránsito no familiarizado con la zona y paradas por conductores desorientados, en adición a aquellos de vehículos descompuestos, es deseable disponer de bermas, las cuales deberán contrastar en color y en textura con la calzada de la glorieta [35].

X. RECOMENDACIONES PARA PEATONES Y BICI-USUARIOS

En este capítulo se realizan algunas recomendaciones para el diseño de glorietas teniendo en cuenta usuarios como peatones y bici-usuarios con base a referentes normativos como la “Urban Street Design Guide-NACTO”[36]

- El diseño de la intersección debe facilitar la visibilidad y previsibilidad para todos los usuarios, creando un entorno en qué movimientos complejos se perciben seguros, fáciles e intuitivos. Su diseño debe promover el contacto visual entre todos usuarios de la calle, generando un paisaje urbano en el que peatones, conductores y ciclistas pueden compartir el espacio de forma segura[36].
- Diseñar las intersecciones para que sean lo más compactas como sea posible ya que las intersecciones compactas reducen la exposición de los peatones, ralentizan el tráfico en puntos de conflicto y aumentan la visibilidad para todos los usuarios.
- Se debe añadir islas de seguridad para peatones cuando sea posible y eliminar los carriles de giro a la derecha para reducir la velocidad de giro y crear un ceda el paso autoimpuesto a los peatones.
- Extensiones de bordillo, radios de esquina reducidos, carriles de bicicletas, aumentan la seguridad para los peatones ya que incitan a los conductores a circular con precaución por las intersecciones.
- Se debe evitar que los vehículos se estacionen en el ingreso a la intersección ya que esto puede generar que los ciclistas ingresen al tráfico de forma impredecible, creando riesgos para los conductores y para los ciclistas.

- En puntos de intersección se debe evitar el sobre dimensionamiento de los carriles, ya que esta condición permite al conductor aumentar la velocidad lo que incurre en mayor riesgo para los bici-usuarios y peatones.
- Si el espacio lo permite se debe contemplar la posibilidad de un carril para el tránsito únicamente de bici-usuarios, este carril debe estar elevado o con taches separadores para evitar el uso de este espacio por parte de los conductores, además se recomienda que el carril sea de una sola dirección lo que generaría la construcción de dos carriles uno a cada lado de la calle.
- Se debe tener una señalización vertical y horizontal completa para informar al peatón y bici-usuario de las zonas de cruce y zonas de circulación.
- Los conflictos deben resaltarse usando marcas de cruce de intersección con la aplicación opcional de color.
- La pista para bicicletas también puede combinarse con una compensación en la bahía de autobús y otras amenidades que mejoran las operaciones para peatones y usuarios de tránsito.
- En zonas urbanas todas las calles residenciales deben proporcionar lugares seguros y acogedores para caminar y buen acceso a locales, tiendas y escuelas. El diseño debe mitigar los puntos de conflicto en el camino y mantener velocidades lentas propicias a la seguridad del tráfico.
- Para garantizar que las aceras peatonales sean un lugar seguro se debe tener un ancho de 2 metros en zonas no comerciales y de al menos 3 metros en zonas comerciales[36].

- No se debe restringir los cruces para bicicletas o peatones de las carreteras principales, incluso si no se cumplen las garantías de paso.
- Las intersecciones elevadas están a ras con la acera y garantizan que los conductores atraviesen el cruce lentamente. Mientras que los pasos de peatones no necesitan estar marcados a menos que no estén al nivel de la acera.
- Intersecciones elevadas y mini glorietas con control de ceda el paso son preferibles a las señales de pare en las zonas de baja velocidad (<20 mph) y de bajo volumen (<3.000 ADT), así como en algunas calles de volumen moderado, velocidades en zonas de 30 mph [36].
- Las señales de PARE deben utilizarse en lugar de las de señales de ceda el paso si se teme que los conductores puedan ignorar el derecho de paso de los peatones. Las intersecciones elevadas ayudan a reducir la velocidad de los vehículos y el riesgo de los vehículos y el riesgo de colisión, reduciendo al mismo tiempo de los vehículos y el riesgo de colisión, a la vez que se reducen los retrasos innecesarios para los automovilistas y los ciclistas[36].
- Los bolardos en las esquinas evitan que los automovilistas no crucen el espacio peatonal. Los bolardos protegen a los peatones de los vehículos errantes[36].
- Escalera de alta visibilidad, cebrá y marcas de paso de peatones son preferibles a las marcas paralelas estándar o discontinuas. Éstas son más visibles para los vehículos que se aproximan y se ha demostrado que mejoran el comportamiento de ceder el paso[36].

XI. DISPOSITIVOS DE CONTROL DEL TRANSITO

“La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada y regulada con miras a garantizar su seguridad, fluidez, orden y comodidad. En efecto, a través de la señalización se indica a los actores del tránsito la forma correcta y segura de circular por las vías, evitar riesgos, facilitar la circulación y optimizar los tiempos de viaje.”[22] es la justificación del porque se deben usar dispositivos de control del tránsito que define el “ Ministerio del Transporte en Colombia”, en esta guía se recomiendan los dispositivos de control del tránsito contemplados en el “ Manual de Señalización Vial ”[22] , con su uso enfocado en glorietas e intersecciones urbanas.

Los dispositivos para la regulación del tránsito en glorietas se clasifican en “Señalización Vertical” con tipos de señales como preventivas, reglamentarias e informativas, y la “Señalización Horizontal” que se caracteriza por los diferentes tipos de demarcaciones pintadas o colocadas sobre la superficie de pavimento o de rodadura.

Antes de describir la señalización vertical y horizontal se deben tener algunas consideraciones, como por ejemplo que toda señal de tránsito debe satisfacer las siguientes características para cumplir su objetivo:

- Debe ser necesaria.
- Debe ser visible y llamar la atención.
- Debe ser legible y fácil de entender.
- Debe dar tiempo suficiente al actor de tránsito para responder adecuadamente.
- Debe infundir respeto.
- Debe ser creíble.

Además, se deben tener en cuenta algunos criterios para el diseño como los siguientes:

- Su tamaño, contraste, colores, forma, composición y retrorreflexión e iluminación se combinen de tal manera que atraigan la atención de todos los actores.
- Su forma, tamaño, colores y diagramación del mensaje se combinen para que éste sea claro, sencillo e inequívoco.
- Su legibilidad y tamaño correspondan a la distancia de ubicación, de manera que permita un tiempo adecuado de reacción.
- Su tamaño, forma y mensaje concuerden con la situación que se señala, lo cual contribuye a su credibilidad y acatamiento.
- Sus características de color y tamaño se aprecien de igual manera durante el día, la noche y períodos de visibilidad limitada.

A. *Señalización Vertical*

1. *Especificaciones técnicas y generalidades*

a) *Función*

La función de las señales verticales es reglamentar las limitaciones, prohibiciones o restricciones, advertir de peligros, informar acerca de rutas, direcciones, destinos y sitios de interés. Son esenciales en lugares donde existen regulaciones especiales, permanentes o temporales, y en aquellos donde los peligros no son de por sí evidentes.

b) *Clasificación*

Las señales verticales se clasifican según la función que desempeñan y estas son:

- Señales Reglamentarias: Tienen como finalidad avisar a los usuarios en las vías, las prioridades en el uso, prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones existentes.

- Señales Preventivas: Tiene como finalidad advertir sobre la existencia y naturales de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes.
- Señales Informativas: Tienen como finalidad guiar a los usuarios y entregar información necesaria para que pueden llegar a sus destinos, también entregan información como de distancias, lugares y nombres.

c) *Forma y Color*

Las señales verticales tienen las siguientes formas geométricas y colores con base a su función:

- Para “Señales Reglamentarias”: Su forma es circular y sólo se acepta inscribir la señal misma en un rectángulo cuando lleva una leyenda adicional. Se exceptúan las señales PARE SR-01, CEDA EL PASO SR-02, SENTIDO UNICO DE CIRCULACIÓN SR-38 Y SENTIDO DE CIRCULACIÓN DOBLE SR-39. Sus colores son blanco, rojo y negro.
- Para “Señales Preventivas”: Tienen la forma de un rombo con la excepción del PASO A NIVEL (CRUZ DE SAN ANDRÉS) SP-54, DELINEADOR DIRECCIONAL SP-75; su símbolo y leyenda son negros. Sus colores son amarillo o amarillo-verde-fluorescente y negro con las excepciones de las señales PREVENCIÓN DE PARE SP-29 Y PREVENCIÓN DE CEDA EL PASO SP-33.
- Para “Señales Informativas”: Son rectangulares o cuadradas, cuando son rectangulares, su lado mayor puede colocarse tanto horizontal como verticalmente. Se exceptúan de dichas formas las señales que indican la numeración de rutas y la de SALIDA INMEDIATA cuando ésta se usa en forma de flecha. Sus colores de fondo son azul o verde, y excepcionalmente marrón cuando se trata de señales turísticas.

El color de fondo de las señales verticales es:

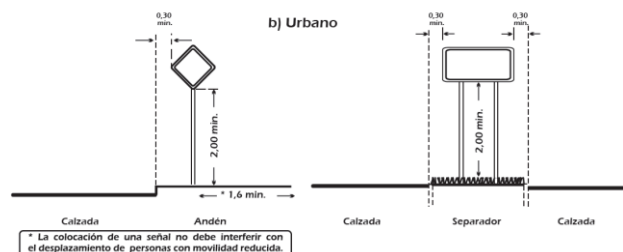
- Amarillo: En señales de construcción y mantenimiento.

- Azul: En señales de información general.
- Blanco: En señales reglamentarias y en las señales informativas de destino, geográficas y seguridad vial.
- Rojo: En la seña de “PARE”.

d) *Ubicación y Orientación*

La ubicación de las señales verticales debe de ser a un lado de la vía, para vías urbanas la altura de la señal, medida desde su extremo inferior hasta la cota del borde de la acera, debe ser igual o mayor a 2.0 metros y la distancia al punto de ubicación de la señal, medida desde su extremo interior hasta el borde de la acera, debe ser igual o mayor a 30 centímetros.

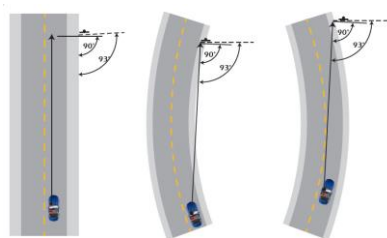
Ilustración 45 Ubicación de las señales verticales



Fuente: Manual de Señalización Vial

Cuando un haz de luz incide perpendicularmente en la cara de una señal se produce el fenómeno de reflexión especular que deteriora su nitidez. Para minimizar dicho efecto, se debe orientar las señales de modo que la cara de éstas y una línea paralela al eje de calzada formen un ángulo como el que se muestra en la (ilustración.45).

Ilustración 46 Orientación de las señales verticales



Fuente: Manual de Señalización Vial

2. *Señales preventivas en glorietas*

Las señales preventivas se identifican por el código general SP, llevan el color amarillo en el fondo de la señal y el color negro en los símbolos y orlas. Las señales preventivas que se usan en glorietas son la SP-20 y SP 33.

- SP-20: Señal glorieta y se usa para indicar la cercanía a una intersección de tipo rotatorio, en la cual el derecho a la vía lo tienen los vehículos que circulan en la glorieta, esta clase de intersecciones requieren un complemento de la señalización con el empleo de las señales SP-33- “prevención de ceda el paso y SI-05 –“señal informativa previa”.

Ilustración 47 Señal SP-20



Fuente: Manual de Señalización Vial

- SP-33- Prevención de ceda el paso, se emplea para anunciar la presencia de una señal reglamentaria SR-02- ceda el paso, la cual no es visible desde una distancia suficiente como para permitir la disminución gradual de la velocidad.

Ilustración 48 Señal SP-33



Fuente: Manual de Señalización Vial

Al encontrarse las mini-glorietas en espacios urbanos se deben tener en cuenta también otras señales informativas como la SP-47, SP 46. Y SP-59

- SP-47- Señal que advierte al conductor la posible presencia de escolares en la vía

Ilustración 49 Señal SP-47



Fuente: Manual de Señalización Vial

- SP-46-Señal que advierte al conductor la posible presencia de patones en la vía.

Ilustración 50 Señal SP-46



Fuente: Manual de Señalización Vial

- SP 59- Señal que advierte al conductor la posible presencia de ciclistas en la vía.

Ilustración 51 Señal SP-59



Fuente: Manual de Señalización Vial

3. *Señales reglamentarias en glorietas*

Las señales reglamentarias se identifican por el código SR, llevan color blanco en el fondo, color negro en los símbolos y el color rojo en la orla y en el trazado oblicuo de prohibición.

Las señales reglamentarias que se usan en glorietas son SR-02, SR-06 y SR-30

- SR-02- Señal ceda el paso, indica que se debe ceder el paso para los usuarios que transitan dentro de la glorieta, debe colocarse en los ramales de entrada.

Ilustración 52 Señal SR-02



Fuente: Manual de Señalización Vial

- SR-06- Señal prohibido girar a la izquierda, se usa para prevenir que los vehículos realicen este giro y generen un contraflujo dentro de la glorieta.

Ilustración 53 Señal SR-06



Fuente: Manual de Señalización Vial

- SR-30- Señal velocidad máxima, indica la obligación de reducir la velocidad hasta alcanzar la indicada por la señal, esta velocidad mostrada indica la máxima velocidad de circulación dentro de la glorieta.

Ilustración 54 Señal SR-30



Fuente: Manual de Señalización Vial

4. Señales informativas en glorietas

Estas señales se identifican con el código general SI y son de forma rectangular, con su mayor dimensión vertical, excepto las señales de identificación, de información preventiva, nomenclatura urbana, información confirmativa y de seguridad vial.

B. Señalización o Demarcación Horizontal

La señalización horizontal sirve para regular, canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos, esta se representa mediante marcas viales conformadas por líneas, flechas, símbolos y letras que se adhieren sobre el pavimento, bordillos o sardineles y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas.

1. Generalidades

a) Ubicación

La ubicación de la demarcación debe garantizar al usuario ver y comprender su mensaje con suficiente tiempo para reaccionar y ejecutar la maniobra adecuada, de modo que satisfaga uno de los siguientes objetivos:

- Indicar el inicio, mantención o fin de una restricción o autorización, en este caso la demarcación se debe ubicar en el sitio específico donde esto ocurre.
- Advertir o informar sobre maniobras o acciones que se deben o pueden realizar más adelante.

b) Clasificación

La señalización horizontal se puede clasificar según su altura y forma, en altura se encuentran las señalizaciones planas que no pasan de los 6mm de altura, y como elevadas para aquellas que van desde los 6mm hasta los 150mm. Según la forma se encuentran las longitudinales y transversales.

1. Líneas longitudinales

Se emplean para determinar carriles y calzadas, para indicar zonas con y sin prohibición de adelantar o de cambio de carril, zonas con prohibición de estacionar, y para delimitar carriles de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos.

a) Líneas Centrales

Son de color amarillo y se utilizan para indicar el eje de una calzada con tránsito en los dos sentidos, y las de color blanco se usan para separar carriles de tránsito, en el mismo sentido. Para vías urbanas se usan cuando el volumen de tránsito es considerable, en todas las calles o vías de más de 4 carriles o vías donde un estudio de tránsito así lo aconseje.

Las líneas centrales se definen con una línea segmentada de 12 centímetros de ancho, para vías urbanas la longitud de segmento es de 3.0 metros y longitud de espaciado de 5.0 metros.

b) *Líneas de borde*

Indican a los conductores, especialmente en condiciones de visibilidad reducida, donde se encuentra el borde exterior del pavimento, permitiéndoles ubicarse adecuadamente respecto de este, evitando así su salida de la vía o llegar a invadir otros espacios de la vía.

Estas líneas son colocadas normalmente a 5 cm de la berma o sardinel, en todas las vías urbanas que no cuenten con sardineles y en las vías arteriales o de jerarquía superior, se deben delimitar los bordes exteriores del pavimento, en vías locales, la marcación de la línea de borde del pavimento se limita a las que no disponen de bordes de sardinel.

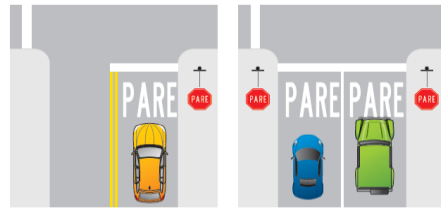
2. *Líneas transversales para cruces*

Se emplean principalmente en intersecciones a nivel para indicar el lugar antes del cual los vehículos deben detenerse y para demarcar senderos destinados al cruce de peatones o de bicicletas.

a) *Demarcación línea pare*

Se deben usar en intersecciones controladas por “PARE”, debe marcarse la línea de detención acompañada de la palabra PARE siempre que sea posible, esta línea de detención le indica al conductor que enfrente la señal PARE, el lugar más próximo a la intersección donde el vehículo debe detenerse.

Ilustración 55 Demarcación línea de pare



Fuente: Manual de Señalización Vial

a) Demarcación de pasos peatonales

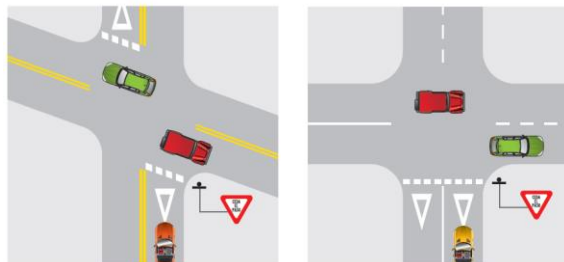
Se emplean para indicar el lugar y la trayectoria que deben seguir los peatones al atravesar una calzada y definir el área donde un conductor podría anticipar la presencia de un peatón o ciclista, persona en silla de ruedas o similar, son de color blanco y pueden ser de los siguientes tipos: cruce cebra, cruce sendero peatonal, cruce peatonal todo rojo y paso peatonal.

b) Demarcación de línea ceda el paso

Cuando una intersección es controlada por una condición “CEDA EL PASO” se debe marcar una línea y símbolo CEDA EL PASO deben demarcarse cuando se instale la señal vertical SR-02.

La línea segmentada indica al conductor que enfrenta la señal CEDA EL PASO, esta línea debe extenderse a través de todos los carriles de aproximación paralela al eje de la vía que se está intersectando, debe ubicarse donde el conductor tenga visibilidad sobre la vía prioritaria y a una distancia mínima de 1.2 m de un paso peatonal si este existe en ese lugar.

Ilustración 56 Demarcación línea de seda el paso



Fuente: Manual de Señalización Vial

XII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dirección General de servicios técnicos, “Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras,” *Mexico*, p. 142, 2018.
- [2] S. Challenges, “Transportation Safety 5.1.,” *ACCESS Eng*.
- [3] C. DIAZ ESCOBAR, “Factores de Riesgo que afectan la Severidad De Los Accidentes De Trafico,” pp. 1–63, 2017.
- [4] A. Pratelli, “Design of modern roundabouts in urban traffic systems,” *WIT Trans. Built Environ.*, vol. 89, pp. 83–93, 2006, DOI: [10.2495/UT060091](https://doi.org/10.2495/UT060091).
- [5] J. Ambros *et al.*, “Central European Comparative Study of Traffic Safety on Roundabouts,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 14, pp. 4200–4208, 2016, DOI: [10.1016/j.trpro.2016.05.391](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.391).
- [6] S. U. Jensen, “Safe roundabouts for cyclists,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 105, pp. 30–37, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2016.09.005>, DOI: [10.1016/j.aap.2016.09.005](https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.09.005).
- [7] H. N. Isebrands and R. Retting, *Enhancing Intersection Safety through Roundabouts*. 2008.
- [8] M. N. Al-Marafi, K. Somasundaraswaran, and R. Ayers, “Developing crash modification factors for roundabouts using a cross-sectional method,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.*, vol. 7, no. 3, pp. 362–374, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.10.012>, DOI: [10.1016/j.jtte.2018.10.012](https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.10.012).
- [9] X. Chen and M. S. Lee, “A case study on multi-lane roundabouts under congestion: Comparing software capacity and delay estimates with field data,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.*, vol. 3, no. 2, pp. 154–165, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtte.2016.03.005>, DOI: [10.1016/j.jtte.2016.03.005](https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.03.005).
- [10] M. Bassani and L. Mussone, “Experimental analysis of operational data for roundabouts through advanced image processing,” *J. Traffic Transp. Eng. (English*

- Ed.*, vol. 7, no. 4, pp. 482–497, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.01.005>, DOI: [10.1016/j.jtte.2019.01.005](https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.01.005).
- [11] Z. Jiang and S. Easa, “Analysis of Driving Characteristics at Roundabout Using High Definition Vehicle Trajectory Data,” *CSCE Annu. Conf.*, no. May, pp. 1–10, 2020.
- [12] C.-W. Kuo and M.-L. Tang, “Survey and empirical evaluation of nonhomogeneous arrival process models with taxi data,” *J. Adv. Transp.*, vol. 47, no. June 2010, pp. 512–525, 2011. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/atr.144/full>, DOI: [10.1002/atr](https://doi.org/10.1002/atr).
- [13] P. Fernandes *et al.*, “Impacts of roundabouts in suburban areas on congestion-specific vehicle speed profiles, pollutant and noise emissions: An empirical analysis,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 62, no. July, p. 102386, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102386>, DOI: [10.1016/j.scs.2020.102386](https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102386).
- [14] J. M. Crites, E. Vice, D. Fort, and W. International, *REPORT 783 Evaluation of the 13 Controlling Criteria for Geometric Design.* .
- [15] G. Hernández, J. O. Vidaña, and A. Rodríguez, “Problemática en Intersecciones Viales de Áreas Urbanas: Causas y Soluciones Introducción Intersecciones a Nivel,” *CULCyT*, vol. 12, no. 56, pp. 25–32, 2015.
- [16] M. D. E. Transporte, M. Para, and R. Estudios, “Ministerio de transporte e infraestructura ‘manual para revision estudios de transito’ 1,” *Minist. Transp. e Infraestruct.*, vol. 1–3, pp. 1–197, 2008.
- [17] D. Carmen *et al.*, “Influencia De La Geometría En La Determinación De Los Puntos De Conflicto En Una Intersección De Viales,” p. 10, 2002. <https://personal.ua.es/es/roberto-tomas/documentos/influencia-de-la-geometria-en-puntos-de-conflicto-de-intersecciones-ingegraf-badajoz.pdf>.
- [18] Luz Yolanda Toro Suarez, “GUIA PARA EL DISEÑO DE VIAS URBANAS PARA BOGOTA.D.C,” pp. 1–27, 2015.
- [19] O. O. N. Ucti and C. O. N. Cepts, *Chapter 22 roundabouts HCM, HIGHWAY CAPACITY MANUAL.* .
- [20] G. A. Velez, “Calculo y Diseño de Glorietas,” *Persepsi Masy. Terhadap Perawatan Ortod. Yang Dilakukan Oleh Pihak Non Prof.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.

- [21] S. D. I. GENERAL, “GUIA DE NUDOS VARIOS MF2012,” *Minist. Fom.*, 2012.
- [22] Ministerio de Transporte, “Manual De Señalización Vial Dispositivos Uniformes Para La Regulación De Tránsito En Calles, Carreteras Y Ciclorrutas De Colombia,” *J. Phys. A Math. Theor.*, vol. 44, no. 8, p. 085201, 2015.
<http://arxiv.org/abs/1011.1669><http://dx.doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201><http://stacks.iop.org/1751-8121/44/i=8/a=085201?key=crossref.abc74c979a75846b3de48a5587bf708f>.
- [23] I. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, “MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS,” *Ciencia*, vol. 84, pp. 1–6, 2008.
<http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/inza/02-SubsistemaPolitico.pdf><https://www.iadb.org/es/acerca-del-bid/politica-de-desarrollo-rural%2C6229.html>https://elpais.com/elpais/2016/08/26/ciencia/1472225923_727879.html<https://www.redalyc.>
- [24] F. Corriere and M. Guerrieri, “Performance Analysis of Basic Turbo-Roundabouts in Urban Context,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 53, pp. 622–632, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.912>, DOI: [10.1016/j.sbspro.2012.09.912](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.912).
- [25] S. E. E. Profile and S. E. E. Profile, “Mini-roundabouts in urban areas Mini-roundabouts in urban areas,” no. January, pp. 1–4, 2012.
- [26] INVIAS, “MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS -INVIAS,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [27] AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. 2018.
www.transportation.org.
- [28] A. M. de B. D. C. Banco de Desarrollo de América Latina, Universidad Nacional de Colombia, “Guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C.,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [29] S. Vial, “Clasificación vial de acuerdo con la jerarquía funcional.”
- [30] AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 7th Edition*. 2018.
- [31] J. B. Barker *et al.*, *REPORT 672 Roundabouts : COOPERATIVE HIGHWAY*. 2010.
- [32] NCHRP, *Report 572. Roundabouts in the United States*. 2007.

- [33] S. Hasan and R. Mesa-Arango, “Estimating Welfare Change Associated with Improvements in Urban Bicycling Facilities,” *J. Transp. Eng.*, vol. 138, no. May, pp. 548–556, 2015. [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000365](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000365), DOI: [10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436).
- [34] Código Nacional de Tránsito Terrestre, “LEY 769 DE 2002,” vol. 2021, no. 51724, pp. 1–22, 2021.
- [35] G. Arboleda, “CALCULO Y DISEÑO DE GLORIETAS,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [36] NACTO, *Design street urban guide National Association of City Transportation Officials*. 2013.