



Índice

5.1	INTERSECCIONES A NIVEL	1
5.2	PRINCIPIOS DE DISEÑO	7
5.3	DISTANCIA VISUAL EN INTERSECCIONES	17
5.4	VEHÍCULOS DE DISEÑO	30
5.5	CONTROLES GEOMÉTRICOS	36
5.6	ELEMENTOS DE CANALIZACIÓN	48
5.7	ROTONDAS MODERNAS	60
5.8	BIBLIOGRAFÍA PARTICULAR DE CONSULTA	113
	5 ANEXO	115



## 5 INTERSECCIONES

Las intersecciones son áreas de uso compartido donde dos más caminos se encuentran o cruzan. Incluyen calzadas y zonas laterales. Para evitar los choques se separan las trayectorias de los movimientos:

### **Separación temporal (intersecciones a nivel) mediante:**

- *Reglas fijas de prioridad* (ej. prioridad a la derecha)
- *Señalización de prioridad (Ceda o Pare) para una de las dos trayectorias.* Fuera de zonas urbanas, este ordenamiento de la circulación da buenos resultados mientras los volúmenes horarios de tránsito no sean elevadas
- *Semáforos.* En las zonas urbanas puede utilizarse un ordenamiento de prioridades alternadas para las trayectorias mediante semáforos, el cual permite múltiples combinaciones de fases. Los semáforos no son convenientes en zonas rurales, porque son poco habituales y su presencia inesperada puede constituir un peligro

### **Separación espacial (intersecciones a distinto nivel):**

- *Separaciones de nivel.* Cruce puro, sin ramas de conexión
- *Distribuidores.* Proveen capacidad muy superior a las intersecciones a nivel, al eliminarse las detenciones en el cruce principal. La comodidad y seguridad de circulación son mayores al desaparecer la necesidad de estar atento a los demás vehículos y al disminuir posibilidad de un choque lateral. Su inconveniente principal es el costo de la estructura y de las modificaciones del perfil longitudinal para materializar el desnivel. Se tratan en el [Capítulo 6 DISTRIBUIDORES]

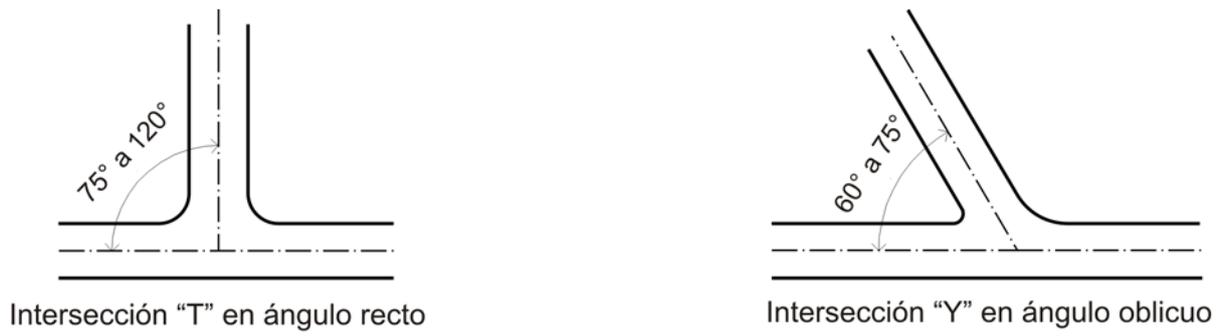
Cada camino que se irradia desde la intersección es un ramal. Por ejemplo, la intersección común de dos caminos tiene cuatro ramales. Las intersecciones son parte esencial de una red vial; en ellas el usuario puede cambiar de dirección para seguir el camino que desea. Una adecuada disposición de los tramos de la red y de sus intersecciones permitirá atender a un máximo de itinerarios con un número mínimo de elementos, con comodidad y seguridad.

## 5.1 INTERSECCIONES A NIVEL

### 5.1.1 Tipos básicos

- De tres ramales en T o en Y,
- De cuatro ramales en X,
- Multirramales,
- Rotondas: los vehículos entran en una calzada anular siguiendo la regla general de ceder el paso a los que circulan por el anillo. El número de ramales varía entre tres y cinco.

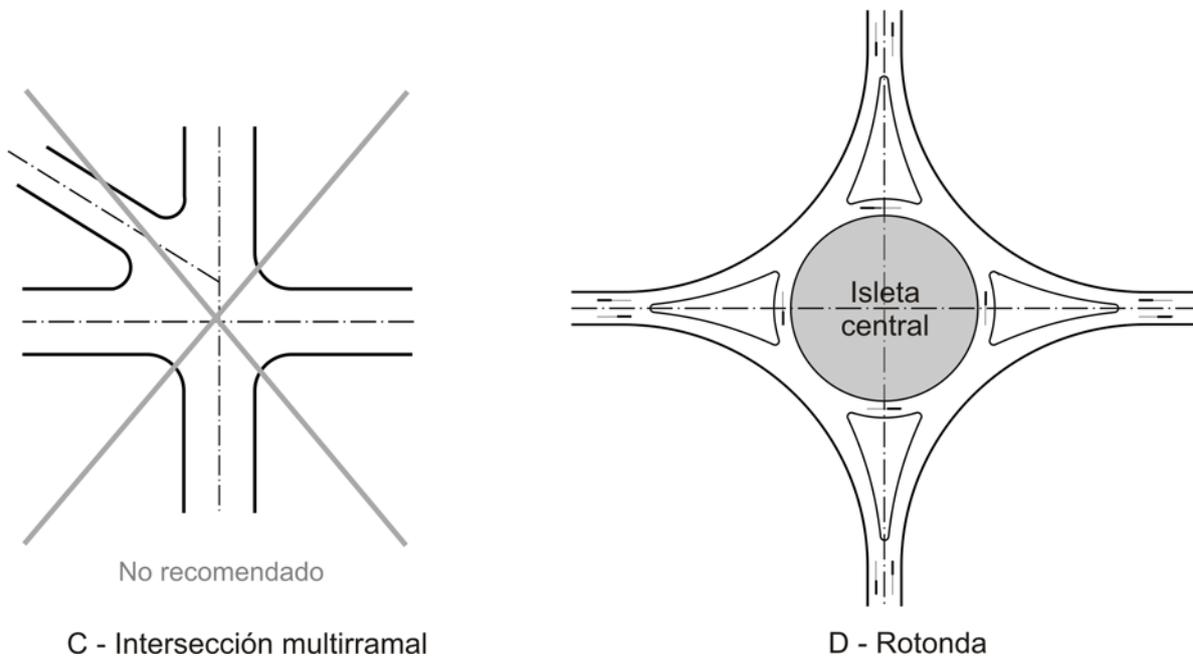
Algunos elementos de diseño de las intersecciones a nivel son comunes y aplicables a los distribuidores; p. ej., los relativos a los movimientos de giro. Los cuatro tipos de intersecciones a nivel se muestran esquemáticamente en la Figura 5.1.



A - Intersecciones de tres ramas



B - Intersecciones de cuatro ramas



C - Intersección multirramal

Figura 5.1 Tipos de intersecciones a nivel

### 5.1.2 Factores que intervienen en la elección del tipo de intersección

Factores que determinan el tipo y características de una intersección son:

- Tránsito
- Entorno físico
- Factores económicos
- Factores humanos

#### **Tránsito**

- *Volumen*: el volumen de tránsito de cada ramal que entra en la intersección es el factor fundamental que determina la elección del tipo de intersección.
- *Distribución*: la forma en la que el tránsito se distribuye, también interviene en la elección del tipo de intersección:
  - *Tránsito directo*: continúa por la prolongación de la vía de llegada luego de pasar por la intersección.
  - *Tránsito de intercambio*: continúa por una vía que no es prolongación de la que se utilizó para llegar a la intersección.
- *Otras características* del tránsito de cada ramal:
  - *Composición* (porcentaje de livianos, pesados)
  - Velocidad
  - Movimientos de peatones o de ciclistas

#### **Entorno físico**

- Topografía
- Jerarquía de las rutas que se intersectan
- Ángulo de intersección
- Uso y disponibilidad del suelo
- Distancias visuales

#### **Factores económicos**

- Costo de construcción
- Costo del terreno necesario
- Costo de operación de los usuarios del cruce
- Costo de accidentes

Para bajos volúmenes de tránsito, la probabilidad de accidentes es baja y el incremento de los costos de operación por demoras en el cruce también es bajo, por lo que posiblemente no se justifique construir obras de arte costosas. A medida que el tránsito aumenta, se incrementan la probabilidad de accidentes y las demoras en el cruce.

#### **Factores humanos**

- Hábitos de manejo de los conductores
  - Tiempos de percepción y reacción
  - Capacidad para tomar decisiones
  - El efecto que produce la sorpresa
-

La consideración de estos factores y la selección de los dispositivos de control de tránsito adecuados limitarán las opciones para la elección final. Según la sana práctica de diseño se elige el tipo de intersección más barato que provee la mayor efectividad de costo.

En función de los TMDA de los caminos que se intersectan, la Figura 5.2 orienta la selección del tipo de intersección (Fuente: IHT, Inglaterra).

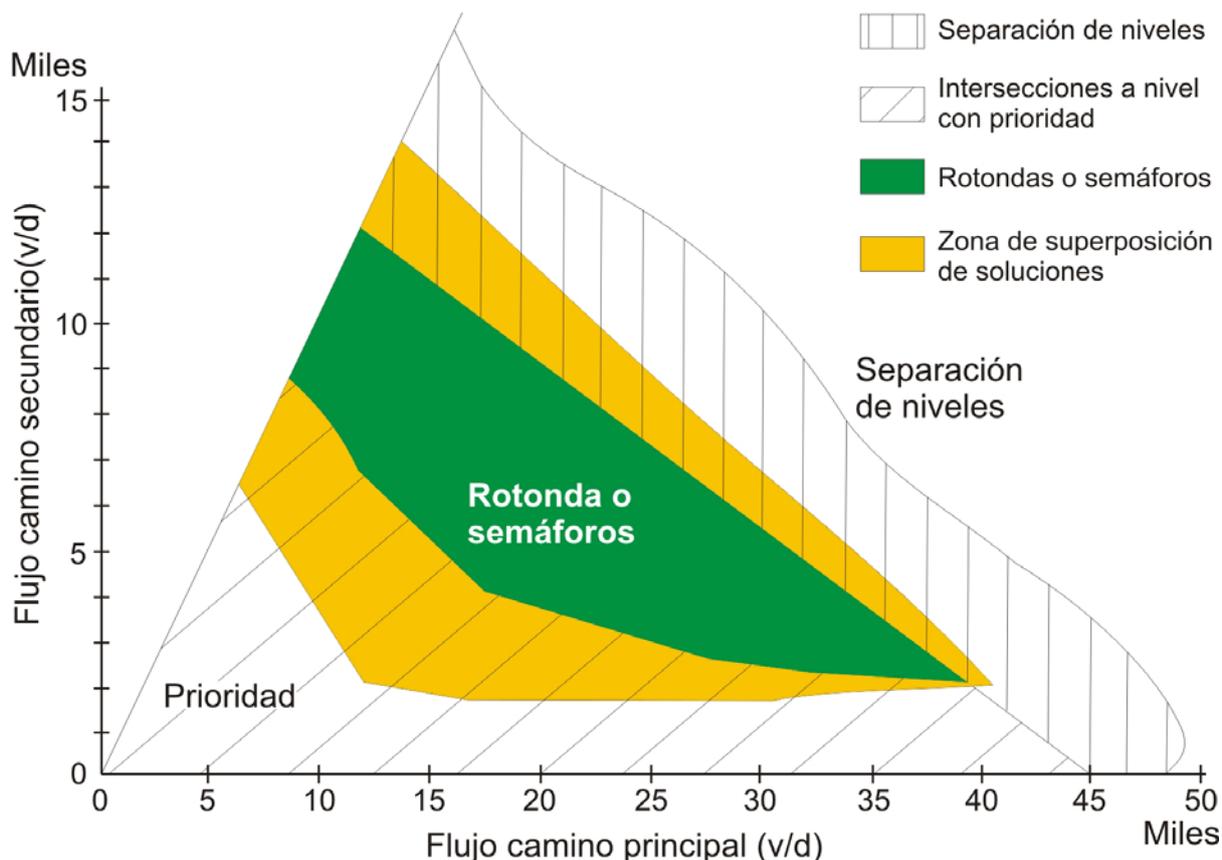


Figura 5.2 Tipo de intersección basado en flujos de tránsito

La Figura 5.3 permite seleccionar el tipo de intersección a nivel según los TMDA de ambos caminos (Fuente: *Highway Geometric Design Guide, Alberta Transportation, Canadá*). Las categorías previstas son:

Tipo I: con curvas simples, sin abocinamientos

Tipo II: con curvas simples o de tres centros, con abocinamientos

Tipo III: ídem II, ensanchadas (con carriles auxiliares para giros)

Tipo IV: canalizada, con isletas y carriles auxiliares para giros.

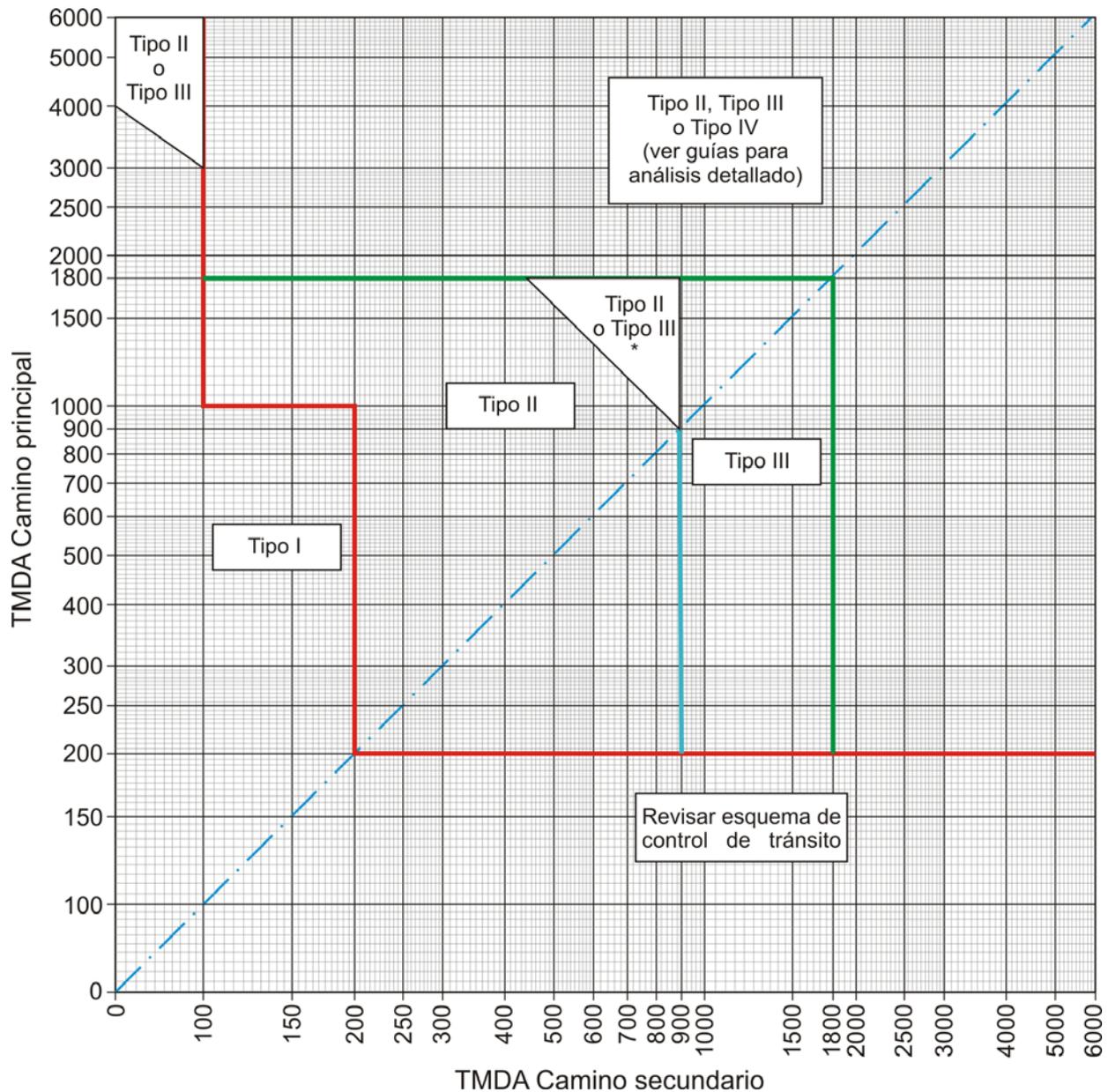
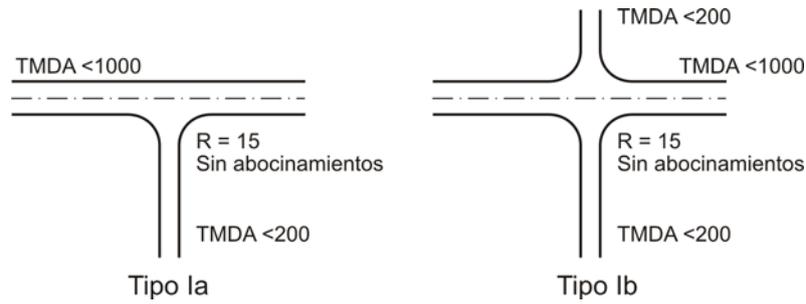


Figura 5.3 Selección del tipo de intersección a nivel en caminos de dos carriles y dos sentidos, basada en flujos de tránsito (velocidad directriz  $\geq 90$  km/h)

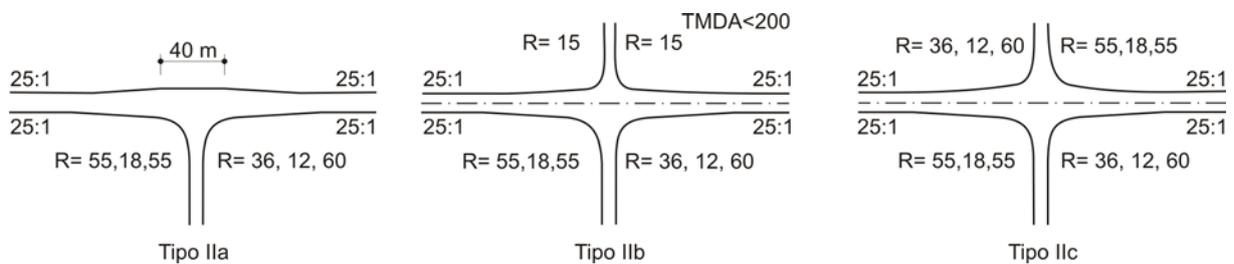
Notas:

- Si en el camino secundario el TMDA es  $< 100$  vpd, se dispondrá una intersección Tipo I, salvo para tránsitos muy altos en el principal, en cuyo caso queda a juicio del proyectista utilizar Tipo I o Tipo II.
- Utilizar los volúmenes horarios proyectados al año de proyecto.
- Para volúmenes de tránsito de los tipos II a IV pueden convenir las rotondas.

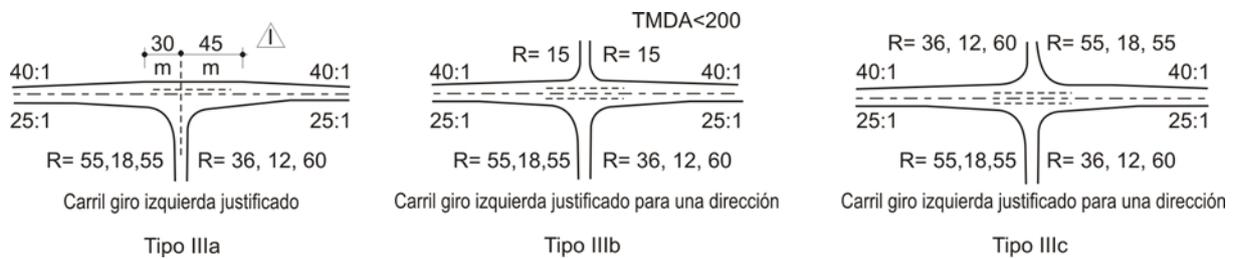
Tipo I: con curvas simples, sin abocinamientos



Tipo II: con curvas simples o de tres centros, con abocinamientos



Tipo III: ídem II, ensanchadas (con carriles auxiliares para giros)



Tipo IV: canalizada, con isletas y carriles auxiliares para giros

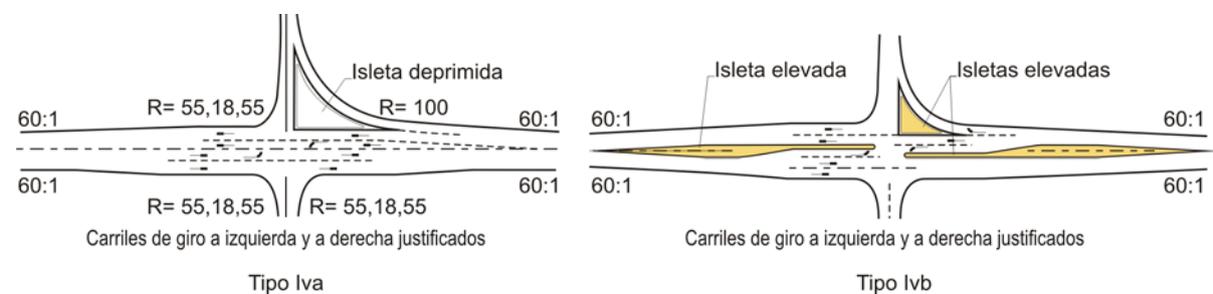


Figura 5.4 Tipos de intersección a nivel en caminos bidireccionales de dos carriles (velocidad directriz  $\geq 90$  km/h)

## 5.2 PRINCIPIOS DE DISEÑO

### 5.2.1 El funcionamiento desde el punto de vista del conductor

El diseño de la intersección y su señalización de orientación deben dirigirse a conductores inexpertos y no familiarizados con ella. Deben prevalecer los siguientes criterios:

- *Sencillez*: todos los movimientos permitidos deben resultar fáciles y evidentes; mientras que los prohibidos o no deseados deben ser difíciles de realizar. Evitar diseños complejos que requieran decisiones complicadas por parte de los conductores, o la dispersión de su atención entre varios puntos de conflicto a la vez.
- *Uniformidad*: la mayoría de los conductores tienden a una rutina, y no concentran suficientemente su atención en la conducción. Ante situaciones o entornos similares, buscarán instintivamente soluciones basadas en su experiencia anterior. Mientras que un conductor que efectúa todos los días el mismo recorrido está tan familiarizado con él que no lo afectan diferencias sustanciales entre las intersecciones que encuentra a lo largo del camino, un usuario ocasional puede confundirse ante situaciones desconcertantes como:
  - Serie de intersecciones provistas con un carril de espera para girar a la izquierda, entre las que se intercala otra en la que se ha previsto una rama semidirecta (salida por la derecha y posterior giro a la izquierda).
  - Una serie de distribuidores con una sola salida por la derecha, situada delante de un paso superior (puente para paso del camino transversal sobre la autopista), entre las que se intercalan otros con una salida detrás del puente, o con más de una salida, o con una salida por la izquierda.

La ordenación de la circulación y, especialmente la señalización vertical de orientación, deben tenerse en cuenta desde el principio del diseño, y no simplemente añadidas al final.

### 5.2.2 Ubicación de las intersecciones

#### ***En curvas horizontales***

Al ubicar una intersección en una curva:

- Se dificulta la visibilidad a los conductores en los caminos secundarios sobre el interior de la curva, porque el tránsito que se aproxima está parcialmente detrás de ellos, formando un ángulo artificial de oblicuidad
- Parte del triángulo de visibilidad puede quedar fuera de los límites de la zona de camino.

Se recomienda no ubicar intersecciones en curvas horizontales con radios menores que los indicados en la Tabla 5.1

Se recomienda como máximo 4% de peralte.

---

Tabla 5.1 Radios mínimos para ubicar intersecciones en curvas

Velocidad de directriz km/h	Radio m
40	250
50	375
60	550
70	750
80	1000
90	1220
100	1500
110	1850
120	2200
130	2600

**En pendiente**

Evitar las pendientes fuertes en la zona de la intersección para:

- Facilitar las maniobras de giro, y
- Facilitar las maniobras de aceleración y de frenado de los vehículos, con una conveniente evaluación de tales maniobras por parte de los conductores.

Se recomienda:

- Pendiente deseable del camino principal 3% o menos.
- Pendiente máxima aceptable 6%.

**En estructuras**

Las intersecciones deben ubicarse por lo menos a 50 m de cualquier puente, para dar:

- adecuada distancia visual de intersección,
- espacio adecuado para el eficaz comportamiento de la defensa que se instale en los bordes del puente como protección para los usuarios accidentalmente desviados.

**Ángulo de intersección**

Para dar a los conductores una adecuada visibilidad en el cruce y facilitar su reacción ante las decisiones que deban tomar, se recomienda proyectar las intersecciones con:

- Ángulo deseable de intersección 90°.
- Ángulo mínimo aceptable 60°.

Si el ángulo de oblicuidad es menor que 60°, se puede:

- Modificar el camino secundario (solución a),
- Reemplazar la intersección por dos intersecciones T espaciadas relativamente cerca. Un vehículo en el camino secundario seguiría así la ruta que comprende un giro a la izquierda hacia el camino principal, seguido de un giro a la derecha para salir (solución b).

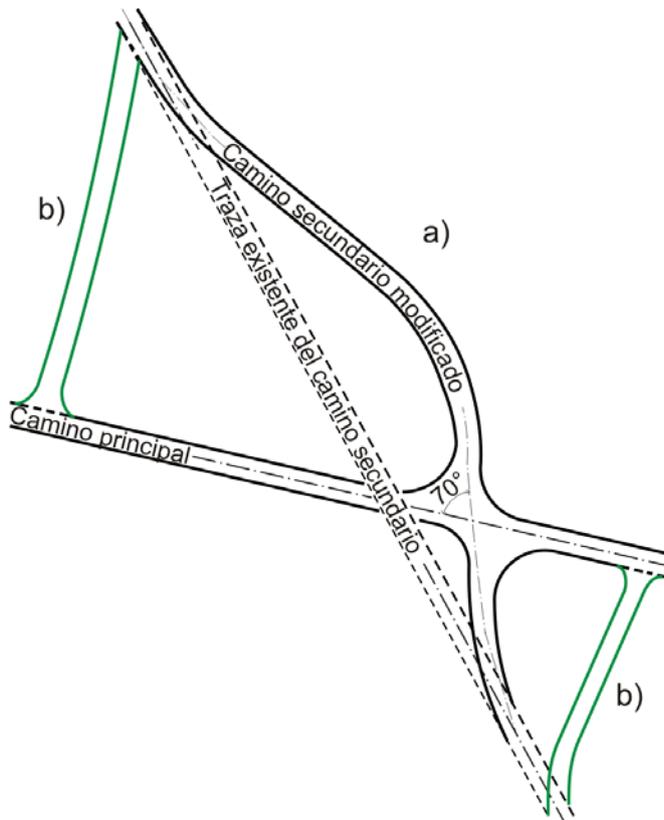


Figura 5.5 Modificación del ángulo de cruce

### ***Distancia visual de intersección***

El diseño de la intersección debe asegurar la distancia visual de detención a los conductores que circulan por el camino principal y por el secundario. Puede ser necesario modificar el alineamiento del camino principal, del secundario, o de ambos.

Si esto no es factible, se puede:

- Reubicar la intersección, o
- Proveer control PARE en todos los sentidos

La distancia visual en intersecciones se trata en [S5.3]

### **5.2.3 Espaciamiento entre intersecciones**

Rara vez los proyectistas pueden influir en el espaciamiento de los caminos de una red, dado en gran medida está impuesta por el uso del suelo. No obstante, el espaciamiento de las intersecciones influye significativamente en la operación, nivel de servicio y capacidad de un camino. La administración de acceso está destinada a mantener un sistema de transporte efectivo y eficiente para el movimiento de personas y bienes, sosteniendo simultáneamente el desarrollo del uso del suelo adyacente. Generalmente, el intensivo uso del suelo conduce a demandas por mejorar la infraestructura vial. Al permitir el acceso simplemente sobre la base de satisfacer alguno que otro requerimiento geométrico mínimo resultan crecientes conflictos de tránsito y una reducción de la capacidad, de modo que se pierde el beneficio del mejoramiento inicial.

Criterios para espaciar distribuidores:

- En zonas rurales, el espaciamiento comúnmente estará entre 8 y 16 kilómetros. El mínimo deseable en zonas rurales es de 3 kilómetros;
- En zonas urbanas, el espaciamiento mínimo deseable es de 1,5 km. Donde se desee o requiera un espaciamiento menor, se recomienda usar vías colectoras-distribuidoras, CD.

#### **5.2.4 Capacidad**

Para operar correctamente, una intersección debe satisfacer las demandas del tránsito de hora pico. El análisis de la capacidad se basa en las características operacionales de los vehículos conflictivos separados por las restricciones de tiempo, impuestas por los dispositivos de control de tránsito.

La medición y pronóstico de los flujos de tránsito y el análisis de la capacidad es un tema especializado. Los proyectistas deben referirse a los manuales y bibliografía comúnmente usados por la Dirección Nacional de Vialidad.

Una intersección controlada por PARE y CEDA EL PASO no afecta la capacidad del camino principal. La distribución de claros en el tránsito del camino principal y la aceptación de estos claros por los conductores del camino secundario influyen en la capacidad del camino principal.

La aceptación de claros depende del tiempo de percepción y reacción, la aceleración y la longitud del vehículo tipo considerado en el diseño. No es función de la velocidad de aproximación en el camino principal. Usualmente, los tiempos de aceptación de claros usados para determinar la capacidad son algo más cortos que los usados para calcular la distancia visual de intersección, descritos en [S5.3]. Los factores que afectan la capacidad incluyen:

- Velocidad de operación en el camino principal
- Distancia visual de la intersección
- Radios de las ramas de giro
- Trazado de la intersección y número de carriles
- Tipo de zona
- Proporción de vehículos pesados

Los factores críticos son la distancia visual de intersección y el número y disposición de los carriles de tránsito.

#### **5.2.5 Maniobras de los vehículos en las intersecciones.**

En las intersecciones aparecen conflictos entre vehículos debidos a las siguientes maniobras:

---

- **Cruce:** se produce cuando la trayectoria de un vehículo cruza la trayectoria de otros vehículos que atraviesan la intersección. Una de las dos corrientes de tránsito debe reducir su velocidad, o incluso detenerse.

El cruce puede ser directo, si el ángulo de oblicuidad está entre  $75^\circ$  y  $120^\circ$ , u oblicuo si el ángulo está en el rango de  $60^\circ$  a  $75^\circ$ . Los oblicuos deben evitarse en todo lo posible. Si el ángulo de oblicuidad es menor que  $60^\circ$ , debe analizarse la posibilidad de cambio de trazado en el camino transversal.

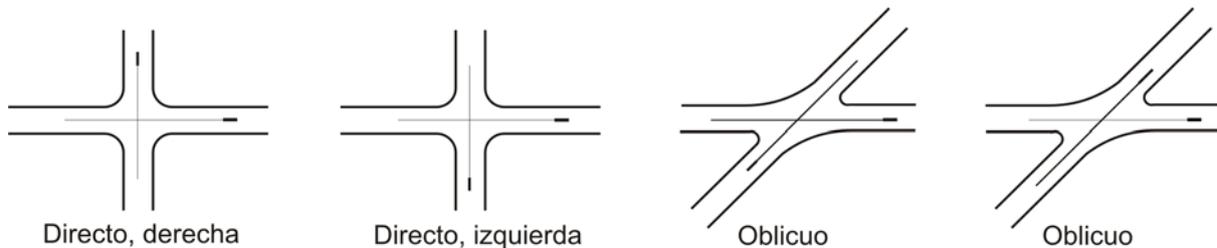


Figura 5.6 Cruces

- **Divergencia:** una trayectoria única se separa en dos. Si la elección del carril se facilita con antelación suficiente (carril adicional de salida), se reduce a un caso de circulación paralela entre carriles adyacentes.

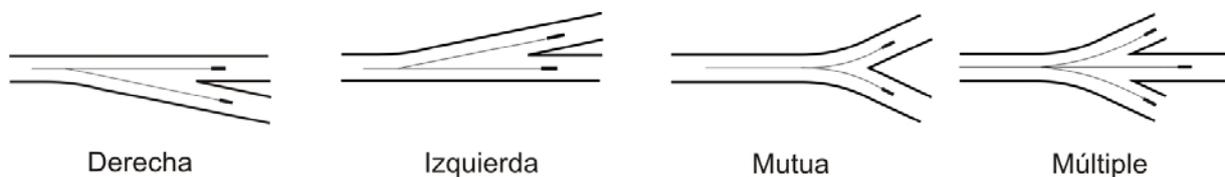


Figura 5.7 Divergencia

- **Convergencia:** dos trayectorias convergen en una común. La inserción de la corriente de tránsito menor en los huecos de la corriente vehicular de mayor importancia se puede facilitar mediante un carril adicional.

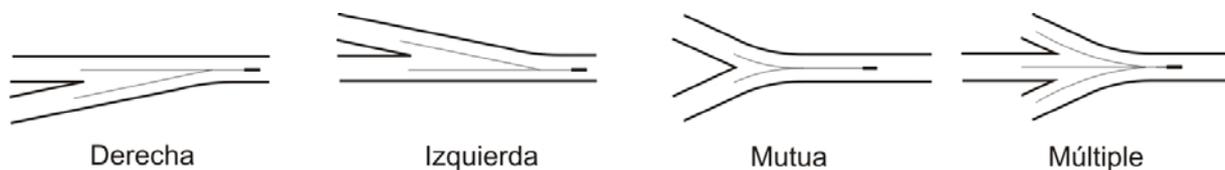


Figura 5.8 Convergencia

- **Entrecruzamiento o trenzado:** se combinan sucesivamente una convergencia, un tramo de circulación paralela y una divergencia. Si su longitud es suficiente, se puede mantener una velocidad aceptable y continua. El entrecruzamiento puede ser simple o múltiple.

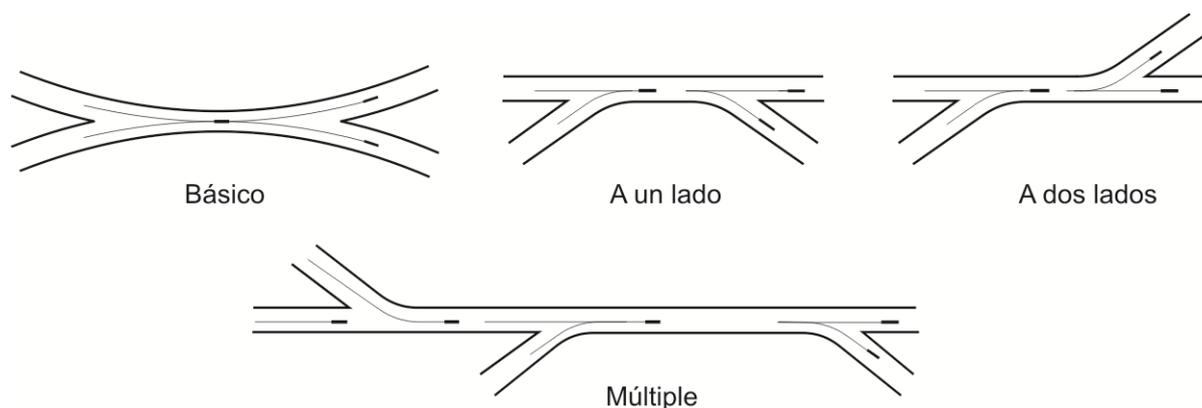


Figura 5.9 Entrecruzamiento o trenzado

Fuera de las intersecciones, se presenta la denominada *circulación paralela*. En este caso, las interacciones se producen por las diferencias de velocidad entre vehículos de carriles adyacentes y a los cambios de fila (un cambio de fila requiere, como mínimo, 3 segundos).

### 5.2.6 Puntos de conflicto

#### **Generalidades**

Las interacciones entre los vehículos, que no sean una circulación paralela, dan origen a lo que se llama *puntos de conflicto*: un nudo bien proyectado está formado por un conjunto organizado de ellos.

Los puntos de conflicto son potenciales de accidentes, cuya probabilidad media (asociada a cada movimiento) es el producto de la *exposición* de un cierto número de usuarios a un *riesgo* determinado por:

- La configuración de la intersección
- La ordenación de la circulación
- El comportamiento de los usuarios que resultan de ello

La exposición al riesgo será tanto mayor, cuanto mayor sea la intensidad de la circulación de los movimientos que en él intervengan. Conviene, por lo tanto, adaptar el tipo de nudo a la importancia de estas intensidades, haciendo corresponder a las mayores los menores niveles de riesgo, y evitando los tipos que den lugar a riesgos excesivos, incluso si las intensidades de tránsito expuestas a ellos fueran reducidas.

#### **Número**

El número de puntos de conflicto de una intersección aumenta muy rápidamente con el número de ramales que en él confluyen.

Como las condiciones de circulación mejoran si disminuye el número de puntos de conflicto, no resultan convenientes las intersecciones de más de cuatro ramales, sobre todo en lo relativo a los cruces.

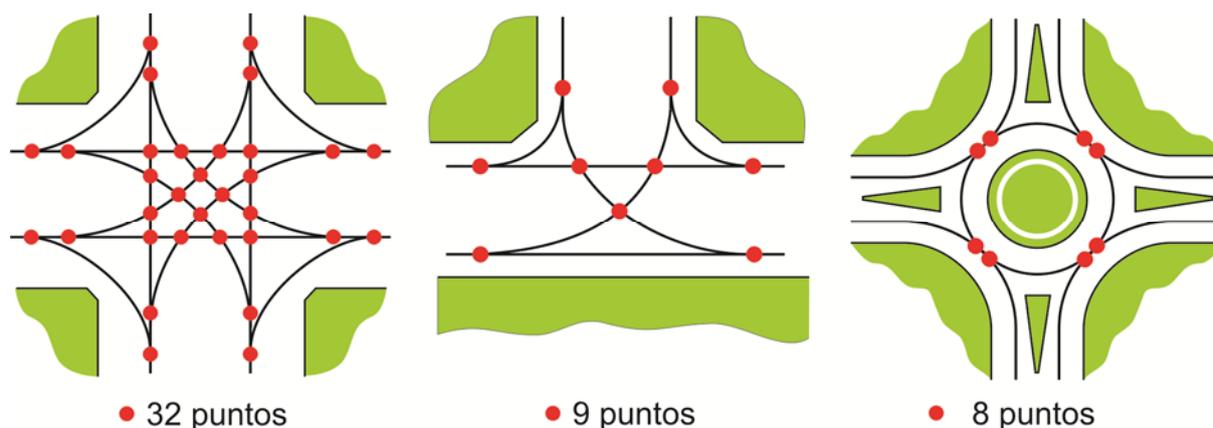


Figura 5.10 Puntos de conflicto en intersecciones y rotondas modernas

Para un número de ramales superior a cuatro, se recurre a:

- Usar soluciones que reduzcan el número de puntos de conflicto, sobre todo el de los cruces.
- Modificar el trazado de alguno de los tramos para que el nudo se transforme en dos contiguos, cada uno con 3 ó 4 ramales, para ello, hay que decidir el itinerario principal.
- Prohibir o agrupar los movimientos no prioritarios, o que se puedan resolver de otra manera.
- Establecer una circulación giratoria (rotondas) si, como es frecuente en zona urbana, todos los tramos son de parecida importancia, y no importa que los vehículos disminuyan su velocidad (y aun se detengan) al acceder al nudo.
- Separar los niveles de algún cruce (distribuidores).

### **Separación**

También la separación entre los puntos de conflicto influye en las condiciones de la circulación: hay que tener en cuenta las velocidades de los vehículos, y las necesidades de acumulación de los que tengan que esperar. En las intersecciones con semáforos, al existir una separación temporal entre ciertos movimientos, sus puntos de conflicto no necesitan estar separados en el espacio.

### **Velocidad relativa**

Tiene una gran influencia en la gravedad de un accidente la velocidad relativa de los vehículos en conflicto:

- En una convergencia, interesa que la componente de la velocidad del vehículo que se inserta, paralela a la del otro, sea lo más parecida posible a esta; en tanto que la componente perpendicular debe ser la menor posible. De ahí que en una convergencia interesen unos ángulos pequeños entre las trayectorias, y una velocidades análogas
- Las divergencias responden a un esquema similar en el que, para evitar las colisiones por alcance, interesa igualar las velocidades de los vehículos cuyas trayectorias se separan. Si uno de ellos se va a tener que detener o inscribir en una curva de velocidades específica reducida, esto puede necesitar unos carriles de espera o de cambio de velocidad, respectivamente

- En un cruce, para disminuir el tiempo necesario para realizarlo, interesa que las trayectorias se corten perpendicularmente y no con ángulos pequeños, con lo que se consiguen, además, unas mejores condiciones de visibilidad y de evaluación de la velocidad del otro vehículo

### 5.2.7 Movimientos de paso y movimientos de giro

#### **Generalidades**

Los vehículos que por un tramo de camino acceden a una intersección, pueden seguir, salvo que sean físicamente imposibles o estén prohibidas, tres trayectorias distintas:

- Un movimiento de *paso*, con una trayectoria que cruza a las demás para seguir por la prolongación del tramo de acceso.
- Un *giro a la derecha*, para seguir por otro tramo más o menos perpendicular al de acceso, normalmente sin cruzar a ninguna otra trayectoria.
- Un *giro a la izquierda*, para seguir por otro tramo más o menos perpendicular al de acceso, pero en el que resulta imposible evitar el cruce de alguna otra trayectoria (normalmente la del movimiento de paso en sentido opuesto al de acceso). La forma de resolver este tipo de giros caracteriza a la intersección.

#### **Movimientos de paso**

Los movimientos de paso se tienen que realizar con la mayor continuidad y facilidad posible; en algunos casos, hay que adaptar la disposición de los tramos (normalmente el menos importante) a la importancia relativa de sus tránsitos para la obtención de un ángulo comprendido entre 60 y 120 grados.

En la zona de la intersección, las trayectorias de paso no deben reducir su estándar geométrico, a fin que no empeore el nivel de servicio por la perturbación producida por la presencia del nudo. Además, es preciso que la visibilidad disponible en esta zona sea la mayor posible, para que los conductores puedan identificar fácilmente las opciones que se les ofrecen. Hay que evitar, por lo tanto, las alineaciones curvas y las curvas verticales que oculten, aunque sea parcialmente, a la intersección y sobre todo, las divergencias.

Los carriles reservados al tránsito de paso deben ser continuos, y claramente identificables por los conductores. Su número sólo se puede reducir una vez superada una divergencia en la que haya una disminución significativa de la intensidad de la circulación.

Si la intensidad de giro es comparable o mayor que la de los movimientos de paso, las divergencias se deben plantear como bifurcaciones y las convergencias como confluencias.

#### **Movimientos de giro**

- **Giros a la derecha:** según el volumen de giro (y su relación con el tránsito principal), la velocidad deseada y el espacio disponible, pueden usarse algunos de los elementos siguientes:
-

- Carril de giro sin canalizar: los giros se realizan a velocidad de maniobra (15 km/h) y la vía de giro no se despega del punto de cruce de las trayectorias de paso,
- Carril de giro canalizado: si se aumenta ligeramente la velocidad prevista para el giro (hasta unos 25 km/h) utilizando radios mayores y ampliando la superficie encerrada en el cuadrante, y no se quiere aumentar excesivamente el área pavimentada, es preciso separar los puntos de conflicto y encauzar las trayectorias mediante isletas partidoras.
- Rama de giro: si se necesitan velocidades más elevadas (30 km/h o más) para el giro, el ramal se separa totalmente de la zona del cruce, determinando un cuadrante o isleta a veces más grande. Se utiliza en distribuidores.
- Cuñas de transición: para mejorar las condiciones de entrada y/o salida de la calzada principal,
- Carriles de cambio de velocidad: solución de mayor nivel que la cuña de transición. Se aconseja disponer estos carriles auxiliares cuando el TMDA del giro es mayor que 200 v/d.

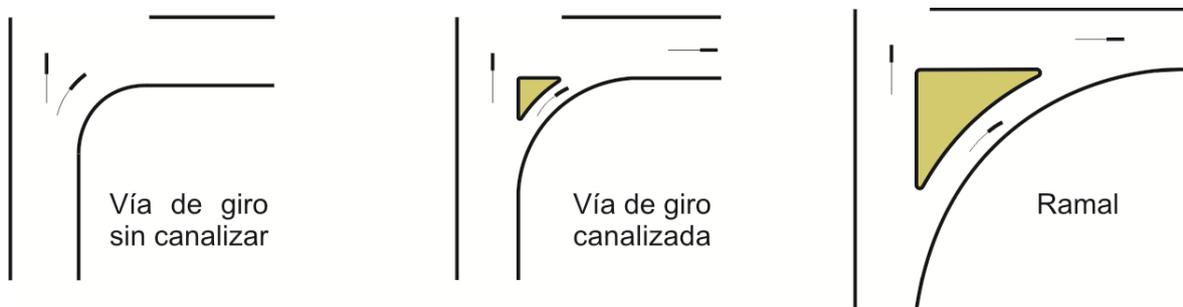


Figura 5.11 Vías de giro a la derecha

La relación entre las intensidades horarias de tránsito total y de giro a derecha determina cual de las soluciones anteriores es más aconsejable (Figura 5.12)

Fuente:

Report 279 "Guía de diseño de intersecciones canalizadas", NCHRP, Transportation Research Board, USA.

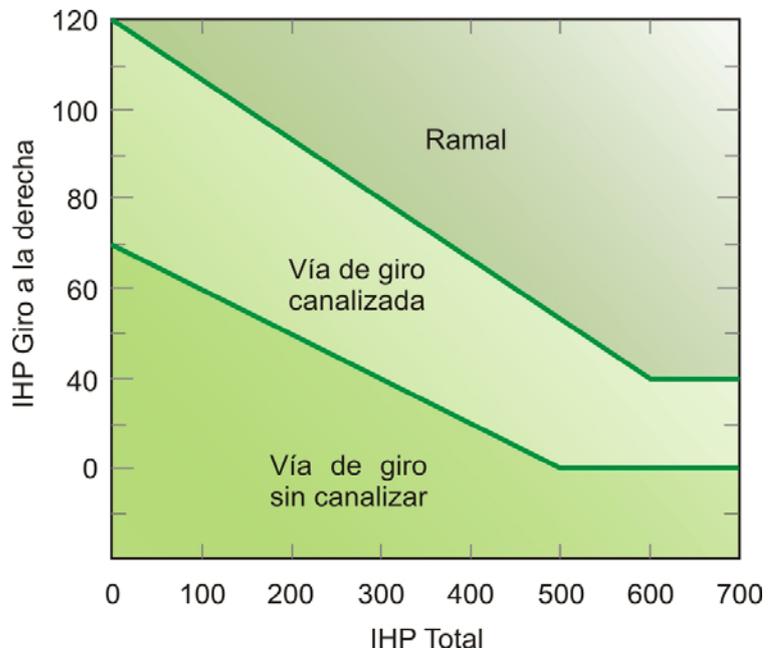


Figura 5.12  
Guía para diseño de vías de giro a la derecha  
(V camino principal  $\geq$  90 km/h)

- **Giros a la izquierda:** los vehículos que realizan este movimiento normalmente tienen un cruce con otras corrientes de tránsito. Por lo tanto, la forma de resolver el giro a izquierda define la intersección. Si existe un gran volumen de vehículos que giran a la izquierda, pueden estorbar los movimientos directos y por lo tanto debieran esperar fuera de los carriles directos.

Por razones de seguridad, en las intersecciones de prioridad deben observarse los principios siguientes:

- Simplicidad: pocas isletas, tan pocas para carriles de giro derecha como sea posible;
- Ausencia de ambigüedades: en la definición del tipo de operación de la intersección y el trazado de las ramas;
- Los conductores deben tomar una decisión por vez;
- Coherencia entre trazado y prioridad. La trayectoria correcta debe ser fácil de seguir y realmente continua;
- Deflexiones en trayectorias no prioritarias (excepto, en ambientes densamente urbanizados).

El giro a izquierda puede tratarse con las formas siguientes:

- No canalizadas;
- Canalizada con lágrima en el camino secundario;
- Canalizada con carril central para espera y giro izquierda ;
- Carril de giro semidirecto (en intersecciones en T) o rotondas partidas (en intersecciones en cruz).

Los tres primeros indican un orden de calidad de menor a mayor en la resolución del giro. La resolución con carriles tipo semidirecto sólo son admisibles en caminos de bajo tránsito.

La disposición de carriles centrales para espera y giro es recomendable en caminos con tránsito importante. Tienen las siguientes ventajas:

- Permiten desacelerar fuera de los carriles de tránsito rápido (pasante)
- Brindan un área especial de espera para los giros, facilitando además la semaforización de la intersección.
- Los conductores que giran solo deben prestar atención a la corriente vehicular principal de sentido contrario.

Para determinar la conveniencia de disponer carriles centrales para espera y giro a izquierda en intersecciones sin semaforizar puede hacerse uso de la Figura 5.13 (si la V del camino principal es menor que 90 km/h) o de la Figura 5.14 (si la V del camino es mayor o igual a 90 km/h). *Fuente: NCHRP Report 279 “Guía de diseño de intersecciones canalizadas”, Transportation Research Board, USA.*

En ella se ingresa con los volúmenes horarios del camino principal (en cada uno de los sentidos; VA: tránsito en el sentido de avance, VO: tránsito en el sentido opuesto) y el porcentaje de giros a izquierda.

---

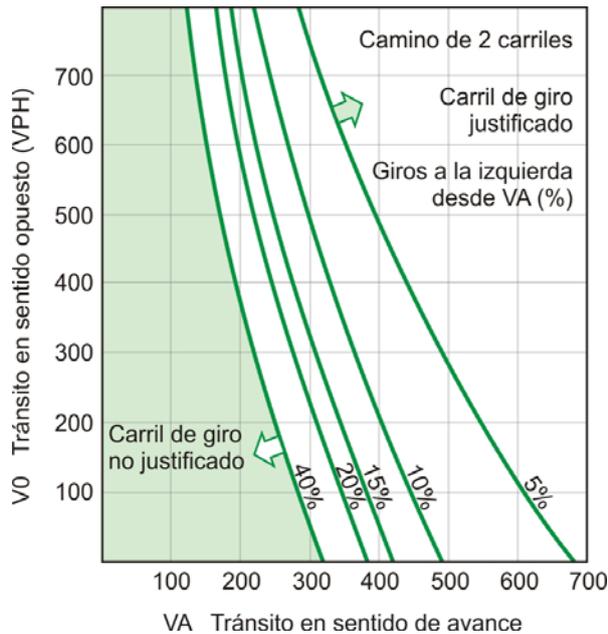


Figura 5.13 Guía para diseño de carriles centrales para giro a izquierda en intersecciones no semaforizadas.  $V < 90$  km/h

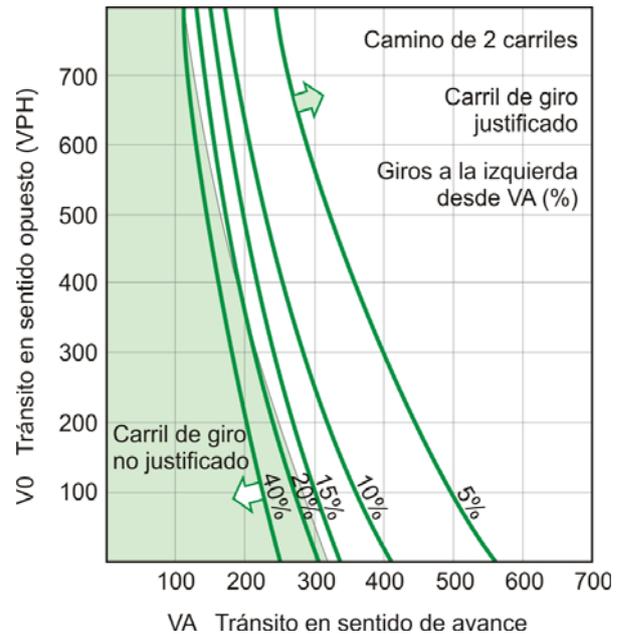


Figura 5.14 Guía para diseño de carriles centrales para giro a izquierda en intersecciones no semaforizadas.  $V \geq 90$  km/h

En [SS5.6.2] se dan recomendaciones para el diseño de las isletas triangulares y las isletas centrales para definir carriles de giro a izquierda.

En el [C6] se indican las soluciones para los giros a izquierda en distribuidores: ramas indirectas (rulos), ramas semidirectas y ramas directas.

### 5.3 DISTANCIA VISUAL EN INTERSECCIONES

#### 5.3.1 Consideraciones generales

La distancia visual es uno de los elementos esenciales en la seguridad de un camino y su provisión posibilita una operación eficiente. En este apartado se señalan medidas de diseño necesarias para que una intersección ofrezca, en todos sus puntos, suficiente visibilidad como para permitir a un conductor realizar las maniobras necesarias para cruzar con seguridad y con el mínimo de interferencias.

Para ello se asume como condición que los conductores se aproximan a dicha intersección a una velocidad compatible con la Velocidad directriz del camino por el cual circulan.

Las distancias visuales mínimas que se consideran seguras en una intersección, están relacionadas directamente con la velocidad de los vehículos y las distancias recorridas durante tiempos normales de percepción, reacción y frenado, bajo ciertas hipótesis de condiciones físicas y de comportamiento de los conductores.

Aunque la provisión de adecuada visibilidad y de apropiados sistemas de control puede reducir significativamente la probabilidad de accidentes en intersecciones, la ocurrencia de éstos dependerá del juicio, habilidades y respuestas de los conductores por separado. En todo punto de un camino el conductor debe tener visión plena, en el sentido de su marcha, en una longitud por lo menos igual a la Distancia de Detención.

La distancia visual en las intersecciones se provee para que los conductores perciban la presencia de vehículos potencialmente conflictivos. Esto debe ocurrir con tiempo suficiente como para que el conductor se detenga o ajuste su velocidad, y evite chocar en la intersección. Los métodos para determinar las distancias visuales necesarias por los conductores que se acercan a una intersección se basan en los mismos principios que la distancia visual de detención, DVD, pero incorpora suposiciones modificadas sobre la base del comportamiento observado de los conductores en las intersecciones.

El conductor de un vehículo que se acerca a una intersección debe tener una visión libre de ella, incluyendo los dispositivos de control de tránsito y longitudes suficientes a lo largo del camino que se intersecta, para anticipar y evitar potenciales choques. La distancia visual también se provee en las intersecciones para permitir a los conductores de los vehículos detenidos (por efecto de un cartel de PARE), una vista suficiente del camino que se intersecta para decidir cuándo entrar en ella o cruzarla.

### **5.3.2 Triángulos de visibilidad**

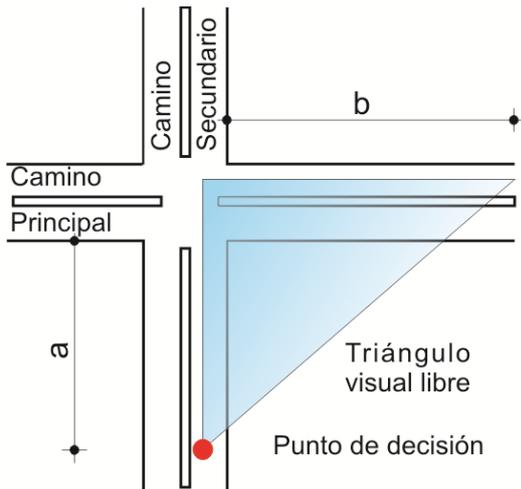
Cada cuadrante de una intersección debe contener un triángulo visual despejado, libre de obstrucciones que puedan bloquear la vista de los conductores. Se requieren dos formas diferentes de triángulos visuales: de aproximación o llegada, y de partida o salida.

El triángulo de aproximación tendrá catetos con longitudes suficientes sobre los dos caminos que se intersectan tales que los conductores puedan ver cualquier vehículo potencialmente conflictivo con suficiente tiempo para disminuir su marcha, o detenerse de ser necesario, antes de entrar en la intersección. Para el triángulo de partida, la línea visual descrita por la hipotenusa del triángulo debe ser tal que un vehículo recién visto sobre el camino principal tenga a la velocidad de diseño un tiempo de viaje hasta el punto de conflicto, mayor o igual al correspondiente al claro aceptable por el conductor del vehículo en el camino secundario para realizar su maniobra (cruce o incorporación). Ambas formas de triángulos visuales se requieren en cada cuadrante de la intersección. La línea visual supone alturas de ojo de conductor y de objeto de 1,10 y 1,3 metros. Los triángulos visuales de aproximación y partida se ilustran en la Figura 5.15. Las áreas sombreadas deben mantenerse libres de vegetación o cualquier otro obstáculo a la línea visual. Por esa razón, toda el área del triángulo visual debe formar parte de la zona de camino.

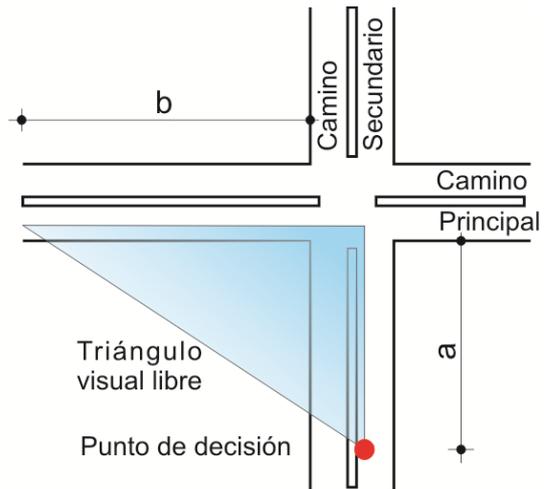
---

Además, las rasantes de los caminos que se intersectan deben diseñarse para dar la requerida distancia visual. Si alguno de los accesos está en desmonte, los triángulos visuales afectados deben ser excavados para asegurar la visibilidad entre ellos.

Dado que la tasa de aceleración de los camiones es menor que las de los automóviles y la distancia que un camión tiene que recorrer para pasar por la intersección es más larga, el claro aceptable para un camionero es mayor que el requerido por un automovilista. Para evaluar la disponibilidad de distancia visual en ese caso se adopta una altura del ojo del camionero de 2,2 m.

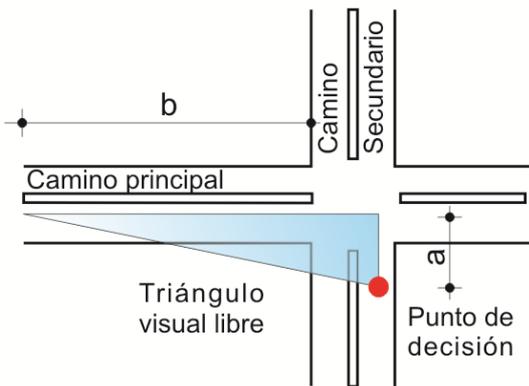


Triángulo visual de aproximación para ver el tránsito que se aproxima desde la derecha

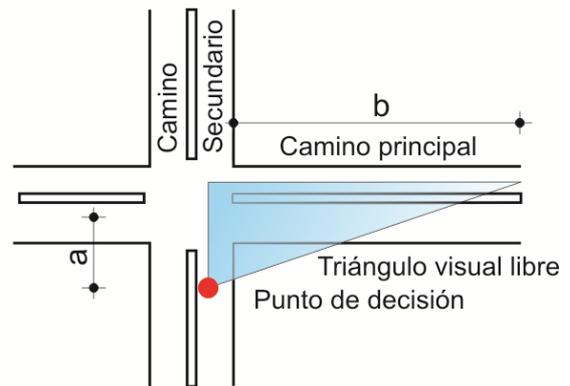


Triángulo visual de aproximación para ver el tránsito que se aproxima desde la izquierda

A - Triángulos visuales de aproximación



Triángulo visual de partida para ver el tránsito que se aproxima desde la izquierda



Triángulo visual de partida para ver el tránsito que se aproxima desde la derecha

B - Triángulos visuales de partida

Figura 5.15 Triángulos de visibilidad

### 5.3.3 Tipos de control de intersección

Las dimensiones recomendadas de los triángulos visuales libres de obstáculos varían con el tipo de control de tránsito usado en una intersección porque imponen diferentes restricciones legales sobre los conductores, las que resultan en diferentes comportamientos de los conductores. Se presentan las recomendaciones de distancia visual para intersecciones de los siguientes tipos:

- Sin control (Caso A)
- Control PARE en el camino secundario (Caso B)
  - Giro izquierda desde camino secundario (Caso B1)
  - Giro derecha desde camino secundario (Caso B2)
  - Cruce desde camino secundario (Caso B3)
- Control CEDA EL PASO en camino secundario (Caso C)
  - Cruce en camino secundario (Caso C1)
  - Giro desde camino secundario (Caso C2)
- Control Semáforos (Caso D)
- Control PARE en todos los sentidos (Caso E)

También se presenta una recomendación de distancia visual para vehículos detenidos que giran a la izquierda desde un camino principal (Caso F).

- ***Intersecciones sin control (Caso A)***

En estos casos, los conductores deben ser capaces de ver a los vehículos potencialmente conflictivos en los accesos a intersecciones con tiempo suficiente para detenerse con seguridad antes de alcanzar la intersección. Los triángulos visuales con ramales iguales a la distancia visual de detención se deben brindar en todas las aproximaciones a intersecciones sin control.

Si los triángulos visuales de este tamaño no pueden proveerse, las longitudes de los ramales en cada aproximación pueden determinarse desde un modelo análogo al de distancia visual de detención, con suposiciones ligeramente diferentes. Las observaciones de campo indican que los vehículos que se aproximan a intersecciones sin control típicamente bajan la velocidad a aproximadamente el 50% de su velocidad de marcha normal. Esto ocurre aun cuando no haya presente ningún vehículo potencialmente conflictivo. Las tasas de desaceleración usuales son de hasta  $1,5 \text{ m/s}^2$ .

El frenado a mayores tasas de desaceleración, que pueden aproximarse a las supuestas en el cálculo de las distancias visuales de detención, comienza a 2,5 s después que se ve un vehículo en la aproximación a la intersección. Así, los vehículos que se aproximan pueden estar viajando a menor velocidad que la normal durante todo o parte del tiempo de percepción-reacción, y pueden frenar hasta una detención desde una velocidad menor que la velocidad de marcha normal.

La Tabla 5.2 muestra la distancia recorrida por un vehículo que se aproxima durante el tiempo de percepción, reacción y frenado, en función de la velocidad de diseño.

---

Tabla 5.2 Distancias visuales recomendadas para intersecciones sin control acceso (Caso A)

Velocidad Directriz km/h	Distancia Visual m
20	20
30	25
40	30
50	40
60	50
70	65
80	80
90	95
100	120
110	140
120	165

Estas distancias deben usarse como ramales de los triángulos visuales mostrados en la Figura 5.15. Donde la pendiente de un acceso a intersección supere el 3%, el ramal del triángulo visual a lo largo de ese acceso debe ajustarse multiplicando la distancia de la Tabla 5.2 por el factor de ajuste de la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Factores ajuste para distancias visuales aproximación basadas en pendiente aproximación

Pendiente aproximación %	Velocidad directriz km/h									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
-8	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
-5	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
-4	1	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
-3 a +3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
+4	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
+5	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
+6	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Si no pueden darse estas distancias, debe instalarse señalización preventiva para reducir la velocidad, o instalar señales PARE en una o más aproximaciones. Normalmente, las intersecciones sin control no requieren triángulo visual de partida porque tienen bajos volúmenes de tránsito.

Si un conductor necesita detenerse en una intersección sin control por la presencia de un vehículo conflictivo, es improbable que se encuentre otro vehículo potencialmente conflictivo mientras el primero parte de la intersección.

- **Intersecciones con control PARE en camino secundario (Caso B)**

Los triángulos visuales de partida para intersecciones con control PARE en el camino secundario deben considerarse para tres situaciones:

- Giros izquierda desde camino secundario (Caso B1)
- Giros derecha desde camino secundario (Caso B2)
- Cruce de camino principal desde camino secundario (Caso B3)

Como se muestra en la Figura 5.15 (A), en las intersecciones controladas por PARE no se necesitan triángulos visuales de aproximación porque todos los vehículos del camino secundario deben parar antes de entrar o cruzar el camino principal.

Los vehículos que giran a la izquierda desde el camino secundario tienen que cruzar la corriente de tránsito que se aproxima por la izquierda y luego converger con la corriente que se aproxima desde la derecha. Dado que la maniobra de convergencia requiere que los vehículos que giran sean capaces de acelerar aproximadamente a la velocidad de la corriente con la cual convergen, necesita un claro más largo que el de la maniobra de cruce.

- *Giro izquierda desde camino secundario (Caso B1)*

Para giros a la izquierda desde el camino secundario hacia el camino principal para todos los accesos controlados con PARE, debe proveerse un triángulo visual de partida para el tránsito que se aproxima desde la derecha, como se muestra en la Figura 5.15 (B).

Observaciones de campo de los claros aceptados por los conductores de los vehículos que giran a la izquierda hacia el camino principal, muestran que los valores de la Tabla 5.4 dan suficiente tiempo al vehículo del camino secundario para acelerar desde parado y converger con el tránsito sin interferencia. Estas observaciones también revelaron que los conductores del camino principal podrían reducir su velocidad en algún porcentaje para acomodar a los vehículos que entran desde el camino secundario. Donde para determinar la longitud del lado del triángulo visual de partida a lo largo del camino principal se usen los valores de aceptación de claros de la Tabla 5.4, la mayoría de los conductores del camino principal no necesitan reducir la velocidad a menos del 70% de su velocidad inicial.

Cuando el porcentaje de vehículos pesados que ingresa desde el camino secundario es sustancial, deben aplicarse los valores para camiones simples o semirremolques.

Tabla 5.4 Tiempos Viaje Usados para Determinar Lado del Triángulo Visual de Partida a lo largo de Camino Principal para Giros Izquierda y Derecha desde Aproximaciones Controladas con PARE (Casos B1 y B2)

Vehículo diseño	Tiempo de viaje (s) a la velocidad diseño del camino principal
Automóvil	7,5
Camión unidad - simple	9,5
Semirremolque	11,5

Ajuste para caminos multicarriles: para giros izquierda hacia caminos de doble calzada con más de dos carriles, añada 0,5 s para automóviles o 0,7 s para camiones por cada carril adicional cruzar por el vehículo que gira. Para giros derecha, no es necesario ningún ajuste.

Ajuste por pendientes de aproximación: si la pendiente de aproximación en el camino secundario excede +3%, agregue 0,1 s por cada 1% de pendiente para giros derecha; agregue 0,2 s por cada 1% de pendiente para giros izquierda

Si no pueden proveerse las distancias visuales a lo largo del camino principal basadas en la Tabla 5.4 (incluyendo los ajustes), debe considerarse la instalación de señales de velocidad máxima en las aproximaciones del camino principal. La Tabla 5.4 incluye ajustes de los claros aceptables según el número de carriles en el camino principal y para la pendiente de aproximación del camino secundario.

El ajuste para la pendiente de la aproximación del camino secundario sólo es necesario si las ruedas traseras del vehículo de diseño estuvieran en una pendiente positiva más empinada que 3% (con el vehículo parado en la línea de detención). La longitud del triángulo visual a lo largo del camino principal (distancia "b" en la Figura 5.15) es el producto de la velocidad de diseño del camino principal en m/s por el claro crítico en segundos.

La dimensión "a" depende del contexto en que se diseña la intersección. En zonas urbanas, los conductores tienden a detener sus vehículos inmediatamente detrás de la línea PARE, que puede ubicarse virtualmente en la línea del borde del camino principal. Por lo tanto, un automovilista podría ubicarse alrededor de 2,4 m separado de la línea PARE. Usualmente, en zonas rurales los vehículos se detienen en el borde de banquina del camino principal. Así, en el caso de banquetas de tres metros de ancho el conductor estaría unos 5,4 metros fuera del borde de calzada.

Donde el camino principal sea de doble calzada, tienen que considerarse dos triángulos visuales de partida: un triángulo hacia la izquierda, como para el movimiento de cruce (Caso B3) y uno usando el claro aceptado como se lista en la Tabla 5.4 para los vehículos que se acercan desde la derecha. Esto presupone que el ancho de la mediana es suficiente para refugiar al vehículo que gira desde el camino secundario. Si el ancho de mediana es inadecuado, el ajuste en la Tabla 5.4 para caminos principales multicarriles debe aplicarse con el ancho de mediana considerado como un carril adicional.

El triángulo visual de partida debe comprobarse para varios vehículos de diseño porque el ancho de la mediana puede ser adecuado para un tipo de vehículo y no para otro, de modo que tienen que evaluarse dos situaciones.

- *Giro derecha desde camino secundario (Caso B2)*

Como se muestra en la Figura 5.15, para giros a la derecha desde el camino secundario debe proveerse triángulo visual para el tránsito que se aproxima desde la izquierda. Generalmente, las longitudes de los lados del triángulo visual de partida para giros derecha deben ser iguales que las usadas para giros a la izquierda en el Caso B1. Específicamente, la longitud del lado del triángulo visual de partida (dimensión "b") a lo largo del camino principal debe basarse en los tiempos de viaje de la Tabla 5.4, incluyendo los adecuados factores de ajuste.

La dimensión "a" depende del contexto del diseño y puede variar de 2,4 a 5,4 m. Donde a lo largo del camino principal no puedan proveerse las distancias visuales basadas en los tiempos de viaje de la Tabla 5.4, debe considerarse que las observaciones de campo indican que, al girar a la derecha, los conductores generalmente aceptan claros ligeramente más cortos que los aceptados al girar a la izquierda. Donde fuere necesario, los tiempos de viaje de la Tabla 5.4 pueden disminuirse en 1 a 1,5 s para maniobras de giro a derecha, sin indebida interferencia con el tránsito en el camino principal. Cuando la distancia visual recomendada para una maniobra de giro a derecha no pueda proveerse, aun con una reducción de 1 a 1,5 s, debe considerarse la instalación de señales de velocidad máxima en las aproximaciones del camino principal.

- *Cruce desde camino secundario (Caso B3)*

En la mayoría de los casos puede suponerse que los triángulos visuales de partida para giros izquierda y derecha hacia el camino principal, Casos B1 y B2, también proveerán adecuada distancia visual para el cruce. Sin embargo, es aconsejable comprobar la disponibilidad de distancia visual para las maniobras de cruce en:

- Donde no se permiten los giros izquierda y/o derecha desde una aproximación particular, y el cruce es la única maniobra legal;
- Donde el vehículo que cruza tiene que atravesar cuatro o más carriles;
- Donde una importante cantidad de camiones crucen el camino, y donde haya rampas elevadas en la calzada de partida sobre el lado lejano de la intersección que pudieran hacer disminuir la marcha al vehículo mientras su parte trasera está todavía en la intersección.

La Tabla 5.5 provee tiempos de viaje y factores de ajuste que pueden usarse para determinar la longitud a lo largo del camino principal del lado del triángulo visual, adecuada a las maniobras de cruce.

---

Tabla 5.5 Tiempos de viaje usados para determinar lado del triángulo visual de partida a lo largo camino principal para acomodar maniobras cruce en intersecciones controladas por PARE (Caso B3)

Vehículo diseño	Tiempo de viaje (s) a la velocidad diseño del camino principal
Automóvil	6,5
Camión unidad - simple	8,5
Semirremolque	10,5

Ajuste para caminos multicarriles: para cruzar un camino principal con más de dos carriles, añada 0,5 s para automóviles y 0,7 s para camiones por cada carril adicional a cruzar. En caso de calzadas dobles con inadecuado ancho de mediana para refugio, cuente la mediana como otro carril a cruzar.

Ajuste por pendientes de aproximación: si la pendiente de aproximación del camino secundario excede 3 %, añada 0,2 s por cada 1% de pendiente en exceso de 3 %.

En intersecciones de caminos de calzadas divididas, según el ancho de la mediana y longitud del vehículo de diseño, puede necesitarse distancia visual para ambos cruces del camino dividida, o para cruzar sólo los carriles próximos y detenerse en la mediana antes de proseguir.

- **Intersecciones con control CEDA EL PASO en camino secundario (Caso C)**  
Los vehículos que entran en un camino principal en una intersección controlada por CEDA EL PASO pueden, por la presencia de tránsito opuesto en el camino principal, ser requeridos a detenerse. Por lo tanto, los triángulos visuales de partida descritos para el control PARE deben proveerse para la condición Ceda el paso.

Sin embargo, si no hay vehículos conflictivos presentes, a los conductores que se aproximan a las señales CEDA se les permite entrar o cruzar el camino principal sin detenerse. Las distancias visuales necesarias para los conductores en aproximaciones controladas por CEDA exceden a las controladas por PARE por el mayor tiempo de viaje del vehículo en el camino secundario.

Para intersecciones de cuatro ramales con control CEDA en el camino secundario, deben proveerse dos juegos separados de triángulos visuales de aproximación, como se muestra en la Figura 5.15 (A): uno para ubicar los giros izquierda y derecha hacia el camino principal, y otro para cruzar. Ambos conjuntos de triángulos visuales deben verificarse por potenciales obstrucciones visuales.

- **Cruce (Caso C1)**  
Las longitudes del lado de aproximación de un triángulo visual a lo largo del camino secundario para conformar la maniobra de cruce desde una aproximación controlada por CEDA EL PASO (distancia "a" en la Figura 5.15 (A) se dan en la Tabla 5.6. Las distancias y tiempos de la Tabla 5.6 deben ajustarse para la pendiente de la aproximación del camino secundario, usando los factores de la Tabla 5.3.

La longitud del lado de aproximación del triángulo visual a lo largo del camino principal para disponer la maniobra de cruce (distancia "b" en la Figura 5.15 (A) se calcula con las ecuaciones siguientes:

$$t_c = t_a + \frac{w + l_a}{0,167 V_{\text{menor}}}$$

$$b = 0,278 V_{\text{mayor}} \times t_c$$

Donde:

$t_c =$	tiempo de viaje para llegar y pasar por el camino principal en una maniobra de cruce, (s).
$b =$	longitud de lado de triángulo visual a lo largo del camino principal (m)
$t_a =$	tiempo de viaje para llegar al camino principal desde el punto de decisión para un vehículo que no se detiene (s) (usar valor adecuado para la velocidad de diseño del camino secundario según la Tabla 5.6, ajustado por pendiente de aproximación)
$w =$	ancho de intersección a cruzar (m)
$l_a =$	longitud del vehículo de diseño (m)
$V_{\text{menor}} =$	velocidad de diseño en camino secundario (km/h)
$V_{\text{mayor}} =$	velocidad de diseño de camino principal (km/h)

Estas ecuaciones dan tiempo de viaje suficiente para el vehículo del camino principal, durante el cual el vehículo del camino secundario puede:

- viajar desde el punto de decisión hasta la intersección, mientras desacelera a la tasa de  $1,5 \text{ m/s}^2$  hasta el 60% de la velocidad de diseño del camino secundario; y
- cruzar y pasar la intersección a la misma velocidad.

Las observaciones de campo no dan indicación clara del tamaño del claro aceptable al conductor de un vehículo ubicado en el punto de decisión en el camino secundario. Si el claro requerido es más largo que el indicado por las ecuaciones anteriores, el conductor podría, muy probablemente, detener el vehículo y entonces seleccionar un claro sobre la base del Caso B. Si el claro aceptable es más corto que el indicado por las ecuaciones anteriores, la distancia visual provista podría, por lo menos, dar un margen de seguridad.

Si el camino principal es un camino de calzada dividida con una mediana bastante ancha como para almacenar al vehículo de diseño para la maniobra de cruce, entonces sólo es necesario considerar el cruce de los carriles próximos y entonces debe proveerse un triángulo visual de partida para acelerar desde una posición de detención en la mediana, sobre la base del Caso B1.

Tabla 5.6 Lado de triángulo visual de aproximación a lo largo camino secundario para proveer maniobras de cruce desde aproximaciones controladas por CEDA EL PASO

Velocidad Directriz km/h	Distancia a lo largo camino secundario m	Tiempo de viaje desde punto decisión hasta camino principal
30	30	3,4
40	40	3,7
50	50	4,1
60	65	4,7
70	85	5,3
80	110	6,1
90	140	6,8
100	165	7,3
110	190	7,8
120	230	8,6

o *Giros a derecha e izquierda (Caso C2)*

Para brindar los giros izquierda y derecha sin detención (distancia "a" en la Figura 5.15 (A)), la longitud del lado de aproximación del triángulo visual a lo largo del camino secundario debe ser de 25 m. Esta distancia se basa en la suposición de que los conductores que giran a izquierda o derecha sin detenerse aminorarán la velocidad hasta una velocidad de giro de 15 km/h.

La longitud del lado de la aproximación del triángulo visual a lo largo del camino principal (distancia "b" en la Figura 5.15 (B)) es similar a la del lado del camino principal del triángulo visual de partida de intersecciones controladas por PARE en los Casos B1 y B2.

Para una intersección controlada por CEDA, los tiempos de viaje de la Tabla 5.4 deben aumentarse 0,5 s. El vehículo del camino secundario requiere 3,5 s de viaje desde el punto hasta la intersección. Estos 3,5 segundos representan tiempo adicional de viaje necesario en las intersecciones controladas por CEDA (Caso C). Sin embargo, el tiempo de aceleración después de entrar en el camino principal es 3 s menos para una señal CEDA que para una señal PARE, porque el vehículo que gira acelera desde 15 km/h en lugar de una parada. El incremento neto de 0,5 s del tiempo de viaje para un vehículo que gira desde una aproximación controlada por Ceda es la diferencia entre el incremento de 3,5 s en el tiempo de viaje en la aproximación y los 3 s de reducción en tiempo de viaje en la partida ya explicada. Dado que los triángulos visuales para las maniobras de giro en una aproximación controlada por CEDA es mayor que los triángulos visuales de partida usados en las interacciones controladas por Pare, no será necesario ninguna comprobación específico en las intersecciones controladas por CEDA.

- **Control semáforo (Caso D)**

En general, los triángulos visuales de aproximación o partida no son necesarios en las intersecciones semaforizadas. En realidad, la semaforización puede ser una adecuada medida contra accidentes para intersecciones de alto volumen con distancia visual restringida y una historia de accidentes relacionados con la distancia visual.

Sin embargo, los semáforos en una intersección suelen disponerse en amarillo intermitente en ambos sentidos bajo condiciones fuera de hora pico o a la noche. Para considerar estas eventualidades, deben proveerse adecuados triángulos visuales de partida para el Caso B, derecha e izquierda, en las aproximaciones del camino secundario.

- **Control PARE en todos los sentidos (Caso E)**

En las intersecciones con control PARE en todos los sentidos, el primer vehículo detenido en cada aproximación sería visible a los conductores de los primeros vehículos detenidos en cada uno de las otras aproximaciones. Así, no es necesario proveer triángulos de distancia visual en las intersecciones con control PARE en todos los sentidos.

El control PARE en Todos los sentidos puede ser una opción a considerar donde la distancia visual de otros tipos de control no pueda alcanzarse. Este puede ser el caso cuando los semáforos no se justifican.

- **Giros izquierda desde camino principal (Caso F)**

Los conductores que giran a la izquierda desde el camino principal necesitan suficiente distancia visual para permitirles decidir cuándo es seguro girar a través de carriles usados por el tránsito opuesto.

En todos los lugares donde sean posibles los giros izquierda a través del tránsito opuesto, debe haber distancia visual suficiente para acomodar estas maniobras.

Dado que un vehículo que gira a la izquierda sin detenerse necesita un claro más corto que el requerido por un vehículo detenido, el diseño debe basarse en un giro izquierda para un vehículo detenido.

La distancia visual a lo largo del camino principal para proveer giros a la izquierda es la distancia que se atravesaría a la velocidad de diseño del camino principal en el tiempo de viaje para el adecuado vehículo de diseño dado en la Tabla 5.7 Esta Tabla también contiene adecuados factores de ajuste para el número de carriles del camino principal a ser cruzados por el vehículo que gira.

Si se provee distancia visual de detención a lo largo del camino principal y si para cada aproximación de camino secundario se ha provisto la distancia visual para los Caso B (Control PARE) o Caso C (Control CEDA), generalmente la distancia visual también es adecuada para giros a izquierda desde el camino principal.

Sin embargo, se recomienda verificar esta distancia visual en las intersecciones o accesos a propiedad ubicados en curvas horizontales o verticales del camino principal (o cerca de ellas).

En el caso de calzadas dobles, también debe comprobarse la presencia de obstrucciones visuales en la mediana.

En las intersecciones de cuatro ramales, los vehículos opuestos que giran a la izquierda pueden bloquear la vista de un conductor del tránsito que viene.

---

Tabla 5.7 Tiempos de viaje usados para determinar la distancia visual a lo largo del camino principal para acomodar giros izquierda desde el camino principal (Clase F)

Vehículo diseño	Tiempo de viaje (s) a la velocidad diseño del camino principal
Automóvil	5,5
Camión unidad - simple	6,5
Semirremolque	7,5

Ajuste para caminos multicarriles: para giros izquierda que tienen que cruzar más de un carril opuesto, añada 0,5 s para automóviles y 0,7 s para camiones por cada carril adicional a cruzar.

En el caso de calzadas dobles donde la mediana no es suficientemente ancha para refugiar al vehículo que gira, la mediana debe considerarse como un carril adicional a cruzar.

### 5.3.4 Efecto de la oblicuidad sobre la distancia visual

Cuando dos caminos se intersectan en un ángulo fuera del rango de  $60^\circ$  a  $120^\circ$  y donde el realineamiento no se justifica, algunos de los factores para determinar la distancia visual de intersección necesitarán ajustes. Cada uno de los triángulos visuales libres de obstrucciones antes descritos es aplicable a intersecciones de ángulos oblicuos.

Como se muestra en la Figura 5.16, los ramales a lo largo de las aproximaciones de la intersección y cada triángulo visual serán más cortos o más largos que el correspondiente triángulo visual para una intersección en ángulo recto.

El área en cada triángulo visual debe estar libre de obstrucciones visuales, como se describió arriba. En las intersecciones oblicuas, la longitud de las trayectorias de viaje para las maniobras de cruce se incrementará. La verdadera longitud de trayectoria para una maniobra de cruce puede calcularse dividiendo el ancho total de los carriles a cruzar (más el ancho de mediana, donde corresponda) por el seno del ángulo de intersección y agregando la longitud del vehículo de diseño.

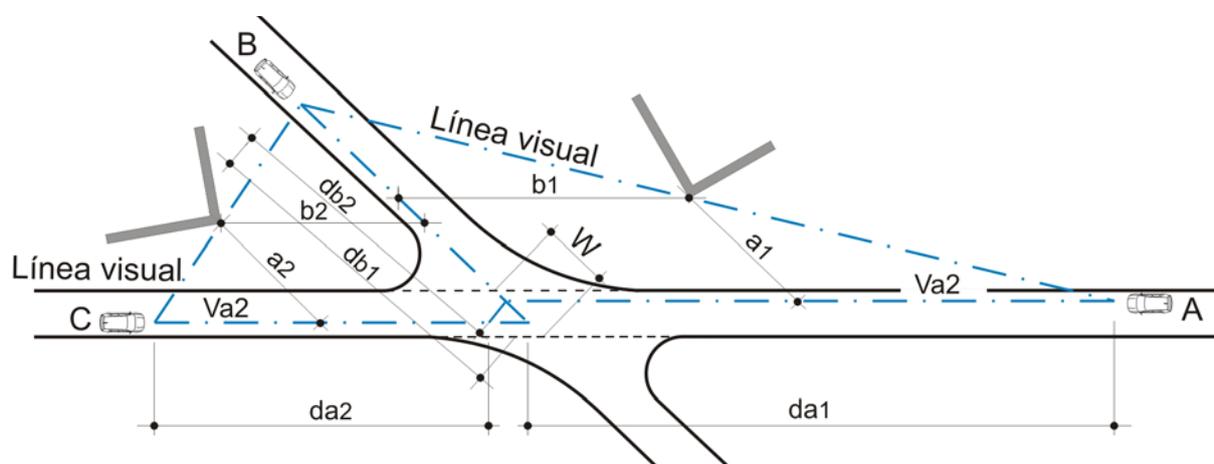


Figura 5.16 Efecto de la oblicuidad sobre la distancia visual de intersecciones

La longitud de la trayectoria real dividida por el ancho de carril del camino principal da el número equivalente de carriles a cruzar. Éste es una indicación del número de carriles adicionales a aplicar el factor mostrado en la Tabla 5.3.

Independientemente de la forma de control, las distancias del Caso permiten encuadrar también los movimientos de giro desde el camino secundario hacia el camino principal en intersecciones oblicuas.

En el ángulo obtuso, los conductores pueden ver fácilmente todo el triángulo visual y generalmente aceleran desde el camino secundario a una tasa más alta que cuando tienen que maniobrar en un cambio de dirección de noventa grados.

En el cuadrante de ángulo agudo los conductores necesitan girar mucho sus cabezas para ver a través de todo el triángulo visual despejado. Por esta razón, se recomienda que el Caso A no se aplique a intersecciones de ángulo oblicuo. Los controles PARE o CEDA EL PASO deben aplicarse a los Casos B o C.

Aún en una intersección oblicua los conductores pueden posicionar sus vehículos aproximadamente a 90° en la línea de Pare, justificando más la aplicación del Caso B para intersecciones oblicuas.

## 5.4 VEHÍCULOS DE DISEÑO

### 5.4.1 Características Generales

Las características físicas de los vehículos y la composición del tránsito son factores que controlan el diseño geométrico. Es necesario examinar todos los tipos de vehículos, agruparlos, y determinar vehículos representativos en cada clase, para su uso en el diseño. Los vehículos tipo corresponden al que tiene mayores dimensiones y mayores radios de giro mínimo que los similares de su clase. Se seleccionan cuatro clases generales de vehículos:

- *Vehículos de pasajeros*: incluye los vehículos livianos (automóviles) y camiones livianos de reparto (furgonetas y camionetas).
- *Camiones*: incluye los camiones sin y con acoplado, semirremolques y semirremolques con acoplado.
- *Ómnibus*: incluyen los colectivos simples, microómnibus, colectivos articulados, colectivos escolares, y similares.
- *Motocicletas, motonetas, bicicletas*.
- *Vehículos de recreación*: casa rodante, coche y remolque. Si bien en la bibliografía se mencionan y en este capítulo se brindan algunas características, no se propone su uso como vehículo de diseño.

Las características principales de los diferentes vehículos de diseño se incluyen en el Capítulo 2. Los que se consideran a continuación son los siguientes (AASHTO 2004):

---

- P: vehículo liviano de pasajeros
- SU: camión de unidad única
- CITY-BUS: autobús urbano
- INTERCITY-BUS (BUS-14): autobús interurbano
- WB-12: semirremolque mediano
- WB-15: semirremolque grande (\*)
- WB-19: semirremolque especial (transporte de automóviles)

(\*) Representa adecuadamente al semirremolque de 18,6 m de longitud total, el máximo permitido por la Ley 24.449, Ley Nacional de Tránsito.

#### 5.4.2 Elección del vehículo de diseño

El tamaño y maniobrabilidad de los vehículos es un factor que gobierna el diseño de las intersecciones, particularmente en soluciones canalizadas.

Al seleccionar un vehículo, el proyectista debe evaluar cuidadosamente la composición del tránsito. Por ejemplo, si el tránsito que gira es casi todo de vehículos de pasajeros, puede resultar muy costoso diseñar para camiones grandes. Sin embargo, el diseño debe permitir que un camión grande ocasional gire mediante la ampliación de la curva y la invasión sobre otros carriles, sin molestar significativamente al tránsito.

Como mínimo, se utilizarán los siguientes vehículos tipo:

- WB-15 en todas las intersecciones sobre rutas nacionales, sea con otras rutas nacionales, con rutas provinciales y accesos a localidades (admitiendo su circulación con espacios laterales algo reducidos).
- SU: en intersecciones entre caminos locales de muy poco tránsito.

#### 5.4.3 Mínimas trayectorias de giro de los vehículos de diseño

Las dimensiones principales que afectan el diseño son el radio mínimo de giro, el ancho de la huella, la distancia entre ejes, y la trayectoria del neumático interior trasero. Los límites de las trayectorias de giro de los vehículos de diseño al realizar los giros más cerrados, están establecidos por la traza de la saliente frontal y la trayectoria de la rueda interior trasera. Este giro supone que la rueda frontal exterior sigue un arco circular, definiendo el radio de giro mínimo según es determinado por el mecanismo de manejo del vehículo.

El radio mínimo de giro y las longitudes de transición mostradas corresponden a giros realizados a 15 km/h de velocidad. Velocidades más altas alargan las curvas de transición y requieren radios mayores que los mínimos.

Las dimensiones de los giros mostradas en las Figura 5.17 a Figura 5.23 han sido deducidas mediante el uso de modelos a escala y trazados por computadora para los vehículos tipo indicados en SS5.4.1]. En la Tabla 5.8 se resumen los radios mínimos de giro de diseño (radio de la rueda delantera externa), y el radio mínimo interior para los vehículos tipo considerados.

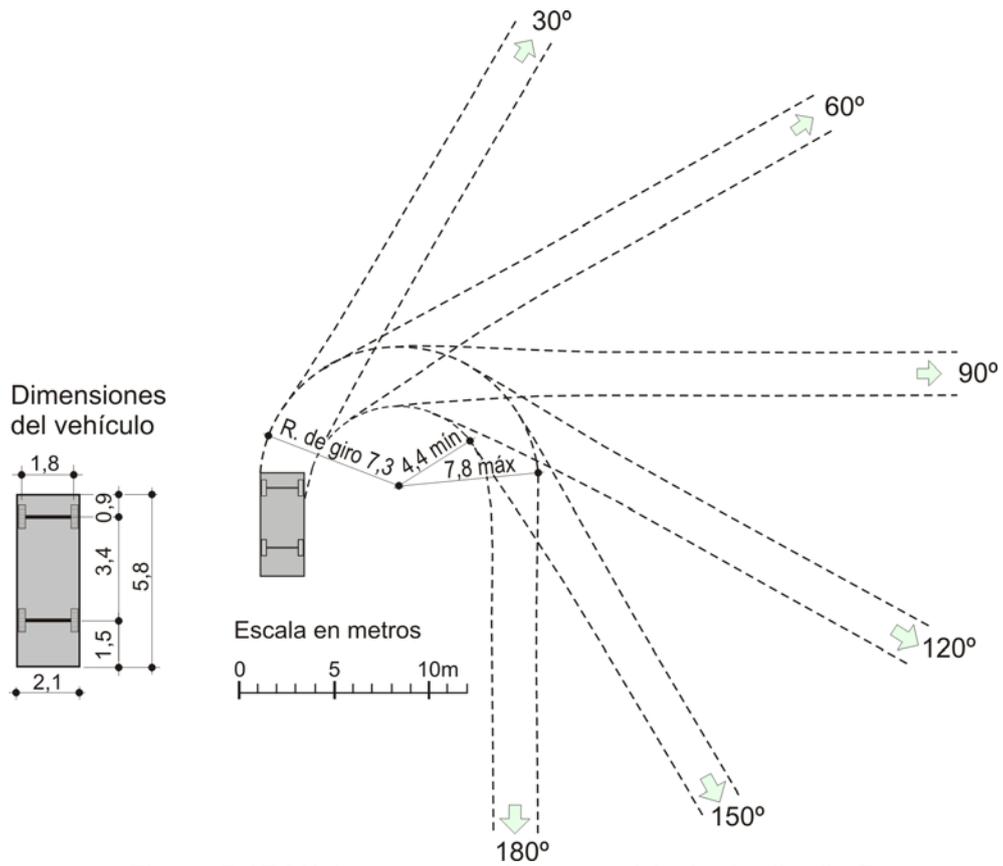


Figura 5.17 Mínima trayectoria para vehículo de diseño P

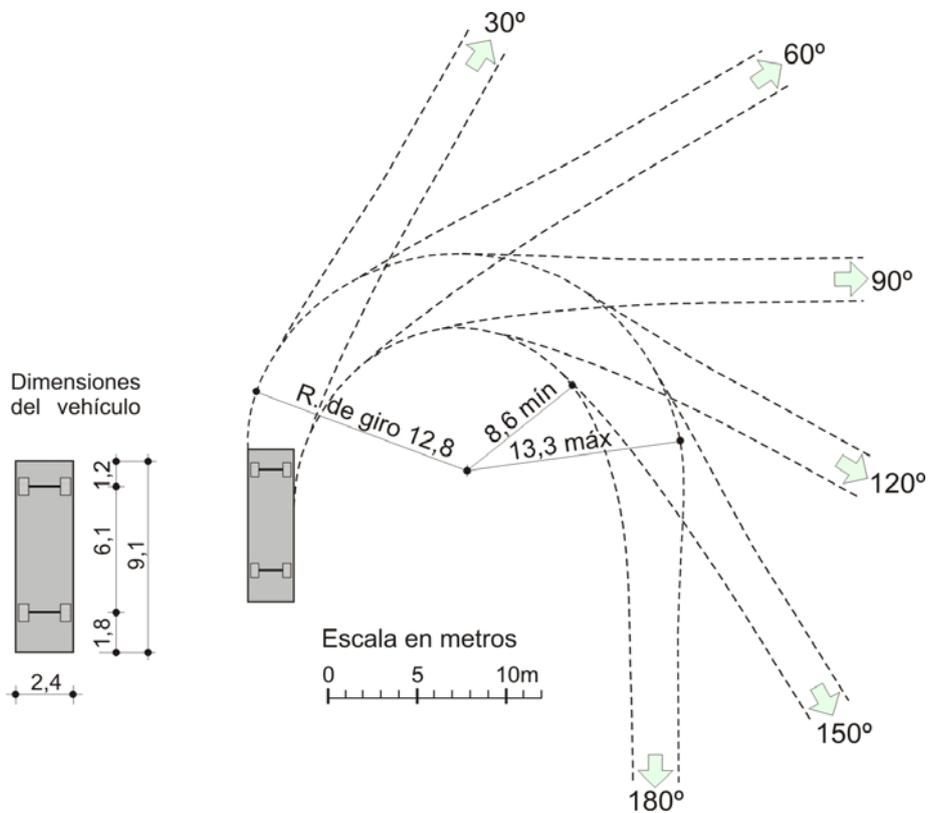


Figura 5.18 Mínima trayectoria para vehículo de diseño SU

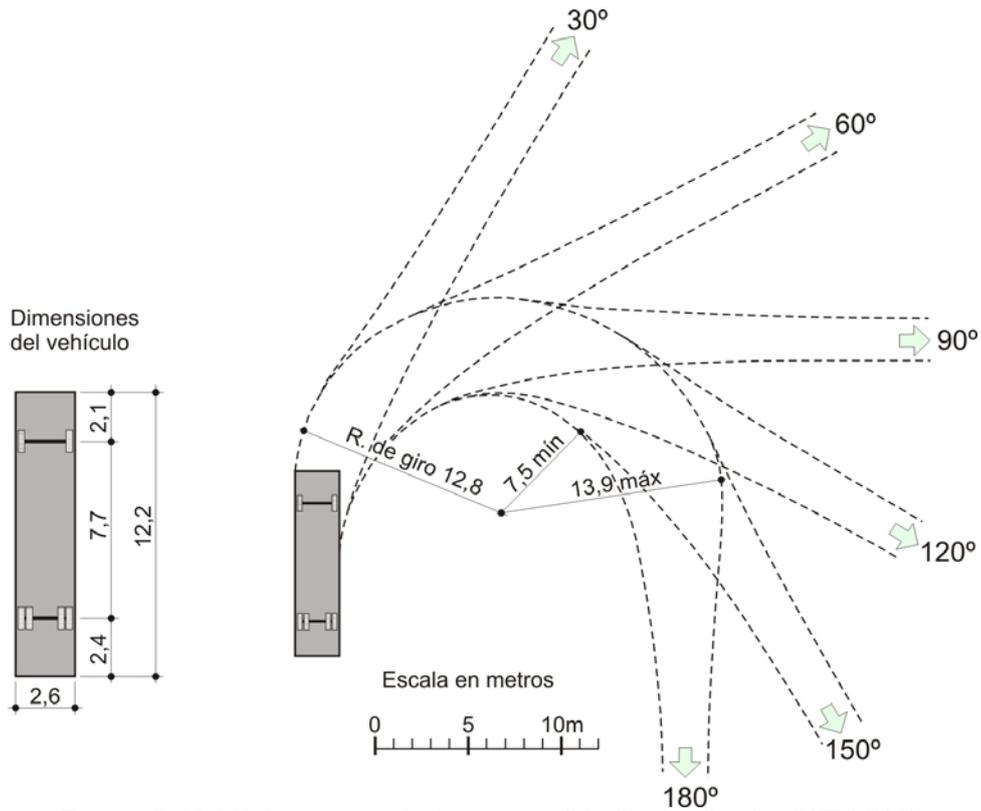


Figura 5.19 Mínima trayectoria para vehículo de diseño CITY-BUS

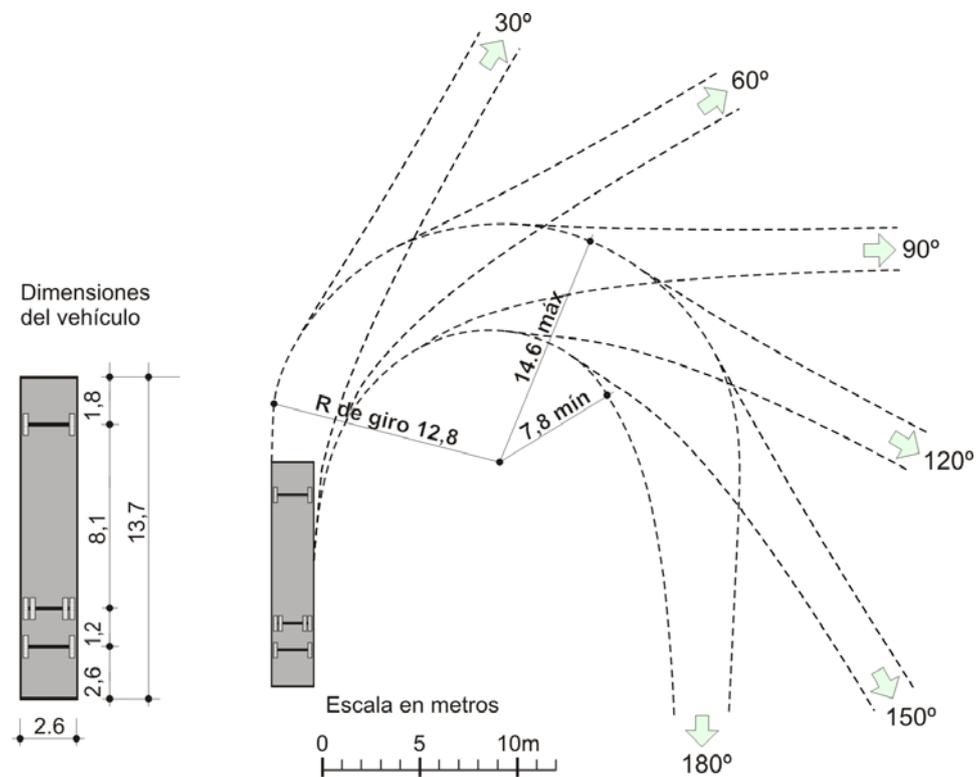


Figura 5.20 Mínima trayectoria para vehículo de diseño INTERCITY-BUS (BUS-14)

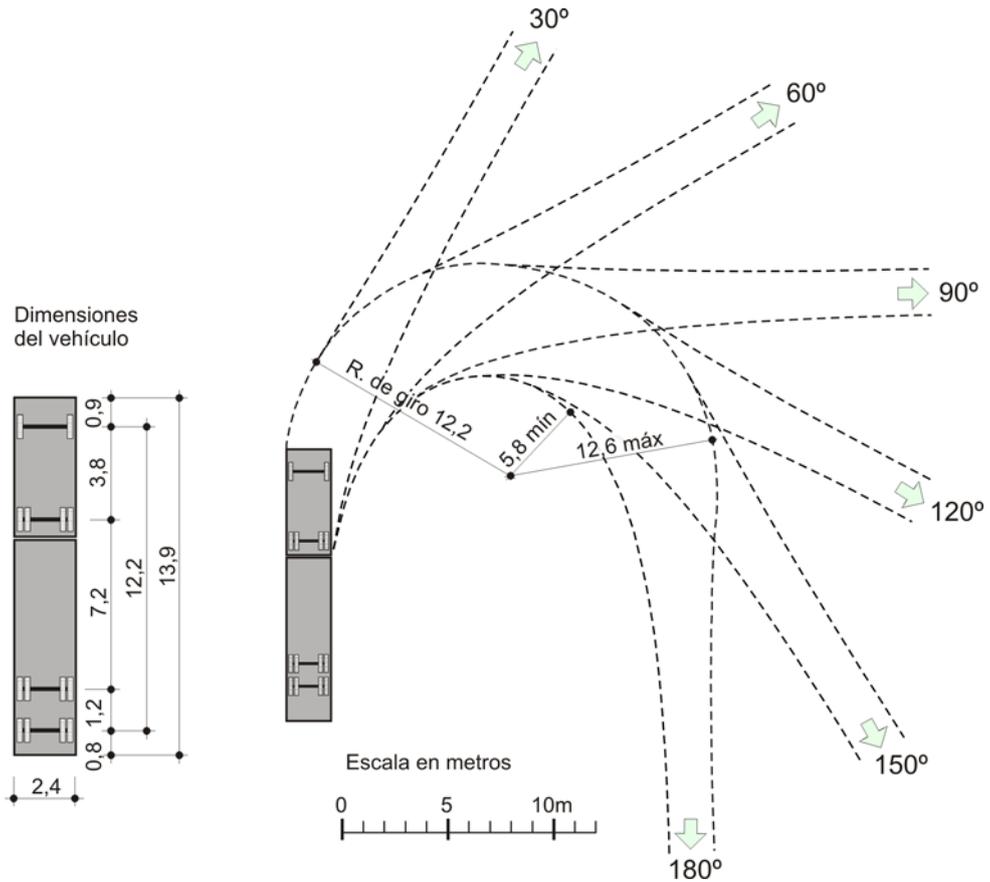


Figura 5.21 Mínima trayectoria para vehículo de diseño WB-12

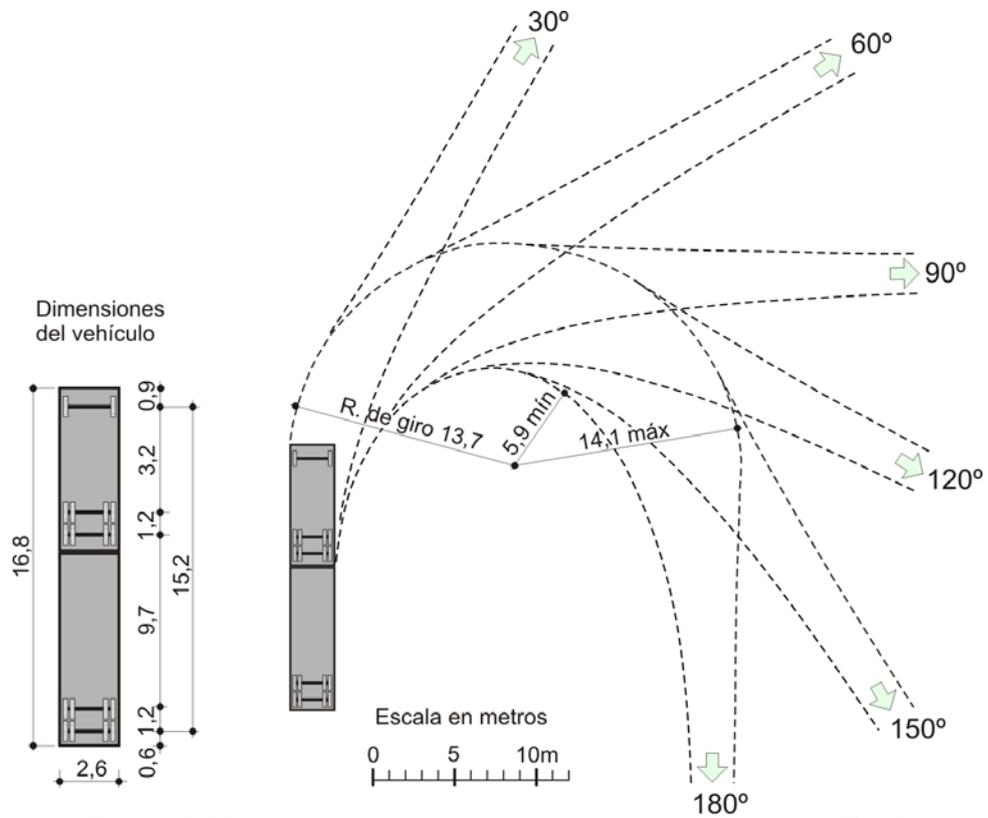


Figura 5.22 Mínima trayectoria para vehículo de diseño WB-15

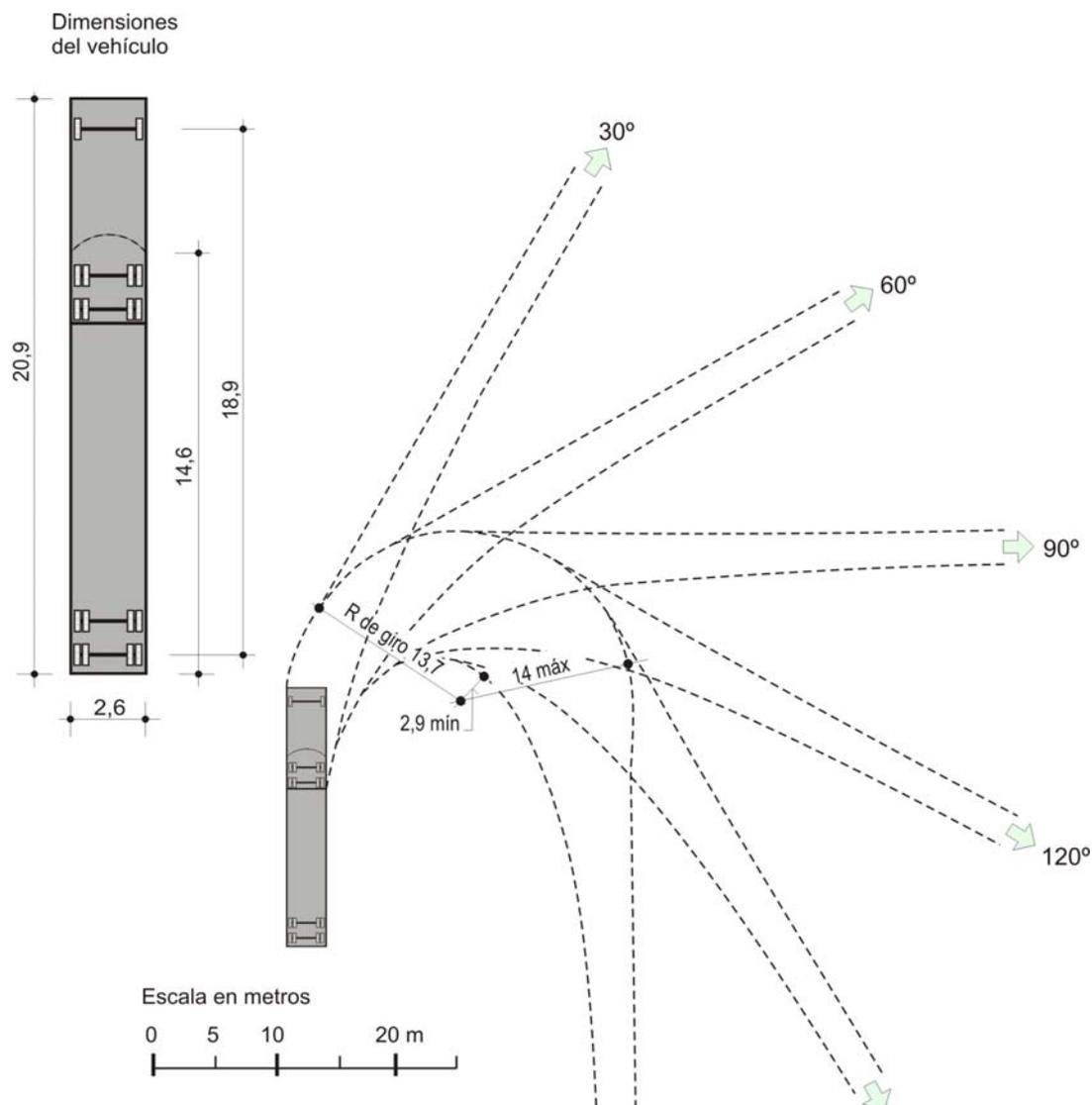


Figura 5.23 Mínima trayectoria para vehículo de diseño WB-19

Tabla 5.8 Mínimos radios de giro para vehículos tipo

Tipo de vehículo de diseño	Símbolo	Radio mínimo de giro de diseño m	Radio mínimo interior m
Vehículo de pasajeros	P	7,3	4,2
Camión de unidad simple	SU	12,8	8,5
Ómnibus urbano	CITY-BUS	11,6	7,4
Ómnibus interurbano	BUS-14	12,8	7,8
Combinación de camiones			
Semirremolque mediano	WB - 12	12,2	5,7
Semirremolque grande	WB - 15	13,7	5,8
Semirremolque especial	WB - 19	13,7	2,8
Vehículo de recreación			
Casa rodante	MH	12,2	7,9
Coche y remolque caravana	P/T	7,3	0,6

## 5.5 CONTROLES GEOMÉTRICOS

### 5.5.1 Ángulo de intersección

Independientemente del tipo de intersección que se trate, por seguridad y economía los caminos que se intersectan deberían hacerlo en ángulo recto, o lo más cercano a él. Los grandes oblicuidades incrementan la superficie de pavimento y por tanto la superficie de conflictos posibles. Operacionalmente, son indeseables porque:

- Los vehículos y peatones que cruzan se exponen por tiempos mayores
- El ángulo visual del conductor está más constreñido y se dificulta la percepción de claros
- Los movimientos vehiculares son más difíciles y los camiones grandes requieren más superficie de pavimento
- Es más difícil definir mediante canalización las trayectorias vehiculares

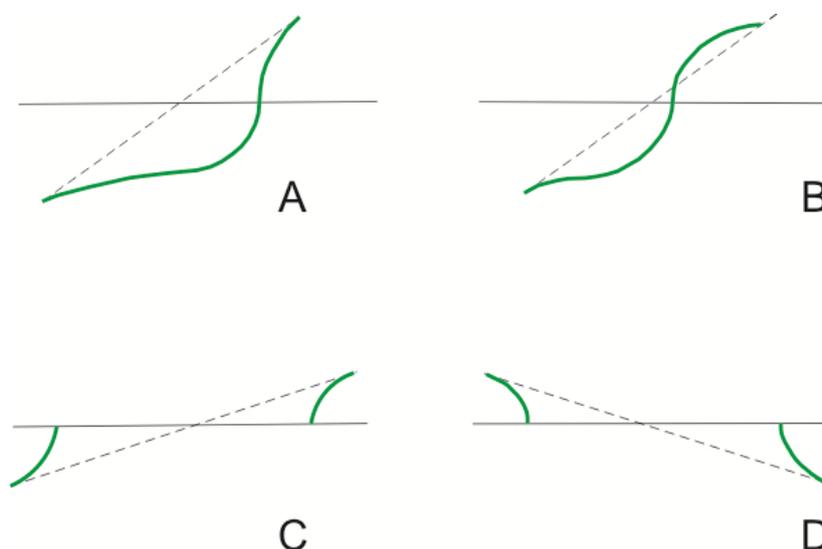


Figura 5.24 Ángulos de intersección

En las intersecciones nuevas el ángulo de cruce debe estar en el rango de  $60^\circ$  a  $120^\circ$ . Por debajo de  $60^\circ$ , los conductores -particularmente los camioneros en cabinas cerradas- tienen dificultad para ver a los vehículos que se aproximan por el ramal del ángulo agudo.

Esta comprobada la conveniencia de realinear los caminos que se intersectan en ángulos agudos, según la forma mostrada en la Figura 5.24 A y B.

El mayor beneficio se alcanza cuando las curvas usadas para realinear los caminos permiten velocidades de operación casi equivalentes a las velocidades de aproximación del camino principal.

Otro método de realinear un camino que cruza a otro en un ángulo agudo es hacer una *intersección retranqueada*, como se muestra en las Figura 5.24 C y D. Sólo se introduce una curva simple en cada ramal del camino transversal pero los vehículos que cruzan deben girar hacia el camino principal y luego salir hacia el camino secundario. Se transforma una intersección de cuatro ramales en dos de tres ramales.

### 5.5.2 Alineamiento horizontal

Un diseño simple de los alineamientos horizontales permite el adecuado reconocimiento de la intersección y brinda al tránsito que accede una correcta referencia para las maniobras.

En las intersecciones, los requerimientos operacionales son:

- Los alineamientos no deben restringir la distancia visual requerida,
- Los alineamientos no deben permitir los frecuentes frenados y giros asociados con las intersecciones,
- Los alineamientos no deben demandar atención adicional, a expensas de la atención requerida por las maniobras de la intersección y para evitar conflictos.

Como regla general, en las intersecciones los radios de las curvas horizontales no deben ser menores que los deseables para la velocidad de diseño en los caminos de acceso.

### 5.5.3 Rasante

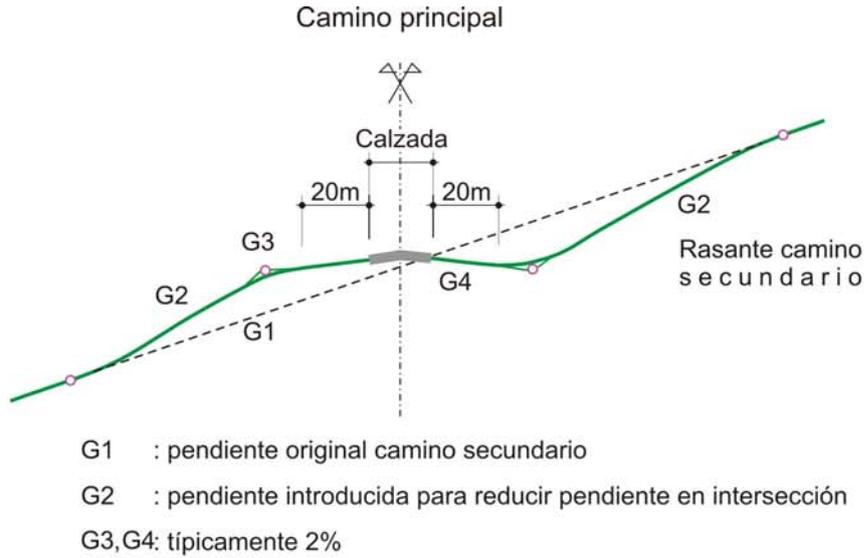
Las distancias de detención y aceleración para vehículos de pasajeros en pendientes de 3% o menos difieren poco de las correspondientes a rasante horizontal. La mayoría de los conductores son incapaces de juzgar el efecto de las pendientes fuertes en las distancias de detención o aceleración, generando posibilidades de error en momentos críticos.

Consecuentemente, para caminos de alta velocidad con velocidades de diseño mayores que 80 km/h, las pendientes no deben ser mayores que 3%. Para caminos de baja velocidad en un ambiente urbano (ó donde lograr esas condiciones resulta muy costoso) pueden incrementarse hasta 6%.

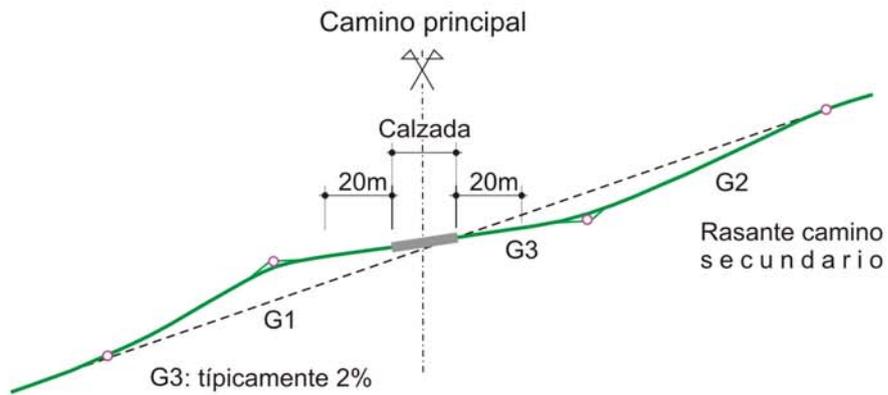
Para las intersecciones nuevas, normalmente la pendiente en el camino secundario se ajusta para formar una rasante suave, como se muestra en la Figura 5.25. Donde se intersecten caminos principales, normalmente se ajustan las rasantes de ambos en forma similar.

En las cercanías de las intersecciones, la combinación de los alineamientos horizontal y vertical debe brindar carriles de tránsito claramente visibles a los conductores en todo momento, y condiciones de diseño coherentes con las partes del camino recién recorrida.

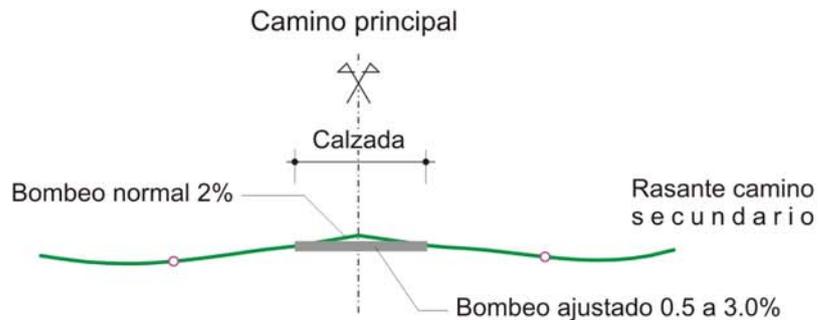
---



Rasante camino secundario cambiada para ajustar a bombeo de camino principal (preferida, si camino secundario tiene control Pare o Ceda el Paso)



Bombeo de camino principal removido para acomodar camino secundario (consideración típica, si se puede semaforizar la intersección)



Bombeo camino principal para acomodar camino secundario

Figura 5.25 Adaptación de las rasantes de caminos secundarios a las secciones transversales del camino principal

#### 5.5.4 Diseño de borde mínimo de calzada de giro

##### **Aspectos generales**

Los radios y anchos de las plataformas de giro para intersecciones están gobernados por los volúmenes del tránsito que gira y los tipos de vehículos de diseño a utilizar.

Hay tres tipos básicos de plataformas de giro a derecha en las intersecciones:

- Trazado mínimo absoluto del borde de calzada en giros sin canalizaciones (para  $V = 15$  km/h)
- Trazado mínimo absoluto del borde de calzada en intersecciones canalizadas
- Diseño de Ramales de intersecciones para  $25$  km/h  $< V < 65$  km/h, con un radio simple o radios compuestos

En los párrafos siguientes se incluyen criterios y valores a ser respetados en el diseño geométrico de intersecciones sin canalizar (punto a).

Los criterios para los casos b y c se incluyen en [S5.6].

##### **Trazados mínimos de bordes de calzada en giros sin canalizaciones**

Cuando el espacio disponible para la intersección sea muy reducido, o los movimientos de giro de muy poca importancia, se podrá utilizar intersecciones de trazado mínimo. En estos casos el diseño está gobernado exclusivamente por las trayectorias mínimas de giro del vehículo tipo elegido.

Los diseños de borde para giros recomendados en las Tabla 5.9 y Tabla 5.10 provienen de "*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*" (AASHTO; USA, 2004). Los radios mínimos que allí se indican están referidos al borde interior del pavimento en la curva y diseñados para las siguientes condiciones de operación:

- Velocidad de giro de 15 km/h.
- Que la trayectoria del vehículo tipo quede inscrita en la curva sin desplazamiento a los carriles vecinos tanto en la entrada como en la salida.
- Distancia mínima de las ruedas interiores al borde del pavimento de 0,30 m, a lo largo de la trayectoria.
- Giros a la derecha y a la izquierda.

Los vehículos considerados en tales tablas son:

- P: vehículo de pasajeros.
  - SU: camión simple. El borde de giro también puede ser utilizado para los ómnibus urbanos (CITY BUS).
  - WB-12: camión con semirremolque mediano. El borde de giro también puede ser utilizado para los ómnibus interurbanos (INTERCITY BUS).
  - WB-15: camión con semirremolque grande.
  - WB-19: camión con semirremolque especial.
-

La Tabla 5.9 recomienda curvas simples de radio único para ángulos de giro pequeños y vehículos menores. A medida que el ángulo de giro crece y el vehículo de diseño es más grande, los mínimos en cuestión se transforman en curvas circulares también simples pero con retranqueos y cuñas que mejoran las condiciones de los giros y disminuyen la superficie pavimentada.

La Tabla 5.10 presenta soluciones alternativas que permiten un mejor desempeño de los vehículos en la medida que éstos crecen en tamaño y giran con ángulos mayores.

El uso de alineaciones con clotoideas es una opción posible para las curvas compuestas allí tabuladas, previa comparación de la geometría resultante con las trayectorias de los vehículos tipo.

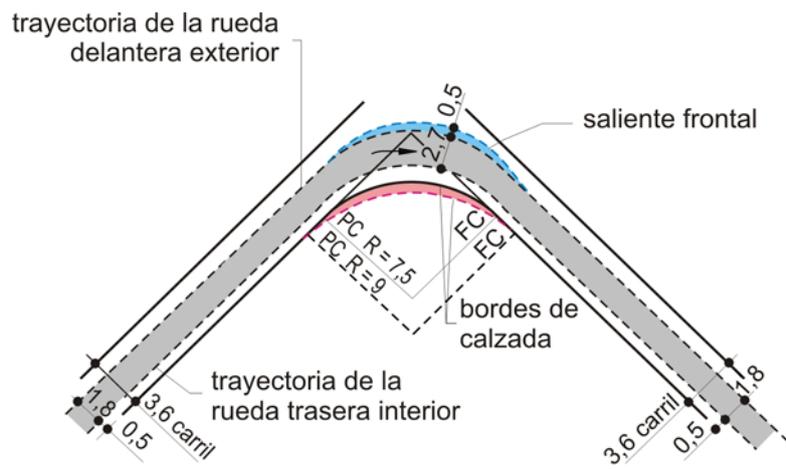
Para el replanteo de curvas de tres centros, los datos del problema son:

- Los radios de las tres circunferencias que se enlazan entre sí
- Los desplazamientos o retranqueos que se da a la circunferencia de radio menor (central) con respecto de cada uno de los bordes de las calzadas que se cortan

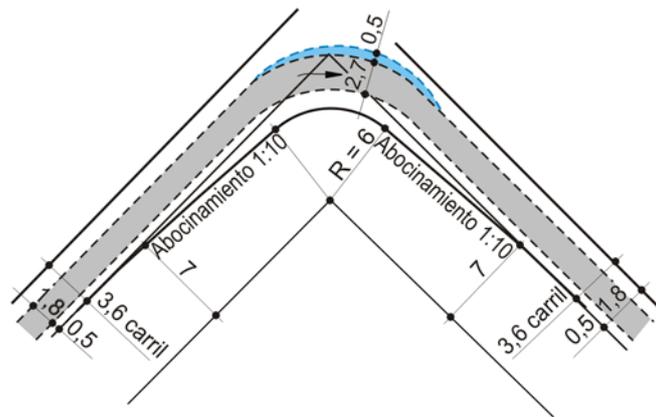
La circunferencia de radio menor se replantea definiendo la tangente a los bordes desplazados de las calzadas y determinando los puntos de tangencia de las circunferencias mayores con los respectivos bordes de la calzada y con la circunferencia de radio menor.

Desde la Figura 5.26 a la Figura 5.30 se muestra, para cada uno de los vehículos de diseño, tres diseños mínimos, con parámetros no necesariamente coincidentes con los de la Tabla 5.9 y Tabla 5.10. Todos los casos corresponden a cruces en ángulo recto.

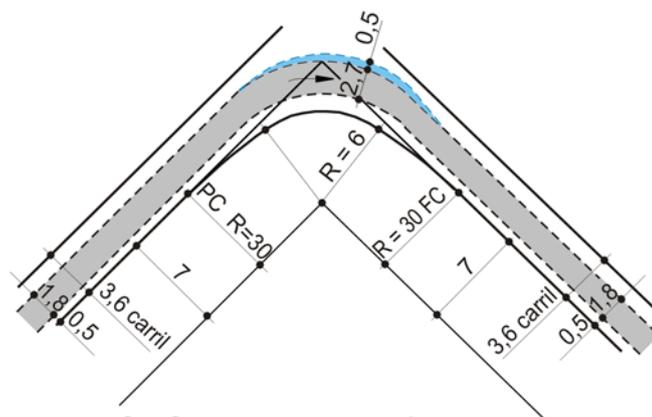
---



A - Curva simple mínima radio 7.5 ó 9m

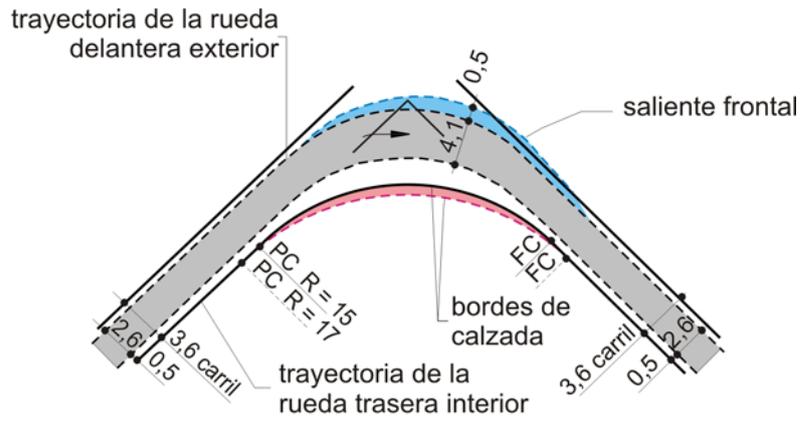


B - Curva simple mínima con abocinamiento radio 6 m desplazamiento 1 m

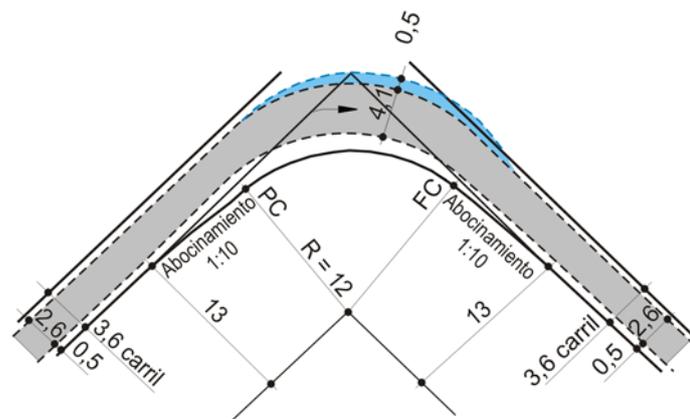


C - Curva compuesta 3 - centros radios 30 m - 6 m - 30 m desplazamiento 1 m

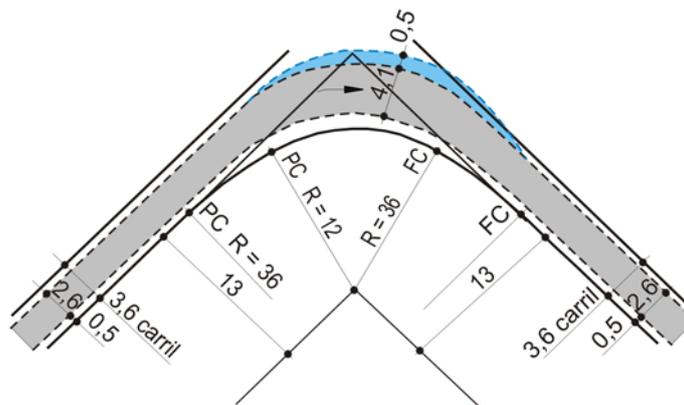
Figura 5.26 Bordes internos para vehículos tipo P



A - Curva simple mínima radio 15 ó 17 m

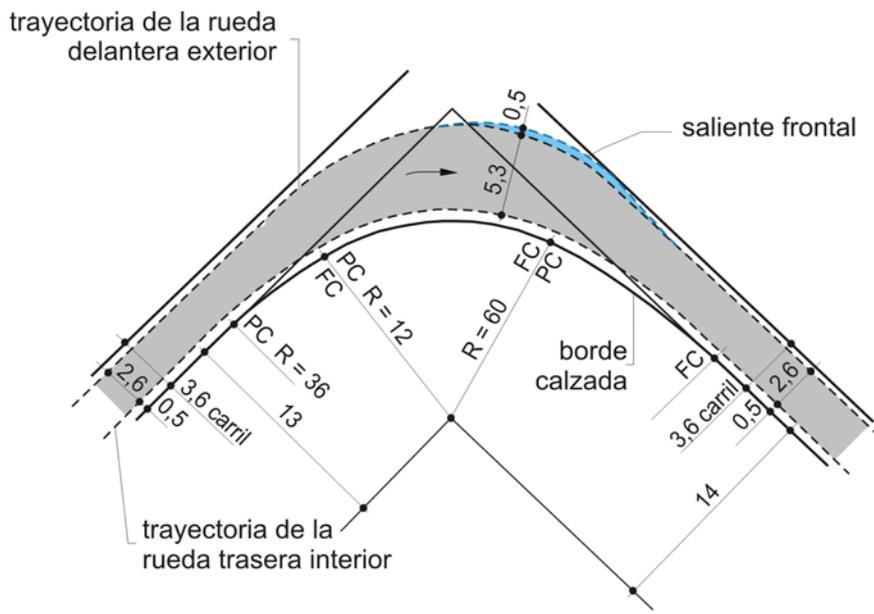


B - Curva simple mínima con abocinamiento radio 12 m desplazamiento 1 m

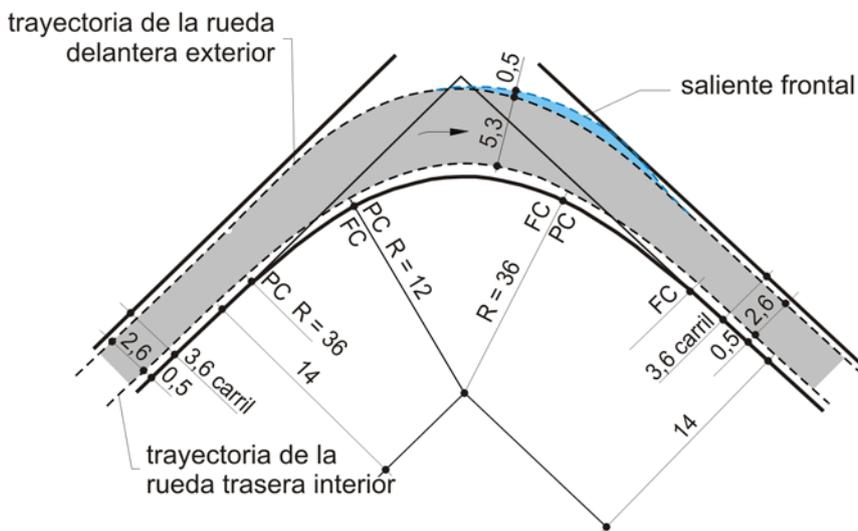


C - Curva compuesta 3 - centros radio 36 m - 12 m - 36 m desplazamiento 1 m

Figura 5.27 Bordes internos para vehículos tipo SU

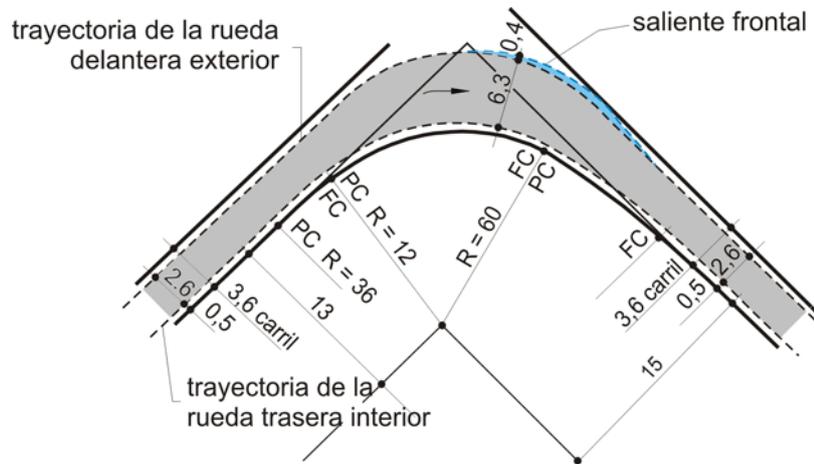


A - Curva compuesta 3 - centros  
 radios 36 m - 12 m - 60 m    desplazamiento 1 m y 2 m

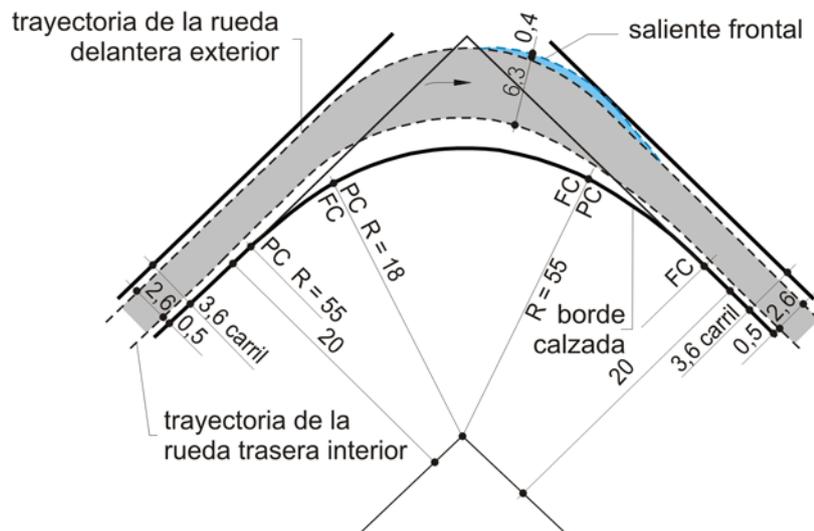


B - Curva compuesta 3 - centros  
 radios 36 m - 12 m - 60 m    desplazamiento 2 m

Figura 5.28 Bordes internos para vehículos tipo WB-12

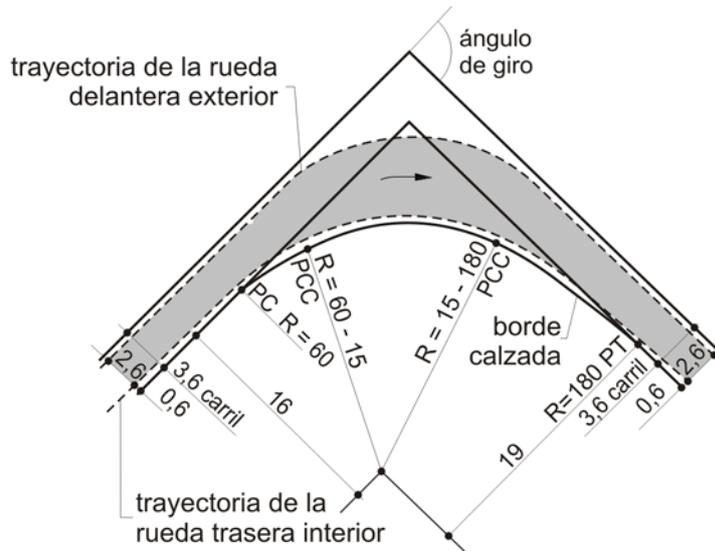


A - Combinación semirremolque WB - 15  
 curva compuesta 3 - centros radios 36 m - 12 m - 60 m  
 desplazamiento 1 m y 3 m

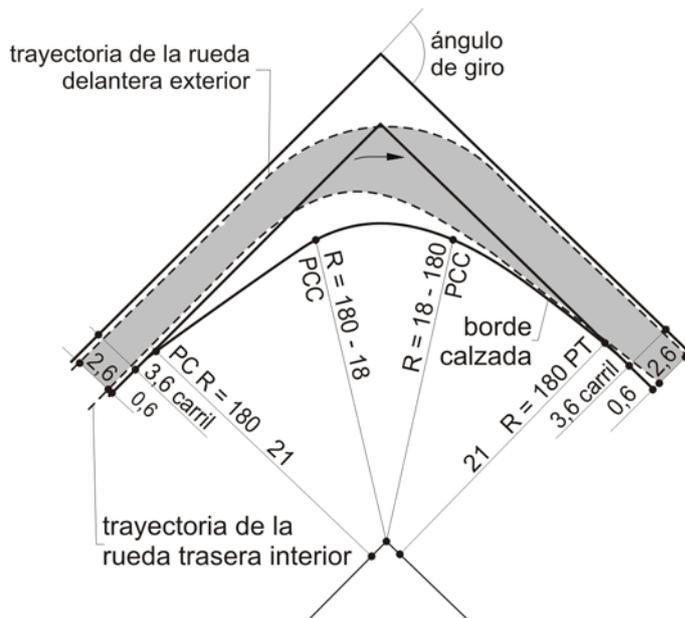


B - Combinación semirremolque WB - 15  
 curva compuesta 3 - centros radios 55 m - 18 m - 55 m  
 desplazamiento 2 m

Figura 5.29 Bordes internos para vehículos tipo WB-15



A - Curva compuesta 3 - centros  
 radios 60 m - 15 m - 180 m      desplazamiento 1 m y 4 m



B - Curva compuesta 3 - centros  
 radios 180 m - 18 m - 180 m      desplazamiento 3 m

Figura 5.30 Bordes internos para vehículos tipo WB-19

Tabla 5.9 Trazados mínimos de bordes de calzada en intersecciones sin canalizar, curva simple (V= 15 km/h)

Vehículo tipo	Ángulo de giro (°)	Radio de curva simple m	Radio de curva simple con cuña		
			Radio m	Retranqueo m	Cuña m:m
P	30	18	-	-	-
SU		30	-	-	-
WB-12		45	-	-	-
WB-15		60	-	-	-
WB-19		11	67	1	15:1
P	45	15	-	-	-
SU		23	-	-	-
WB-12		36	-	-	-
WB-15		53	36	0,6	15:1
WB-19		70	43	1,2	15:1
P	60	12	-	-	-
SU		18	-	-	-
WB-12		28	-	-	-
WB-15		45	29	1	15:1
WB-19		50	43	1,2	15:1
P	75	11	8	0,6	10:1
SU		17	14	0,6	10:1
WB-12		-	18	0,6	15:1
WB-15		-	20	1	15:1
WB-19		-	43	1,2	20:1
P	90	9,0	6	0,8	10:1
SU		15,0	12	0,6	10:1
WB-12		-	14	1,2	10:1
WB-15		-	18	1,2	15:1
WB-19		-	36	1,3	30:1
P	105	-	6	0,8	8:1
SU		-	11	1	10:1
WB-12		-	12	1,2	10:1
WB-15		-	17	1,2	15:1
WB-19		-	35	1	15:1
P	120	-	6	0,6	10:1
SU		-	9	1	10:1
WB-12		-	11	1,5	8:1
WB-15		-	14	1,2	15:1
WB-19		-	30	1,5	15:1
P	135	-	6	0,5	10:1
SU		-	9	1,2	10:1
WB-12		-	9	2,5	15:1
WB-15		-	12	2	15:1
WB-19		-	24	1,5	20:1
P	150	-	6	0,6	10:1
SU		-	9	1,2	8:1
WB-12		-	9	2	8:1
WB-15		-	11	2,1	6:1
WB-19		-	18	3	10:1
P	180	-	5	0,2	20:1
SU		-	9	0,5	10:1
WB-12		-	6	3	5:1
WB-15		-	8	3	5:1
WB-19		-	17	3	15:1

Tabla 5.10 Trazados mínimos de bordes de calzada en intersecciones sin canalizar, curva compuesta (V = 15 km/h)

Vehículo tipo	Ángulo de giro (°)	Curva compuesta de tres centros (simétrica)		Curva compuesta de tres centros (asimétrica)	
		Radio m	Retranqueo m	Radio m	Retranqueo m
P SU WB-12 WB-15 WB-19	30	- - - - 140 - 50 - 140	- - - - 1,2	- - - - 90 - 50 - 165	- - - - 0,6 - 1,4
P SU WB-12 WB-15 WB-19	45	- - - 60 - 30 - 60 140 - 70 - 140	- - - 1 0,6	- - - - 35 - 45 - 165	- - - - 1 - 2,6
P SU WB-12 WB-15 WB-19	60	- - - 60 - 25 - 60 120 - 30 - 120	- - - 1,7 4,5	- - - 60 - 25 - 85 35 - 40 - 65	- - - 0,6 - 2 3 - 3,7
P SU WB-12 WB-15 WB-19	75	30 - 8 - 30 35 - 15 - 35 35 - 15 - 35 45 - 15 - 45 135 - 25 - 135	0,6 0,6 1,5 2 4,5	- - 35 - 15 - 60 45 - 15 - 70 45 - 30 - 165	- - 0,6 - 2 0,6 - 3 1,5 - 3,6
P SU WB-12 WB-15 WB-19	90	30 - 6 - 30 36 - 15 - 36 36 - 15 - 36 55 - 18 - 55 120 - 20 - 120	0,8 0,6 1,5 2 3	- - 35 - 12 - 60 35 - 12 - 60 50 - 20 - 110	- - 0,6 - 2 0,6 - 3 1,5 - 3,6
P SU WB-12 WB-15 WB-19	105	30 - 6 - 30 30 - 11 - 30 30 - 11 - 30 55 - 15 - 55 160 - 15 - 160	0,8 1 1,5 2,5 4,5	- - 30 - 15 - 60 45 - 15 - 65 110 - 25 - 180	- - 0,6 - 2,5 0,6 - 3 1,2 - 3,2
P SU WB-12 WB-15 WB-19	120	30 - 6 - 30 30 - 10 - 30 36 - 10 - 36 55 - 12 - 55 160 - 15 - 160	0,6 1 2 2,6 3	- - 30 - 10 - 55 45 - 10 - 55 25 - 15 - 160	- - 0,6 - 2,7 0,6 - 3,6 5,2 - 7,3
P SU WB-12 WB-15 WB-19	135	30 - 6 - 30 30 - 10 - 30 36 - 10 - 36 50 - 10 - 50 180 - 20 - 180	0,5 1,2 2 2,7 3,6	- - 30 - 10 - 55 40 - 10 - 55 30 - 20 - 195	- - 1 - 4 1 - 4,3 2,1 - 4,3
P SU WB-12 WB-15 WB-19	150	23,0 - 6 - 23,0 30 - 10 - 30 30 - 10 - 30 50 - 10 - 50 145 - 15 - 145	0,6 1,2 2 2,1 4,5	- - 30 - 10 - 50 45 - 10 - 55 25 - 15 - 160	- - 0,3 - 3,6 1 - 4,3 2,4 - 3
P SU WB-12 WB-15 WB-19	180	15 - 4,5 - 15 30 - 10 - 30 30 - 10 - 30 40 - 10 - 40 245 - 15 - 245	0,2 0,5 3 3 6	- - 25 - 6 - 45 30 - 10 - 55 30 - 15 - 275	- - 2 - 4 2 - 4 4,5 - 4,5

## 5.6 ELEMENTOS DE CANALIZACIÓN

### 5.6.1 Introducción

Las intersecciones a nivel con grandes superficies pavimentadas (como cuando se utilizan radios grandes o cuando el ángulo de oblicuidad es muy diferente a 90°) permiten movimientos vehiculares impredecibles, requieren largos cruces peatonales y tienen áreas de pavimento sin usar. Bajo estas circunstancias, es usual acudir a la canalización. Se llama intersección canalizada a una intersección a nivel en la cual el tránsito está dirigido según trayectorias definidas por isletas.

### 5.6.2 Isletas

#### **Definición**

Una isleta es un área definida entre los carriles de tránsito para control de los movimientos vehiculares o para refugio peatonal. Mediante unas isletas que delimitan el área que no debe ser pisada por los vehículos en una intersección, se obtiene una disposición adecuada de los puntos de conflicto, así como una separación conveniente entre ellos.

#### **Objetivos de diseño**

Las isletas se incluyen en el diseño de las intersecciones para uno o más de los propósitos siguientes:

- Reducción del área pavimentada
- Separación de los puntos de conflicto, de manera que el conductor deba tomar una decisión por vez
- Control de los ángulos de maniobras
- Regulación del tránsito
- Protección de peatones
- Protección y almacenaje de vehículos que deben girar y/o cruzar
- Ubicación del señalamiento

#### **Clasificación de las isletas según su función (Figura 5.31)**

- *Direccionales*: Dirigen y controlan los movimientos, en especial de giro (a y d). Separan trayectorias del mismo sentido (una de giro y la otra de paso o correspondiente al otro giro) en intersecciones canalizadas, señalando claramente al conductor las trayectorias que pueden seguir, y evitando que aparezca una gran área pavimentada en la que pueda sentirse desorientado. Estas isletas tienen formas diversas, siendo frecuentes las triangulares de lados rectos o ligeramente curvilíneos, aproximadamente paralelos a las trayectorias principales de los vehículos.
  - *Partidoras o Separadoras de tránsito*: dividen las corrientes vehiculares de distinto sentido, o del mismo sentido cuando uno de ellos realizará movimientos de giro (b, c, e, f, g). Se colocan entre unos carriles aproximadamente paralelos, para separar los tránsitos de sentido opuesto en los caminos de calzada única, lo cual equivale a introducir una mediana en la zona de la intersección que además de servir para encauzar los movimientos, alerta a los conductores sobre su presencia.
-

Donde la isleta separadora es larga, se debe controlar que la trayectoria del vehículo que se aproxima a ella no sufra modificaciones inesperadas debidas a su presencia. De lo contrario, será frecuentemente invadida, sobre todo de noche.

- *Refugios peatonales*: son proyectadas para los peatones que deben atravesar la intersección, o bien ascender o descender de los medios de transporte (a, b, c, e, f).

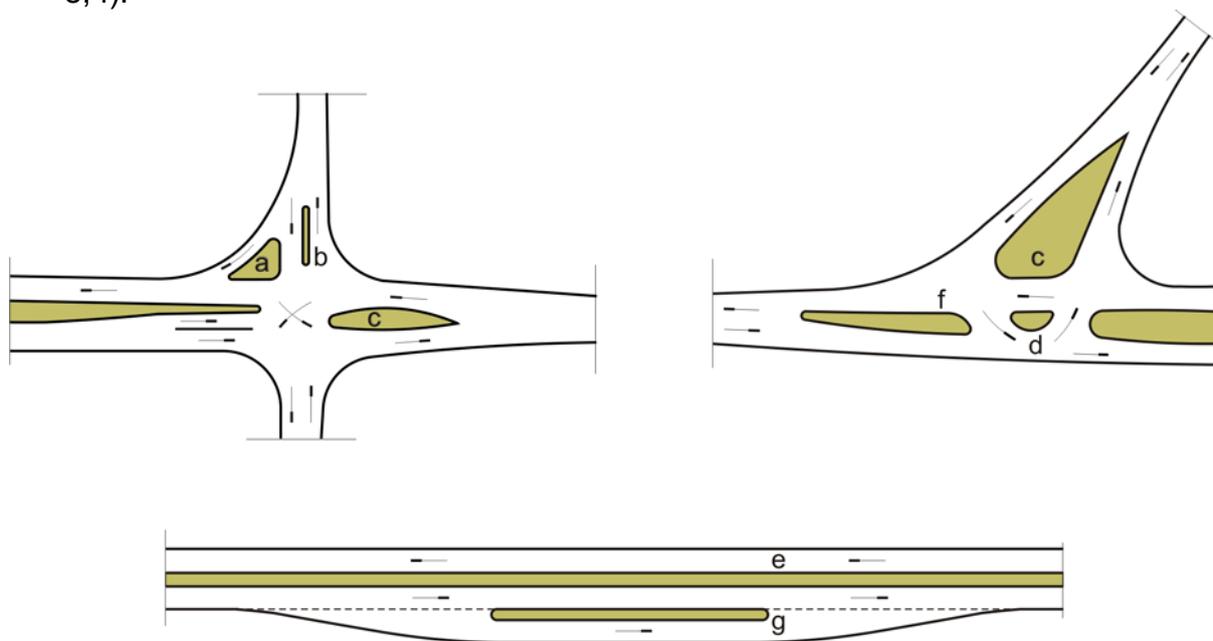


Figura 5.31 Tipos y formas más comunes de isletas

### Características y tamaños

- *Isletas elevadas*, limitadas por cordones. Los cordones deben ser montables, bien visibles (incluso por la noche), e ir retranqueados entre 30 y 50 cm respecto del borde de calzada, más un retranqueo adicional (entre 0,5 y 2 m según la velocidad) en su inicio, desvanecido suavemente en una longitud no inferior a 15 veces el valor de ese retranqueo. Los ángulos se redondean con radios no inferiores a 50 cm. Deben ser suficientemente grandes para que los conductores puedan percibirlos con facilidad; como mínimo deben tener una superficie de unos 4,5 m<sup>2</sup>.
- *Isletas demarcadas en el pavimento*, a su nivel o levemente elevadas (en el primer caso, directamente con pintura; en el segundo, con cordones semiembutidos, botones, etcétera). Las isletas pintadas sobre el pavimento resultan seguras en caso de invasión por un vehículo, pero su perceptibilidad es reducida en caso de lluvia.
- *Isletas constituidas por áreas sin pavimentar y formadas por los bordes de las calzadas*, complementadas con postes-guía o no.

**Isletas triangulares para giros a derecha**

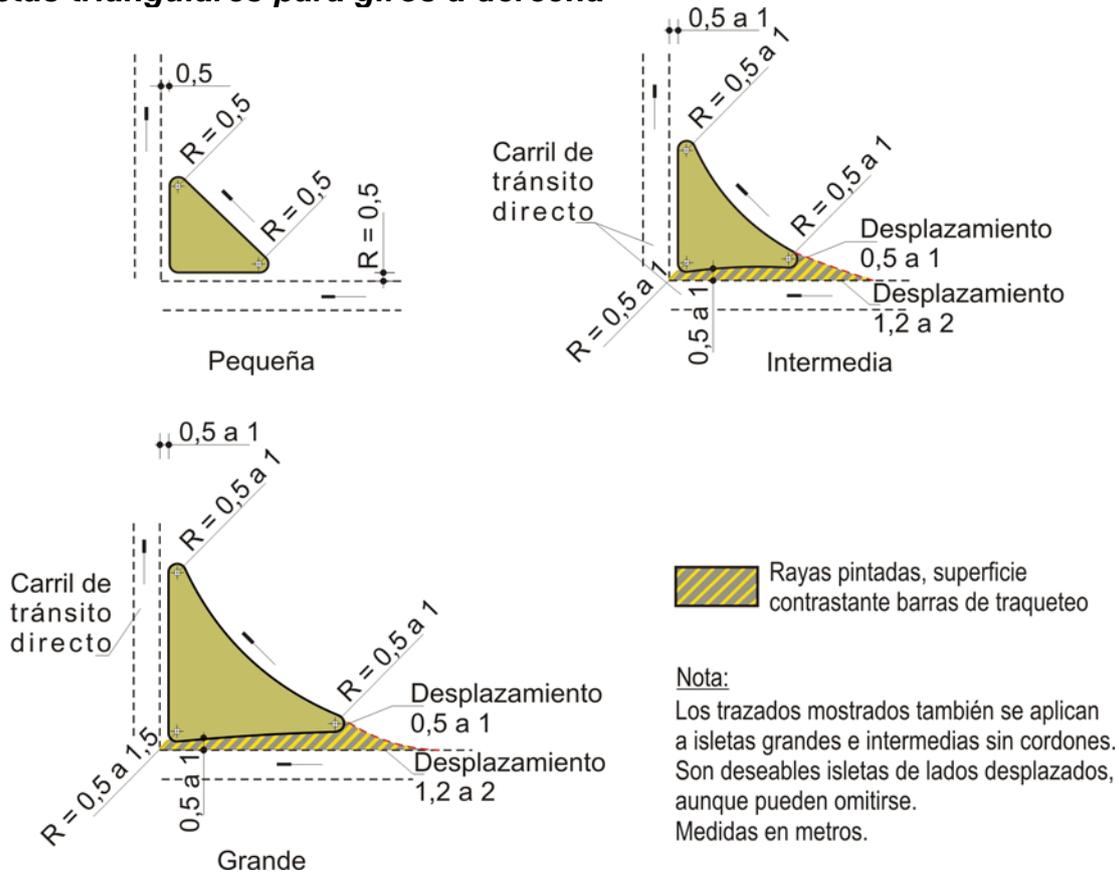


Figura 5.32 Isletas con cordones sin banquetas

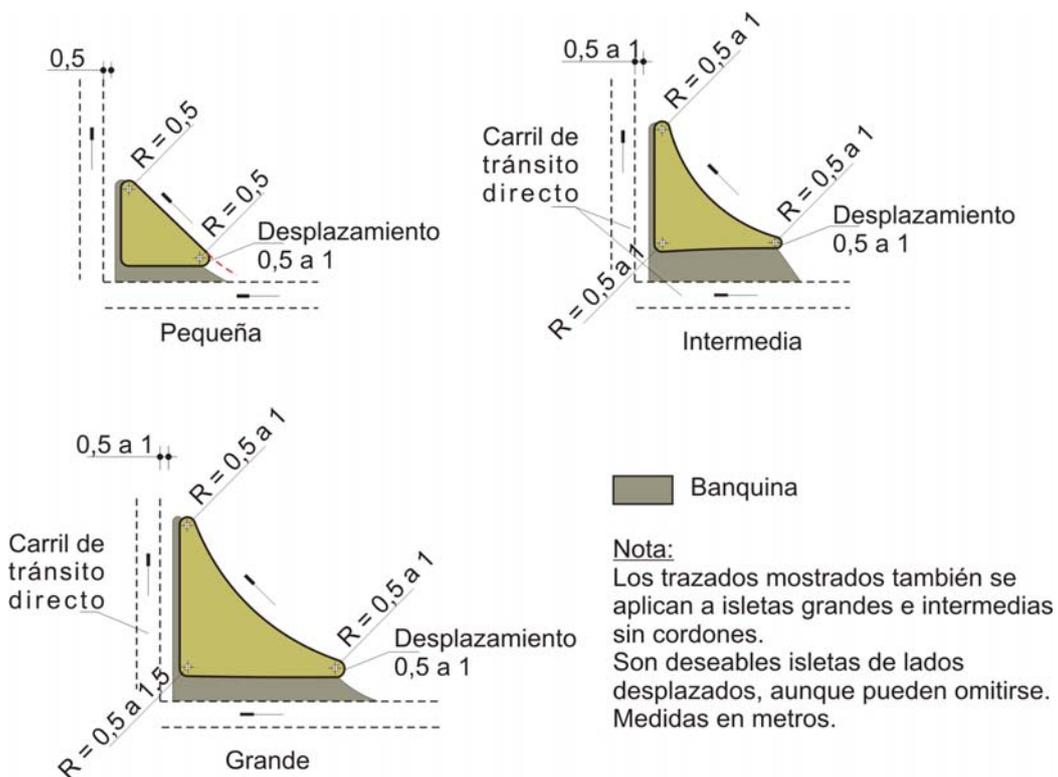


Figura 5.33 Isletas con cordones y banquetas

**Isletas partidoras y lágrimas**

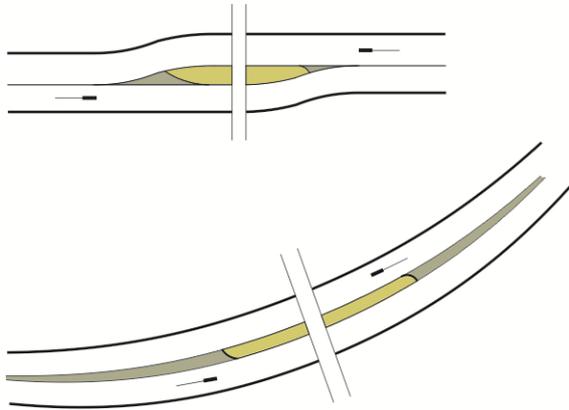


Figura 5.34 Isletas partidoras en caminos

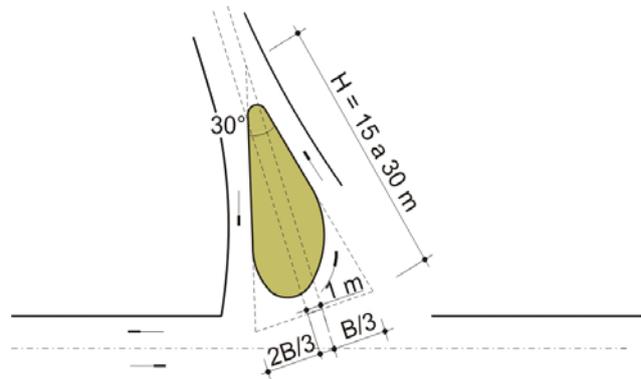
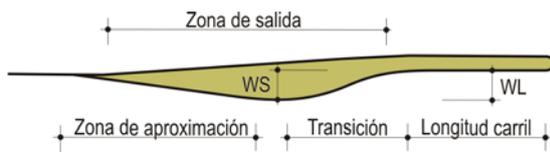


Figura 5.35 Isletas tipo lágrima sin mediana

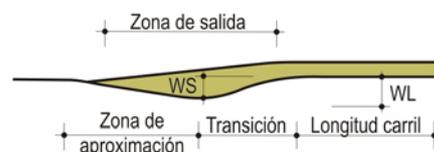
No existe un diseño único para la isleta tipo lágrima. Pueden ser muy delgadas, casi rectas, o con mayor ancho. Se puede decir que en general las lágrimas más gordas permiten acomodar mejor el giro a izquierda de los vehículos pesados. El extremo de la lágrima más cercano a la calzada principal debe mantener al menos 1 m de retranqueo respecto de la línea de borde, o el ancho total de la banquina si es pavimentada.

**Isletas centrales para ubicación de carriles de espera y giros a izquierda**

Se incluyen a continuación recomendaciones para la zona de aproximación, la zona de transición y el carril de espera y giro (longitud y ancho).



a- Con "sombra" completa: corrimiento lateral  $\geq$  ancho de carril de giro



b- Con "sombra" parcial: corrimiento lateral  $<$  ancho de carril de giro

WS: ancho de la "sombra" (corrimiento lateral de la isleta respecto al borde interno del carril de giro)

WL: ancho del carril de giro

Figura 5.36 Elementos de diseño de la isleta central para carriles de giro a izquierda

**Zona de aproximación:** debe brindar una suave transición lateral para todos los vehículos que se aproximan a la intersección. Para altas velocidades de proyecto, se recomienda la solución tipo a, con sombra completa. Para esos casos, la longitud se puede obtener de la expresión:

$$L_{\text{aprox}} = \frac{acg \times V^2}{150}$$

Donde:

acg : ancho carril de giro a izquierda (m)

V : velocidad directriz (km/h)

Tabla 5.11 Longitud zona de aproximación para carriles de espera y giro a izquierda

Velocidad de directriz km/h	Longitud zona de aproximación (m)	
	Ancho carril giro: 3,35 m	Ancho carril giro: 3,65 m
60	80	90
80	140	155
100 o más	220	240

Para la solución tipo b, con sombra parcial, la longitud se puede calcular con:

$$L_{\text{prox}} = a_{cl} \times V$$

Donde:

a<sub>cl</sub> : corrimiento lateral – retranqueo, *offset* (m)

V : velocidad directriz (km/h)

Como valor mínimo absoluto se puede indicar una tasa de apertura de 10:1.

*Zona de transición:* debe direccionar a los vehículos que giran a izquierda hacia el carril de giro. Suele diseñarse con curvas reversas, con un tercio (1/3) de la longitud total resuelto con un segmento de recta central. Para la solución tipo a, con sombra completa, la longitud se puede obtener de la expresión:

$$L_{\text{trans}} = \frac{acg \times V}{4}$$

Donde:

acg : ancho carril de giro a izquierda (m)

V : velocidad directriz (km/h)

Tabla 5.12 Longitud zona de transición para carriles de espera y giro a izquierda

Velocidad de directriz km/h	Longitud zona de transición (m)	
	Ancho carril giro: 3,35 m	Ancho carril giro: 3,65 m
60	50	55
80	70	75
100 o más	85	90

Como valor mínimo se puede utilizar una tasa de transición de 8:1. Cuando las restricciones de espacio sean muy importantes, puede llegarse a una tasa de 4:1, con la isleta demarcada en el pavimento.

*Longitud del carril de giro:* es el parámetro más importante del diseño de este tipo de carriles. Debe brindar suficiente longitud para permitir a los vehículos desacelerar y detenerse antes del giro.

En la Tabla 5.13 se indican las longitudes totales, considerando incluidas en ellas la longitud de la transición.

Tabla 5.13 Longitud zona de transición para carriles de espera y giro a izquierda

Velocidad Directriz km/h	Longitudes (m)		
	Carril	Transición	Total
60	55	55	105
80	65	75	140
100 o más	90	90	180

En ocasiones además de la desaceleración debe brindarse espacio para el almacenamiento de los vehículos que van a girar. Esa situación se presenta en intersecciones reguladas por semáforos. Como mínimo debe considerarse el almacenamiento de un vehículo pesado similar al utilizado para el diseño, p. ej. un semirremolque tipo WB-15.

*Ancho del carril de giro:* usualmente tiene el mismo ancho que los carriles de paso (3,65 m, 3,35 m). El ancho mínimo recomendado es de 3,00 m, en caminos de baja velocidad y con bajo porcentaje de camiones pesados.

*Zona de salida:* se diseña en concordancia con la zona de aproximación opuesta. La transición de salida suele comenzar donde el carril de giro para el tránsito opuesto alcanza el ancho total.

Si en esta zona de salida se plantea un carril de aceleración el mismo deberá diseñarse según con lo indicado en el Capítulo 6, eligiendo adecuadamente las velocidades inicial (función del radio de giro) y final. Respecto de ésta, como valor deseable se tomará la directriz del camino, siendo el mínimo absoluto la velocidad máxima señalizada (siempre que ambas no difieran más de 30 km/h).

### 5.6.3 Anchos de calzadas de giro

El área pavimentada en la zona de intersección crece en la medida que los ángulos de giro a la derecha se agudizan y que el vehículo tipo sea de mayor envergadura. Si se permite velocidades de giro mayores que los 15 km/h (límite para los trazados mínimos del párrafo anterior), aumentan los radios mínimos que se debe aplicar a los bordes de giro y el área pavimentada.

Las isletas de canalización permiten resolver la situación planteada, al separar los movimientos de giro más importantes y conducirlos hacia ramales de giro independientes. Los elementos básicos para el trazado de ramales de giro canalizados son:

- La alineación del borde de giro (borde interior de la curva).
- El ancho del carril de giro, Tabla 5.15.
- El tamaño mínimo aceptable para la isla de canalización (4,5 m<sup>2</sup>; [SS5.6.2]).

Estos tres controles de diseño concuerdan cuando para el borde de giro se usan curvas de radios algo mayores que las requeridas para los giros más cerrados de los diferentes vehículos tipo. Esto brinda soluciones algo más holgadas que las mínimas correspondientes al caso sin canalizar.

En el diseño de curvas de intersecciones para  $25 \text{ km/h} < V < 65 \text{ km/h}$  se pueden usar coeficientes de fricción lateral algo mayores que los usados en caminos rurales, pudiendo considerarse como valores máximos los indicados en la Tabla 5.14.

La Tabla 5.14 muestra los valores de los radios mínimos absolutos en intersecciones canalizadas con Velocidades de Proyecto comprendidas entre 25 km/h y 65 km/h, para peraltes de 0% y 8%. Estos valores se calculan con la expresión:

$$R_{\text{mín}} = V/127 (e+ft),$$

Con los valores máximos admisibles del coeficiente de fricción que allí aparecen.

La expresión anterior para  $R_{\text{mín}}$  puede ser utilizada con otros valores intermedios de peralte.

Tabla 5.14 Radios mínimos absolutos en ramales de intersecciones canalizadas para  $25 \text{ km/h} < V < 65 \text{ km/h}$

V (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60	65
f máx (%)	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16
$R_{\text{mín}}$ (m) e = 0% <sup>(1)</sup>	15	25	40	55	75	100	130	170	210
$R_{\text{mín}}$ (m) e = 8%	15 <sup>(2)</sup>	20	30	40	55	75	90	120	140

<sup>(1)</sup> e = 0% sólo en casos restricciones en alzado insalvables

<sup>(2)</sup> Radio mínimo < 15 m es inaceptable en intersecciones canalizadas, salvo curvas de tres centros.

El ancho de la calzada de giro se define por el área barrida del vehículo de diseño para el radio de curvatura seleccionado y tipo de operación prevista. Típicamente se refieren tres tipos de operación:

- **Caso 1:** un carril, un sentido sin provisión para adelantamiento de vehículo detenido.
- **Caso 2:** un carril, un sentido con provisión para adelantamiento de vehículo detenido.
- **Caso 3:** dos carriles, uno o dos sentidos.

Se pueden considerar tres condiciones de tránsito:

- **Condición A:** predominan vehículos livianos (P), pero también se considera que giran los camiones SU, aunque no son suficientes como para influir en el diseño.
- **Condición B:** suficientes vehículos SU como para gobernar el diseño, pero con alguna consideración para los semirremolques.
- **Condición C:** suficientes vehículos semirremolques WB-12 o WB-15 como para gobernar el diseño.

En general, en las intersecciones canalizadas las calzadas de giro son cortas, de modo que usualmente es adecuado el diseño para el Caso 1. También es razonable suponer, en ausencia de datos de tránsito, que habrá bastantes camiones en la corriente de tránsito como para justificar la aplicación de la condición B para el diseño. Los anchos de las calzadas de giro se listan en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15 Anchos de calzadas de giro

Radio interior (m)	Caso 1			Caso 2			Caso 3			
	Condición			Condición			Condición			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
15	5,4	5,5	7,2	6,0	7,8	9,2	9,4	11,0	13,6	
25	4,8	5,0	5,9	5,6	6,9	7,9	8,6	9,7	11,1	
30	4,5	4,9	5,7	5,5	6,7	7,6	8,4	9,4	10,6	
50	4,2	4,6	5,2	5,3	6,3	7,0	7,9	8,8	9,5	
75	3,9	4,5	4,9	5,2	5,9	6,5	7,6	8,3	8,7	
100	3,9	4,5	4,9	5,2	5,9	6,5	7,6	8,3	8,7	
125	3,9	4,5	4,9	5,1	5,9	6,4	7,6	8,2	8,5	
150	3,6	4,5	4,9	5,1	5,8	6,4	7,5	8,2	8,4	
Recta	3,6	4,2	4,4	5,0	5,5	6,1	7,3	7,9	7,9	
Modificación de anchos (m) por efecto de banquina pavimentada (1) y cordones										
Banquina sin pavimentar		Sin modificación			Sin modificación			Sin modificación		
Cordón Montable		Sin modificación			Sin modificación			Sin modificación		
Cordón no montable	Un lado	Añadir 0,3			Sin modificación			Añadir 0,3		
	Dos lados	Añadir 0,6			Añadir 0,3			Añadir 0,6		
Banquina pavimentada a uno o ambos lados		En condiciones B y C ancho en recta puede reducirse a 3,6 m si ancho de banquina pavimentada es 1,2 m o más			Deducir ancho de las banquetas pavimentadas. Ancho mínimo como Caso 1.			Deducir 0,6 m donde la banquina pavimentada sea de 1,2 m como mínimo.		

(1) Cuando existen banquetas pavimentadas en ramales -principalmente en intercambiadores- éstas deben tener un ancho uniforme en toda su longitud. En ramales de un sentido de circulación la suma de los anchos de las banquetas pavimentadas no debe superar los 3 a 3,5 m, de los cuales 0,5 a 1 m deben corresponder a la banquina izquierda.

La Tabla 5.16 identifica el vehículo tipo y la maniobra que se consideró para la determinación de los anchos de la Tabla 5.15. Estos anchos incluyen los espacios adicionales necesarios para que dichas maniobras puedan realizarse con seguridad. Donde aparecen dos letras, la primera indica el tipo de vehículo que puede adelantar cómodamente a un vehículo estacionado, siendo el tipo de éste el que señala la segunda. Ejemplo: en la celda correspondiente al Caso 2 con composición de flujos tipo B, la clave P-SU informa que un automóvil puede maniobrar holgadamente adelantando a un camión simple.

Tabla 5.16 Vehículos tipo considerados en la determinación de los anchos de calzadas de la Tabla 5.15

Caso 1			Caso 2			Caso 3		
Condición			Condición			Condición		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
P	SU	WB-12 o ICBUS (el mayor)	P-P	P-SU	SU-SU	P-SU	SU-SU	WB-12 y WB-12

La Tabla 5.17 permite apreciar los vehículos más grandes que pueden operar en ramales cuyos anchos son los de la Tabla 5.15, con espacios laterales menores a los normalmente considerados y circulando a bajas velocidades.

Tabla 5.17 Máximos vehículos tipo que pueden realizar maniobras en los anchos de calzadas de la Tabla 5.15

Caso 1			Caso 2			Caso 3		
Condición			Condición			Condición		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
WB-12	WB-12	WB-15	P SU	P WB-12	SU WB-12	SU WB-12	WB-12 WB-12	WB-15 WB-12

Ejemplo: en Caso 1 – A; se lee WB-12, quiere decir que en el ancho indicado un camión con semirremolque corriente puede efectuar el giro sin salirse del carril, pero prácticamente sin revancha entre la trayectoria de las ruedas y el borde del pavimento.

Caso 2 – B: se lee P – WB-12. Esto indica que un automóvil podrá adelantar a un vehículo tipo WB-12 que se encuentre estacionado al borde del carril (o viceversa) siempre con separación lateral mínima entre un vehículo y otro y entre los bordes del pavimento.

Cuando se accede a un ramal de intersección desde una vía cuya Velocidad de Proyecto es significativamente superior (30 o más km/h de diferencia), el aumento brusco de la fuerza centrífuga, al pasar de la alineación amplia a la curva del ramal, aconseja intercalar curvas de enlace, que pueden ser curvas circulares de mayor radio (curvas de tres centros) o clotoides de curvatura variable.

Ambas son una buena opción de diseño frente a las curvas simples. Normalmente las curvas de tres centros tienen una relación de 3:1:3 entre los radios sucesivos. Sin embargo, las combinaciones asimétricas, p. ej. 2:1:4 también son muy útiles. Estas curvas siguen estrechamente la trayectoria de las ruedas de un vehículo que recorre el giro, permitiendo así usar carriles más angostos que los de la curva de radio simple.

Esto es particularmente útil para las condiciones del Caso C porque los semirremolques requieren grandes anchos de calzada de giro, que los conductores de automóviles pueden percibir como destinada a una operación de dos carriles. Cuando se consideran curvas de tres centros, se recomienda la utilización de plantillas para determinar el ancho de calzada requerido.

Tabla 5.18 Anchos de calzadas de giro para diferentes vehículos tipo

Caso 1: un carril, un sentido							
Sin posibilidad de adelantamiento de vehículo detenido							
R borde interno	P	SU	BUS-14	CITY BUS	WB-12	WB-15	WB-19
15	4	5,5	7,2	6,5	7	9,7	13,3
25	3,9	5	5,9	5,6	5,8	7,2	8,5
30	3,8	4,9	5,7	5,4	5,5	6,7	7,7
50	3,7	4,6	5,2	5	5	5,7	6,3
75	3,7	4,5	4,9	4,8	4,8	5,3	5,7
100	3,7	4,5	4,9	4,8	4,8	5,3	5,7
125	3,7	4,5	4,9	4,8	4,8	5,3	5,7
150	3,7	4,5	4,9	4,8	4,8	5,3	5,7
Recta	3,6	4,2	4,4	4,4	4,2	4,4	4,4
Caso 2: un carril, un sentido							
Con posibilidad de adelantamiento de vehículo detenido (del mismo tipo)							
R borde interno	P	SU	BUS-14	CITY BUS	WB-12	WB-15	WB-19
15	6	9,2	13,1	11,7	11,8	17,3	24,7
25	5,6	7,9	10,2	9,5	9,3	12,1	14,9
30	5,5	7,6	9,5	9	8,8	11,1	13,3
50	5,3	7	8,3	7,9	7,7	9,1	10,4
75	5,2	6,7	7,6	7,4	7,1	8,2	9
100	5,2	6,5	7,3	7,1	6,9	7,7	8,3
125	5,1	6,4	7,1	7	6,7	7,5	8
150	5,1	6,4	7	6,9	6,6	7,3	7,7
Recta	5	6,1	6,4	6,4	6,1	6,4	6,4
Caso 3: dos carriles, uno dos sentidos							
Mismo tipo de vehículo en ambos carriles							
R borde interno	P	SU	BUS-14	CITY BUS	WB-12	WB-15	WB-19
15	7,8	11	14,9	13,5	13,6	19,1	26,5
25	7,4	9,7	12	11,3	11,1	13,9	16,7
30	7,3	9,4	11,3	10,8	10,6	12,9	15,1
50	7,1	8,8	10,1	9,7	9,5	10,9	12,2
75	7,0	8,5	9,4	9,2	8,9	10	10,8
100	7,0	8,3	9,1	8,9	8,7	9,5	10,1
125	6,9	8,2	8,9	8,8	8,5	9,3	9,8
150	6,9	8,2	8,8	8,7	8,4	9,1	9,5
Recta	6,8	7,9	8,2	8,2	7,9	8,2	8,2

### 5.6.4 Peralte en las calzadas de giro

Los peraltes en los ramales están gobernados por los mismos principios generales vistos en el Capítulo 2. En las intersecciones a nivel suelen utilizarse valores bajos de peralte, para no generar grandes alabeos de superficie.

En los ramales de enlaces o intercambiadores el rango del peralte máximo suele ser del 6 al 10%. Normalmente se disponen peraltes mayores en los rulos que en los ramales directos.

Tabla 5.19 Rango de peraltes para curvas en intersecciones

Radio m	Rango de peraltes (%) para curvas de intersección con velocidad directriz (km/h) de:					
	20	30	40	50	60	70
15	2- 10					
25	2 - 7	2 - 10				
50	2 - 5	2 - 8	4 - 10			
70	2 - 4	2 - 6	3 - 8	6 - 10		
100	2 - 3	2 - 4	3 - 6	5 - 9	8 - 10	
150	2 - 3	2 - 3	3 - 5	4 - 7	6 - 9	9 - 10
200	2	2 - 3	2 - 4	3 - 5	5 - 7	7 - 9
300	2	2 - 3	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6
500	2	2	2	2 - 3	3 - 4	4 - 5
700	2	2	2	2	2 - 3	3 - 4
1000	2	2	2	2	2	2 - 3

Nota: Usar Preferiblemente la mitad o tercio superior del rango indicado para el peralte. En zona de frecuente nieve o hielo, la tasa máxima no deberá superar el 6%.

Respecto de la forma de desarrollar el peralte, se base principalmente en la comodidad del usuario y la apariencia de los bordes de calzada. Esto significa que no se deben superar ciertos valores de la pendiente relativa entre dos carriles adyacentes (el externo de la calzada principal y el auxiliar). Los gradientes relativos máximos a utilizar se muestran en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20 Pendientes relativas máximas en terminales de ramas

V de la curva de entrada o de salida (km/h)	Diferencia algebraica máxima de la pendiente transversal en la línea de cruce (%)
30 y menos	5 a 8
40 a 50	5 a 6
60 o más	4 a 5

### 5.6.5 Iluminación y señalización

#### **Iluminación**

La adecuada iluminación de las intersecciones de caminos rurales redundará en una sensible reducción de los accidentes nocturnos.

La iluminación permite a los conductores identificar cualquier posible peligro o conflicto con otro vehículo o con peatones, y los alerta anticipadamente sobre la existencia de la intersección.

Al proyectar un sistema de iluminación se debe prestar preferente atención a la ubicación de los postes que sostienen las luminarias, y la ubicación de los tableros. Debe considerarse la necesidad de diseñar la transición de iluminación para acostumbramiento visual, y prevenir la "ceguera nocturna" que afecta momentáneamente a los conductores que, al salir de una zona muy iluminada, penetran en la oscuridad al alejarse de la intersección.

Los parámetros básicos para el proyecto los fija la DNV. Los valores usuales son:

- Intersección en caminos sin iluminar: Iluminancia media: 30 lux
- Intersección en caminos con iluminación continua: Iluminancia media: 40 lux

#### **Señalización**

Debe mantenerse la uniformidad de los señalamientos horizontal y vertical en todas las intersecciones. Cuanto menos oportunidades de indecisión se les dé a los conductores, más se afianzará la seguridad de su operación. Por ejemplo, los conductores deben saber hacia dónde mirar cuando están buscando información sobre la dirección a seguir.

Todas las señales reglamentarias, preventivas e informativas deben seguir estrictas normas sobre tipo, tamaño, color y ubicación.

La normativa vigente es:

- Ley Nacional de Tránsito (N° 24449) y Decreto 779/95, Anexo L: "Sistema de Señalización Vial Uniforme".
- Manuales y Normas de la Dirección Nacional de Vialidad.

Para la demarcación horizontal se utilizan los colores blanco y amarillo. El blanco se usa para las marcas transversales, leyendas, números y símbolos, y para las líneas longitudinales de sentido único de circulación. El color amarillo indica separar los sentidos opuestos.

---

## 5.7 ROTONDAS MODERNAS

### 5.7.1 Introducción

Las rotondas modernas son una forma altamente refinada de intersección circular, con diseño y características específicas de control de tránsito. Estas características incluyen el control de Ceda el Paso al tránsito entrante, las aproximaciones canalizadas, las curvaturas geométricas restrictivas y los anchos de calzada. Se diseñan para controlar la velocidad de viaje, facilitar el intercambio eficaz de los flujos de tránsito, y reducir al mínimo el número y gravedad de los choques y conflictos vehículo-vehículo.

En los últimos años ganaron amplia aceptación entre los profesionales del diseño y usuarios viales por su funcionamiento y seguridad [5 ANEXO]. Mediante estas medidas, en la mayoría de las circunstancias demostraron ser comparables o superiores a las intersecciones convencionales.

En términos generales, cualquier intersección urbana o rural que cumpla los criterios para un control del tránsito más allá de una simple condición de PARE califica para evaluarla como una rotonda moderna. Por lo tanto, en cualquier proceso de planeamiento para mejorar una intersección semaforizada o con control PARE en los cuatro sentidos, el examen de una rotonda moderna también debe recibir una seria consideración. Las rotondas siempre deben tenerse en cuenta como una estrategia de mejoramiento de las intersecciones existentes controladas por señales PARE en los cuatro sentidos, o por semáforos con problemas de seguridad u operacionales.



En general, una rotonda bien diseñada es el tipo más seguro de control de intersección. Los estudios tipo "Antes y después" demuestran que en ellas se producen menos accidentes que en las intersecciones controladas por semáforos, señales PARE, o CEDA EL PASO. La razón principal es que las velocidades relativas de los vehículos son considerablemente más bajas en las rotondas bien diseñadas que en otros tipos de intersecciones a nivel.

La Figura 5.37 muestra dos tratamientos de intersección de caminos que se cruzan en un ángulo de  $90^\circ$ . La velocidad del entorno en cada ramal es de 60 km/h. El diagrama superior muestra un típico tratamiento. La velocidad relativa potencial de los vehículos en ramales adyacentes es de 85 km/h. El diagrama inferior muestra una rotonda en la intersección. La velocidad relativa potencial de entrada y la circulación de vehículos en esta rotonda es de 46 km/h, valor muy inferior a 85 km/h para la intersección a nivel.

Las velocidades potenciales relativas más altas de los vehículos resultan en una mayor tasa y gravedad de los accidentes. En una intersección a nivel, los índices de accidentes de vehículos múltiples son significativamente mayores que en una rotonda equivalente.

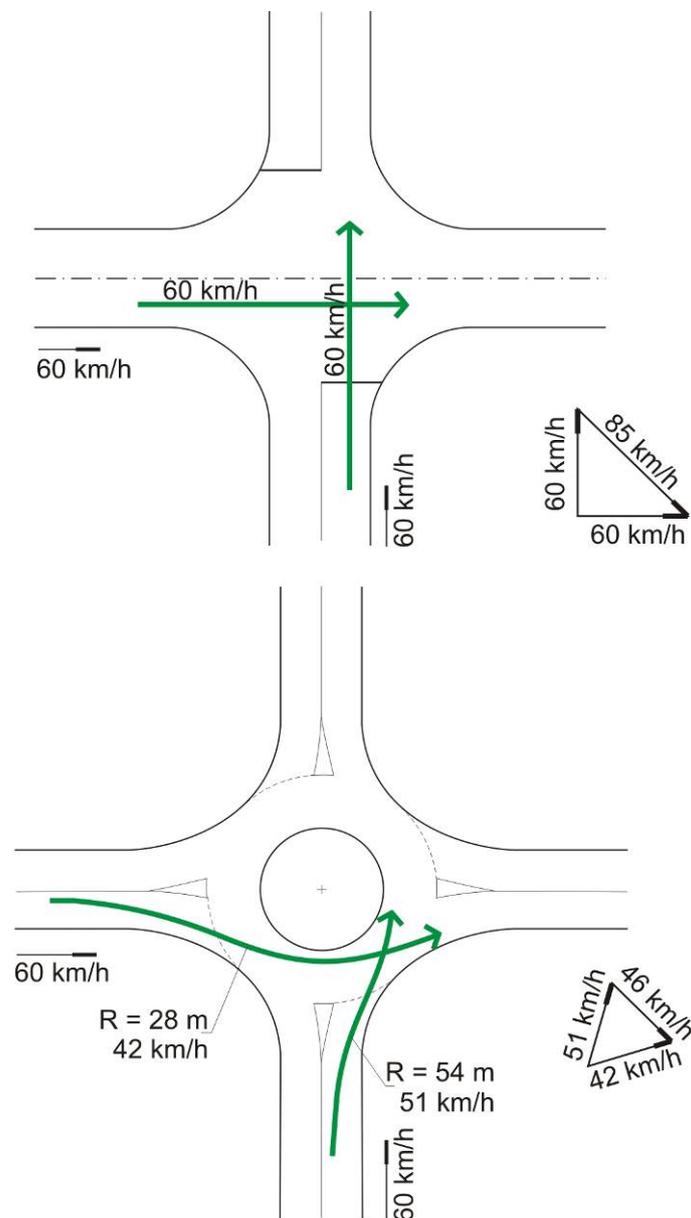


Figura 5.37 Dos tratamientos para caminos que se cruzan a  $90^\circ$

La curvatura de entrada de la rotonda limita la velocidad a la que los conductores pueden entrar en la calzada de circulación. Por el contrario, una rotonda mal diseñada con poca curvatura de entrada o ángulo de desviación pequeño resulta en altas velocidades a través de la rotonda, creando altas velocidades potenciales relativas entre los vehículos. Las tasas de accidentes de múltiples vehículos en tales rotondas mal diseñadas pueden ser mayores que en una intersección a nivel equivalente.

### 5.7.2 Terminología y definiciones

Desde antes de la invención del automóvil, las intersecciones a nivel en las cuales los vehículos realizan sus deseados movimientos girando alrededor de una isleta central de variadas formas recibieron distintas denominaciones: círculos de tránsito, giratorios, rotatorios, rotacionales, anillos, plazas, glorietas y rotondas modernas.

Siguiendo la tendencia internacional, se adoptaron sólo dos denominaciones básicas: círculo de tránsito *CT*, y rotonda moderna *RM*

En grados variables, estas formas de control de tránsito cumplen los principios de canalización de los movimientos.

#### **Círculo de tránsito**

Para distribuir la prioridad se usan *CT* de muchas formas, con la característica común de diseñarlos alrededor de una isleta central que impide el paso de los vehículos a través de ella en una trayectoria recta.

El principio básico es canalizar las trayectorias de los vehículos para dispersar y disminuir el número de los conflictos concentrados en una intersección convencional, y resolver cada uno en forma adecuada. Hay dos tipos de *CT*:

- entrada en ángulo recto y con control de PARE. Un croquis con el anillo rectificado se observa en las Figura 5.38

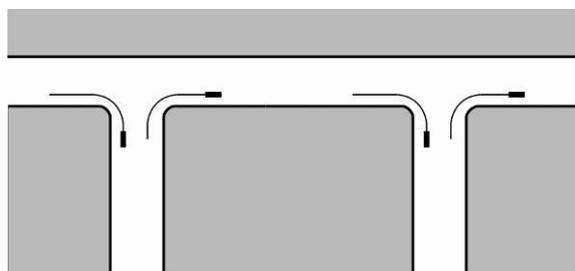


Figura 5.38 Entrada normal al anillo

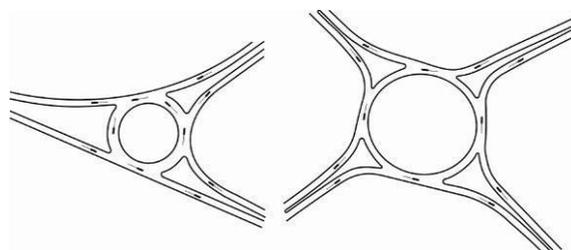
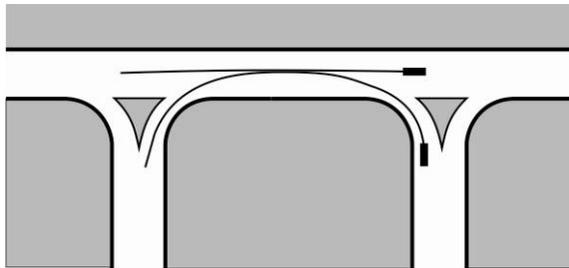


Figura 5.39 Viejo Diseño de Círculos de Tránsito

- muy grandes, geometría y capacidad basadas en las maniobras de convergencia y entrecruzamiento a velocidades relativamente altas, Figura 5.39 y Figura 5.40 (anillo rectificadado. Casi siempre la distancia de entrecruzamiento resulta corta



para altos volúmenes de tránsito y velocidad, por lo que su capacidad es limitada. El tamaño requerido crece exponencialmente con la velocidad. Las trayectorias de las entradas de los tránsitos principales suelen ser tangenciales al círculo. Se da prioridad de paso al tránsito que entra.

Figura 5.40 Entrecruzamientos

### **Rotonda moderna**

Las *RM* constituyen una forma de control de tránsito segura y eficiente:

- Reducen las velocidades relativas de los vehículos conflictivos;
- Implican requerimientos simples y claros para la toma de decisiones de los conductores;
- Reducen los conflictos a sólo 8 conflictos vehículo/vehículo;
- Imponen dos estorbos deliberadamente diseñados a los conductores que entran en ella;
  - uno reglamentario: *ceder el paso*, y
  - otro geométrico: *deflexión de la entrada y trayectoria*.

Estas condiciones *reducen efectivamente las velocidades de operación y los accidentes en la intersección*.

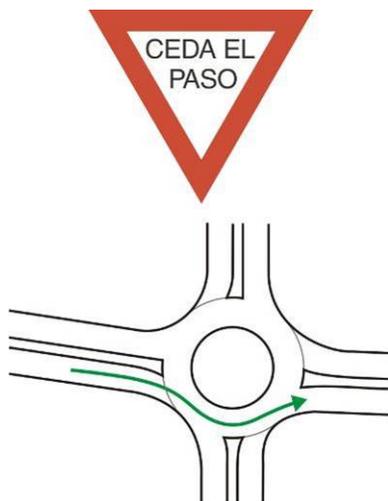


Figura 5.41 Deflexión en una RM

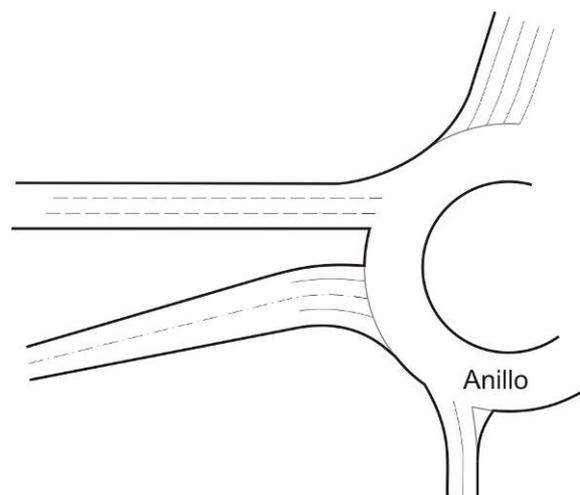


Figura 5.42 Abocinamiento de entrada

La adicional provisión de adecuada distancia visual permite a los conductores observar los movimientos de otros vehículos, ciclistas y peatones, y juzgar la duración de claros en el flujo de tránsito de la plataforma circulatoria (anillo, calzada anular) para entrar en forma segura. Las isletas partidoras y el abocinamiento de la entrada son otros elementos geométricos claves que mejoran la capacidad y seguridad. Para que se comporten efectivamente, las *RM* deben ser conspicuas, identificarse fácilmente en el sistema vial. Operan como series de intersecciones T separadas. A bajas velocidades usualmente debajo de unos 30 km/h los conductores seleccionarán claros pequeños para entrar en la corriente de tránsito que gira, proporcionando así alta capacidad con menor consumo de combustible, y polución del aire.

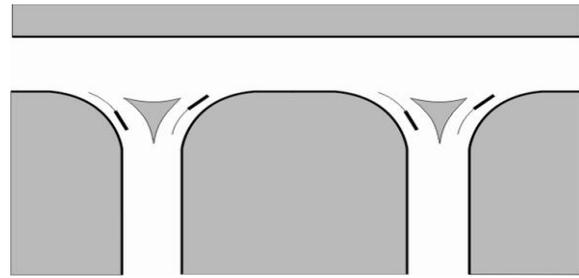
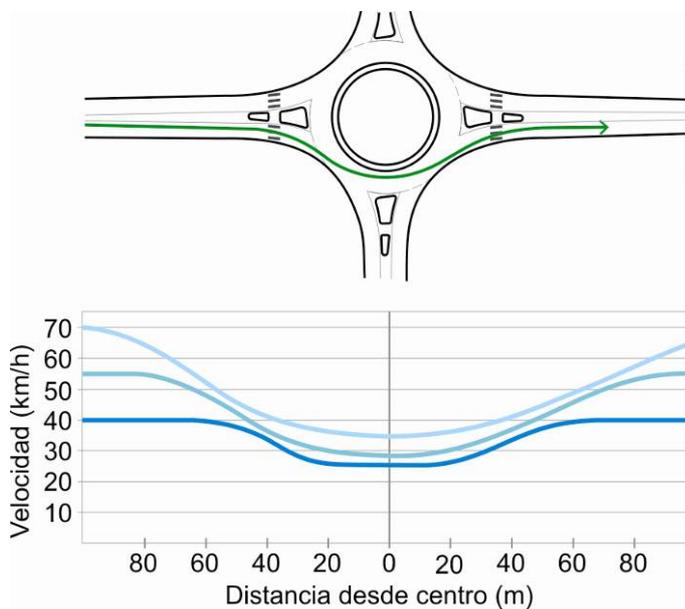


Figura 5.43 Series de intersecciones T

La ideología básica de diseño de las *RM* es limitar físicamente las velocidades de los vehículos mediante la deflexión de la trayectoria, según Figura 5.41. Si ocurre un choque, será a baja velocidad y en un bajo ángulo de impacto. Las *RM* reducen los accidentes y las demoras de tránsito.



Las velocidades más bajas dan a los conductores más tiempo para tomar decisiones y, si toman una mala, pueden recobrarse y corregirla. También pueden tener un efecto apaciguador del tránsito, logrando una importante ventaja en seguridad y disminución de accidentes respecto de otros tipos de intersecciones a nivel. La disminución de velocidad al tránsito entrante sumado a la regla de “ceder el paso” permite la prioridad al anillo con alta capacidad.

Figura 5.44 Muestra teórica de perfil de velocidad

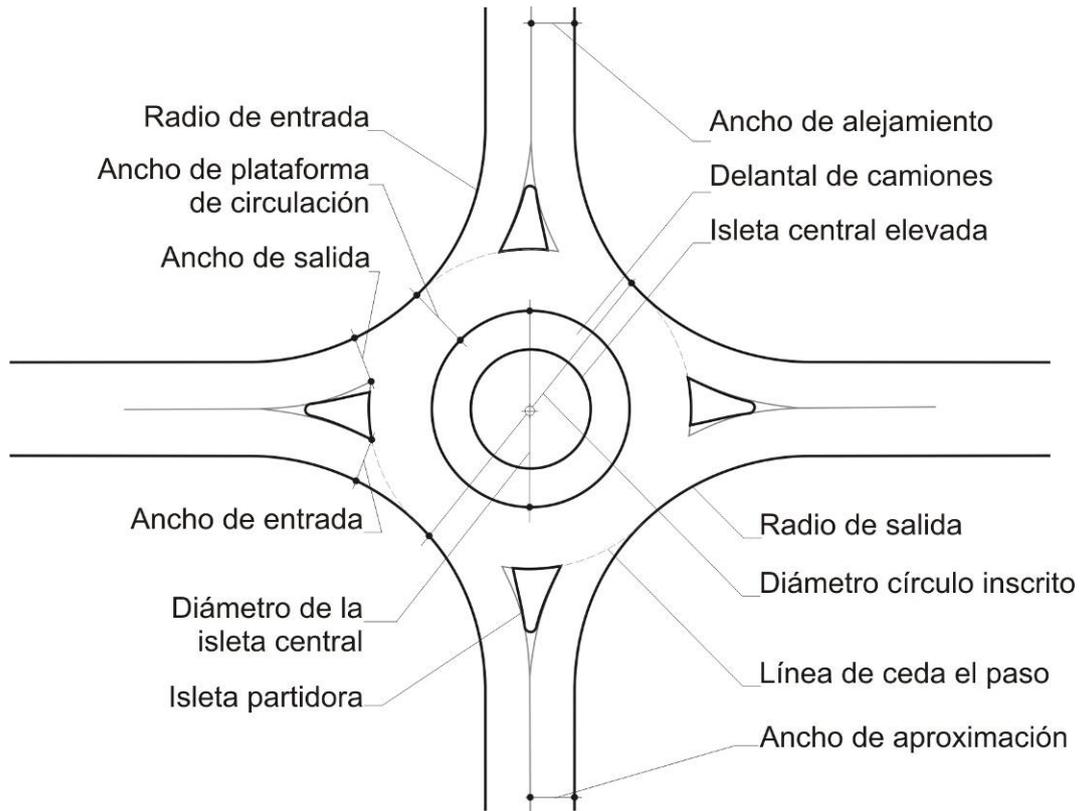
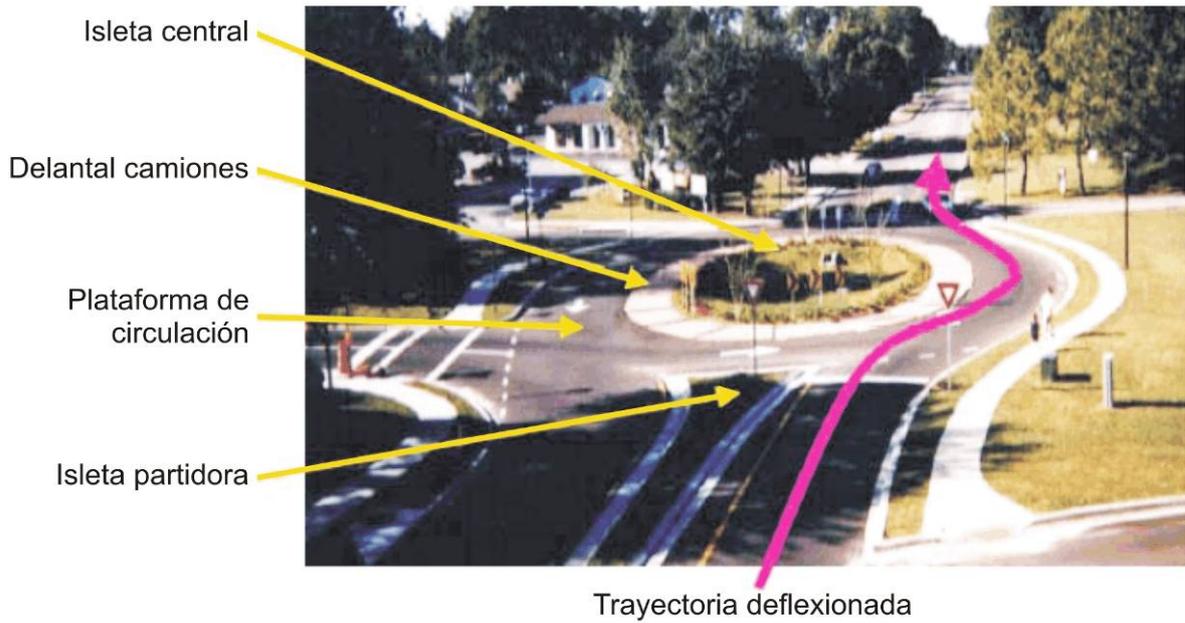


Figura 5.45 Elementos geométricos de una RM





***Esta es una RM***



***Estas NO son RM***

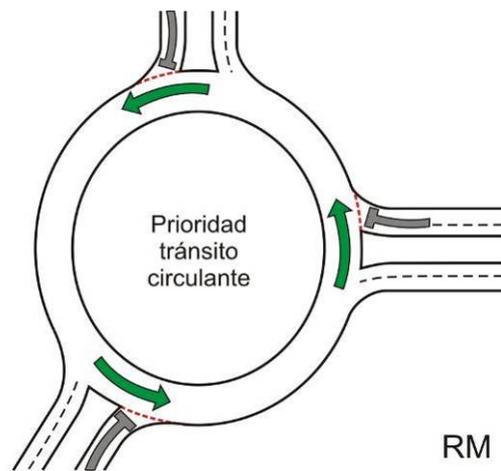
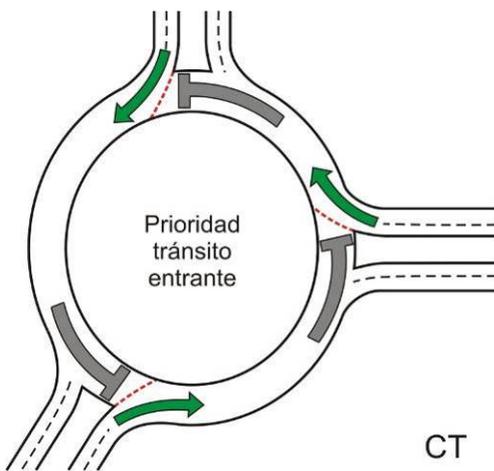
**Diferencias entre rotondas modernas y círculos de tránsito**

- Físicas.** Físicamente, la diferencia más notable es el tamaño; en tanto el diámetro del círculo inscrito de una *RM* rural de un carril diseñada para una *V* del orden de los 40 km/h no supera los 50 m, el diámetro mínimo inscrito de un *CT* para una *V* de 65 km/h es de 260 m, con una longitud mínima de entrecruzamiento entre extremos de isletas partidores de unos 70 m, y un anillo de no menos de 7,3 m de ancho.

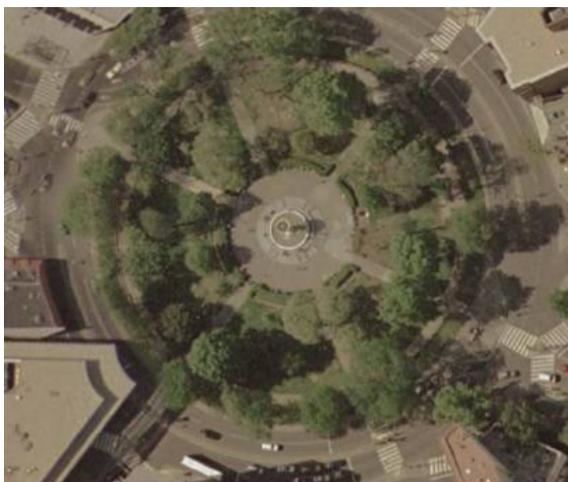


Figura 5.46 Diferencia de diámetros en una conversión de un *CT* en una *RM*

- Reglamentarias.** La diferencia más notable es la prioridad de paso. Las *RM* dan prioridad al tránsito en el anillo, en tanto los *CT* la dan al que entra. En los *CT* se procura dar poca o ninguna deflexión al tránsito principal, en tanto que en las *RM* la deflexión es esencial para el tránsito principal y secundario.



**Los CT NO son RM**



Clásicos CT

- **Otras diferencias.** Al estar gobernadas por pequeños diámetros y entradas deflexionadas, las *RM* operan con bajas velocidades del tránsito que entra o circula por el anillo. En contraste, los *CT* ponen énfasis en altas velocidades de convergencia y entrecruzamiento, posibilitadas por diámetros más grandes y entradas tangenciales. Al dar prioridad a los vehículos que entran, un *CT* tiende a bloquearse con altos volúmenes.



Además, su operación resulta comprometida por la alta velocidad del entorno, en el cual se requieren grandes claros para la adecuada convergencia. Estas deficiencias se corrigen con las *RM*, en las cuales la longitud de entrecruzamiento en el anillo ya no es el factor decisivo de diseño, puesto que las filas se generarán en las entradas y no en el anillo.

Otras características de las *RM* incluyen las isletas partidoras en las aproximaciones, para controlar la velocidad e impedir los giros a la izquierda, buena distancia visual, iluminación, señalización, marcación del pavimento, y sin cruces peatonales a través del anillo.

En las *RM*, los cruces peatonales se diseñan una o dos longitudes de automóvil antes de las líneas de Ceda el Paso, apenas desplazadas corrientes arriba del borde exterior del anillo.

La operación en una *RM* es también contraria a la de una intersección semaforizada, donde muchos conductores son alentados por una luz verde o amarilla a acelerar para pasar rápidamente por la intersección y ganarle a la luz roja.

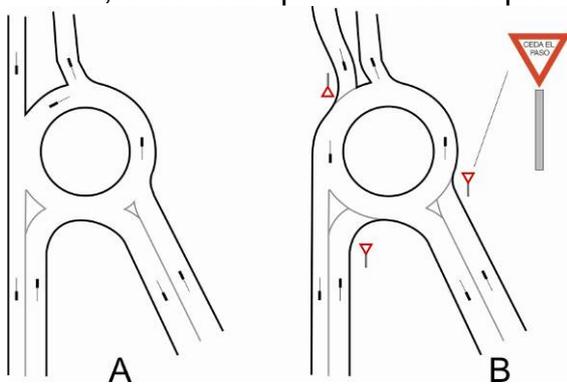
Otro importante factor de seguridad es que el movimiento en una entrada y una salida de una *RM* es un giro a la derecha, reduciendo así la frecuencia potencial y gravedad de accidentes, comparados con los que típicamente ocurren durante los giros a la izquierda y cuando el tránsito cruza una intersección de ejes perpendiculares. Un vehículo que entra subordinado, inmediatamente después de cruzar la línea de Ceda el Paso se vuelve prioritario hasta que sale de la *RM*.

La velocidad a la cual un vehículo es capaz de circular por el anillo está controlada por la ubicación de la isleta central con respecto al alineamiento del cordón de entrada derecho. Esta característica es responsable de los mejores registros de seguridad de las *RM*.

En las *RM*, todos los vehículos circulan por el anillo en sentido contrario al de las agujas del reloj, pasando a la derecha de la isleta central. Principalmente en el anillo de las *RM* no se permite ningún estacionamiento, porque sus maniobras impedirían que la *RM* operara en forma coherente con su diseño. Algunos *CT* grandes permiten el estacionamiento en el anillo. En la isleta central de las *RM* no se permite ninguna actividad peatonal y se la desalienta físicamente. En cambio, algunos *CT* grandes permiten el cruce peatonal del anillo, e inclusive actividades en la isleta central.

Las *RM* tienen isletas partidoras elevadas -características esenciales de seguridad- requeridas para separar los tránsitos que se mueven en sentidos opuestos, y refugiar a los peatones. Algunos *CT* acomodan peatones en otros lugares, tales como los puntos de Ceda el Paso.

Con tránsito bajo, los vehículos entran en las *RM* sin detenerse; a más altos volúmenes, el tránsito que entra tiene que esperar por un claro en la corriente que gira.



Todas estas comparaciones demuestran que las *RM* y los *CT* son como el jabón y el queso. La única similitud es que los conductores giran alrededor de una isleta central. En la Figura 5.47 se ilustra cómo cambiar un viejo *CT* en una *RM*: instalando señales *CEDA EL PASO* en todas las entradas y forzando una deflexión en la entrada desde el norte.

Figura 5.47 Conversión de *CT* en *RM*

### **Algunas consecuencias de *CEDA EL PASO* a la derecha, en los *CT***



*CT* en Arco del Triunfo, París 2001

### Características clave de la rotonda moderna



#### Característica

#### Descripción

Entrada	La plataforma de aproximación antes de la plataforma de circulación y entre la cara de cordón derecho y el lado de aproximación de la isleta partidora. Esta característica clave es el principal determinante de la capacidad y seguridad de una rotonda.
Salida	La plataforma de salida después de la plataforma de circulación y entre la cara del cordón derecho y el lado de salida de la isleta partidora.
Isleta central	La zona elevada en el centro de una rotonda, alrededor de la cual circula el tránsito.
Isleta partidora	Mediana elevada en una aproximación usada para separar los tránsitos de entrada y salida, desvía y lentifica al tránsito entrante y provee refugio a los peatones que cruzan el camino en dos etapas.
Plataforma de circulación, Anillo, Calzada anular	Plataforma curvada de un-sentido usada por los vehículos para viajar en sentido antihorario alrededor de la isleta central.
Delantal de camiones	Parte montable de la isleta central adyacente a la plataforma circulatoria. Se la requiere para acomodar las huellas de las ruedas traseras de grandes vehículos.
Carril de desvío Bypass giro derecha	Carril de giro derecha que se desvía de la rotonda, físicamente separado de la plataforma circulatoria. Los carriles de desvío no interseccionan la rotonda y no tienen conflictos de tránsito.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Línea de Ceda el Paso	Línea marcada en el pavimento que separa el tránsito que se aproxima a la rotonda del tránsito ya en la calzada circulatoria.
Cruces peatonales	Los cruces peatonales provistos en las rotondas deben ser accesibles. El cruce acomoda a todos los peatones (incluyendo las personas con discapacidades visuales), sillas de ruedas, cochecitos de bebés, y bicicletas para cruzar la trayectoria, calle, etc. en dos etapas con un refugio cortado en la isleta partidora para permitir pasar a través de las trayectorias vehiculares.
Tratamientos Ciclistas	Los tratamientos ciclistas en las rotondas proveen la opción de viajar a través de la rotonda montado en la bicicleta por el carril de viaje como un vehículo más, o salir de la plataforma y usar un paso peatonal como un peatón, o como un ciclista usando una trayectoria de uso compartido, según el nivel de comodidad del ciclista.
Bulevares	Los bulevares se proveen en la mayoría de las rotondas para separar el tránsito vehicular del peatonal y alentar a los peatones a cruzar sólo en los cruces establecidos.
Vereda	Senda peatonal. Es común proveer una senda compartida en el perímetro de la rotonda para acomodar a los peatones y ciclistas.

### **Parámetros clave de diseño de la rotonda moderna**

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Ancho Carril Aproximación, V	Mitad del ancho de calzada del ramal de aproximación corriente arriba de cualquier cambio en el ancho asociado con la rotonda. Típicamente, la mitad del ancho de calzada no es más que el ancho total del carril de aproximación. Si no hay carril ciclista marcado, entonces el ancho se mide desde la cara del cordón en el lado derecho hasta el cordón de la isleta partidora, o línea de eje central pintado o marcado, en el lado izquierdo.
Ancho de Entrada, E	El ancho de entrada define el ancho donde se encuentra con el círculo inscrito. Se mide perpendicularmente desde la cara de cordón exterior hasta la cara de cordón interior en la isleta partidora. El ancho de entrada efectivo puede ser menor por factores de diseño y uso del suelo, Figura 5.48.
Longitud Efectiva de Abocinamiento	Típicamente, la mitad de la distancia entre V y E. En esta distancia, el ancho de la calzada de aproximación iguale el promedio de V y E. El abocinamiento debe desarrollarse uniformemente y evitar un quiebre brusco donde comienza el abocinamiento. La longitud total de abocinamiento total es el doble que la longitud efectiva de abocinamiento, Figura 5.48.
Radio de Entrada	El radio de entrada es el radio mínimo de curvatura del cordón exterior en una aproximación de entrada.

**Parámetro****Descripción**

Ángulo de Entrada

El ángulo  $\emptyset$  (Phi) representa el ángulo de conflicto entre las corrientes de tránsito entrante y circulante, Figura 5.49.

En general,  $2\emptyset$  es el ángulo agudo formado por la unión de la línea tangente (a-b) proyectada desde el punto medio de E, y la línea tangente (c-d) proyectada desde el punto medio del ancho de salida adyacente, Figura 5.50.

Alternativamente, donde la salida adyacente está lejos de la entrada,  $\emptyset$  es el ángulo agudo formado por la unión de la línea tangente (a-b) y la línea tangente (e-f) desde el punto medio de la calzada de circulación, Figura 5.50.

Diámetro Círculo Inscrito

El diámetro del círculo inscrito es el parámetro básico usado para definir el mayor tamaño de una rotonda. Es el diámetro mayor medido hasta el borde exterior de la calzada de circulación.

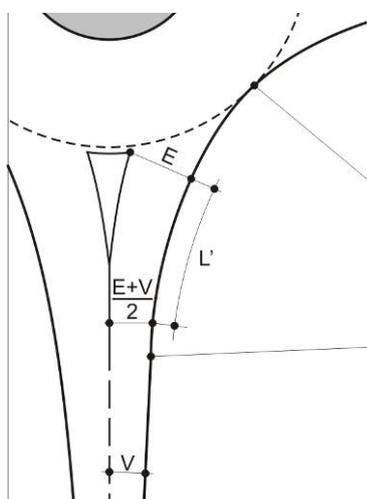


Figura 5.48 Longitud efectiva de abocinamiento

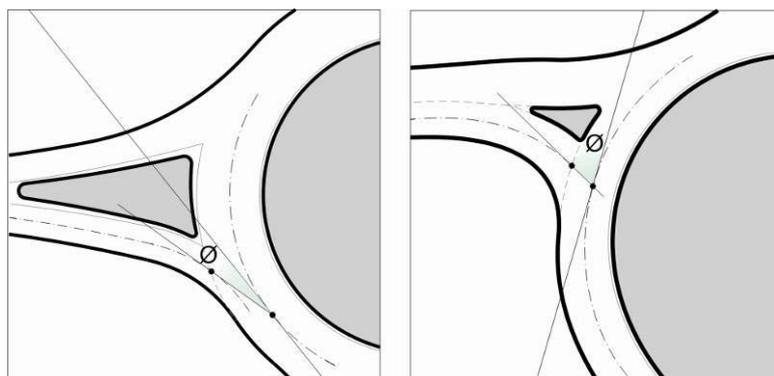


Figura 5.49 Detalle de ángulo de entrada

**Ángulo de Entrada,  $\emptyset$  (Phi)**

El ángulo de entrada  $\emptyset$  lo forman el eje de la entrada en el Ceda el Paso y la tangente al eje de la calzada circular en el punto donde se cruza con el anterior, Figura 5.49; es el parámetro de mayor importancia en la disposición de una entrada.

No debe ser demasiado grande, porque provocaría maniobras incómodas para acceder a la plataforma circulatoria y podrían producirse accidentes graves con ángulos próximos a los  $90^\circ$ .

Tampoco demasiado pequeño, porque supondría una incorporación próxima a la tangencial, que favorece las altas velocidades de incorporación y dificulta la visibilidad hacia la izquierda, obligando al conductor a girar demasiado la cabeza.

El ángulo  $\emptyset$  es uno de los parámetros fundamentales del diseño de las RM. El valor conveniente entre 20 y 40 grados, con un óptimo de 30 grados. Este ángulo es importante para la capacidad y la seguridad de las rotondas.

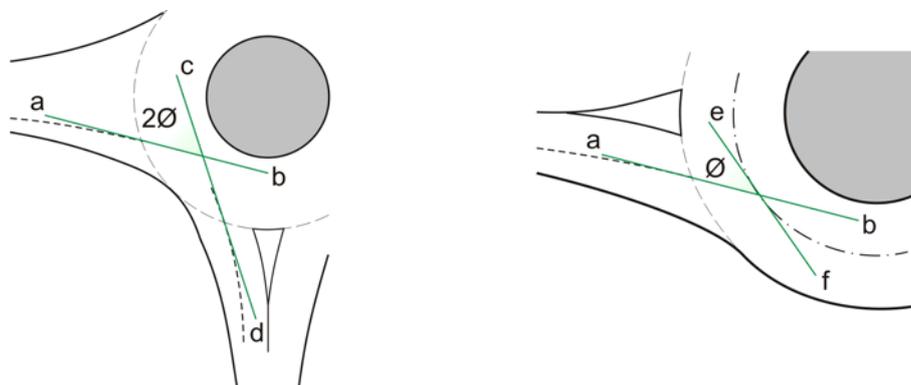


Figura 5.50 Ángulo de entrada

Hay tres condiciones de diseño para definir  $\emptyset$ , Figura 5.50.

**Condición 1:**  $\emptyset = 2\emptyset/2$ , donde la distancia entre los lados izquierdo de una entrada y la salida de la siguiente no son más de 98 pies (30 m). En la condición 1, el ángulo agudo es denotado como  $2\emptyset$  en la que el valor real debe ser dividido por dos para obtener  $\emptyset$ .

**Condición 2:**  $\emptyset = \emptyset$ , si la distancia entre los lados izquierdo de una entrada y la salida más próxima es mayor que 30 m.

**Condición 3:** Se aplica cuando no existe una salida adyacente, o cuando la distancia o el ángulo obtuso son tales como para que la trayectoria circular sea el factor dominante de una entrada (como en una intersección de "3-ramales"). Entonces,  $\emptyset$  es el ángulo formado por la intersección de la recta tangente (a-b) proyectada desde el punto medio del ancho de entrada con una línea tangente (e-f), elaborada por el centro de la calzada de circulación. Se usa en las intersecciones "T", o donde la entrada adyacente y el carril de salida están muy separados.

### Características operacionales básicas

La Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial N° 24449 fija en su Artículo 41 las prioridades en las encrucijadas:

... "Todo conductor debe ceder siempre el paso al que cruza desde su derecha. Esta prioridad del que viene por la derecha es absoluta, y solo se pierde ante:..."  
f) Las reglas especiales para rotondas"

En el *Artículo 43, GIROS Y ROTONDAS*, en el apartado e) indica:

*“Si se trata de rotondas, la circulación a su alrededor será ininterrumpida sin detenciones y dejando la zona central no transitable a la izquierda. Tiene prioridad de paso el que circula por ella sobre el que intenta ingresar debiendo cederla al que egresa, salvo señalización en contrario.”*

La popularización de las rotondas modernas tiene su origen en los buenos resultados obtenidos en Gran Bretaña a partir de la aplicación de la prioridad a la circulación anular. Fundamentalmente, el cambio fue consecuencia de los problemas de bloqueo ocurridos en las intersecciones giratorias de mayor tránsito (los vehículos seguían entrando en la intersección, aunque estuviera congestionada, por la regla de prioridad de la mano derecha, con lo que llegaban a colapsarla). El nuevo sistema de prioridad de la mano izquierda significó otra orientación en el diseño de rotondas.

### 5.7.3 Metodología de diseño y tipos de rotondas modernas

Es necesario y conveniente el temprano y continuo uso de modelos de análisis (Rodel, ARCADY, SIDRA) durante el proceso de planificación y diseño para confirmar la adecuación del concepto y optimizar los atributos de diseño geométrico. Independientemente de la capacidad de estos métodos y modelos para predecir con precisión el rendimiento operativo en condiciones reales, otros componentes de los análisis, como la predicción de tránsito, son mucho menos precisos. La conciencia de esto, así como consideraciones del sistema y la aplicación de criterios técnicos serán componentes esenciales de cualquier proceso de análisis.

Por el *status* actual de las rotondas modernas como una forma de diseño relativamente nueva y única, así como la complejidad inherente de sus aspectos geométricos y operacionales, es conveniente establecer un proceso de revisión de diseño especializado para garantizar el éxito y eficacia de la construcción.

Hay tres momentos críticos en el proceso de desarrollo del proyecto de una rotonda en los que son apropiadas las supervisiones de los expertos:

1. Evaluación del estudio de control de la intersección (en los casos en que se selecciona la opción de la rotonda).
2. Finalización de la composición geométrica, para su aprobación.
3. El hito del 30% del plan de desarrollo de la construcción.

La metodología utilizada y el nivel de experiencia y conocimientos requeridos para desarrollar un diseño de rotonda variará en función de la demanda de tránsito, número de carriles (p. ej., de un solo carril en comparación con el diseño de múltiples carriles) y la complejidad general de la situación. Casi por definición, se debe esperar que un proceso de diseño de la rotonda sea iterativo.

En particular, la optimización de los elementos de diseño es posible con los métodos empíricos y los modelos asociados. Por seguridad y logro de los propósitos, en la fase temprana de planificación y diseño se recomienda encarecidamente consultar a expertos en el diseño de cualquier tipo de rotonda.

Según el número, las *RM* puede distinguirse en:

- **Rotondas modernas simples:** es una intersección giratoria compuesta por una plataforma circulatoria sentido antihorario situada alrededor de una isleta central a la que acceden 3 o más caminos. Si el anillo es de un solo carril, las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino que convergen y divergen, por lo que el número de puntos de conflicto se reduce.



- **Rotondas modernas dobles:** son intersecciones compuestas por dos rotondas modernas conectadas por un tramo de unión. Reciben el nombre genérico de “pesa”, y pueden proyectarse en distribuidores como se observa en la figura [C6].



Según el número de carriles del anillo y el volumen de tránsito, las rotondas pueden clasificarse en tres clases:

- **Rotondas de carril único de bajo volumen:** La rotonda de carril único es muy adecuada donde la capacidad de tránsito no sea un elemento crítico. Esto suele ocurrir en zonas rurales o en contextos de demanda urbana menor. Un volumen de diseño de entrada total por hora (DHV) de menos de 1500 (todos los ramales) es una regla de oro para fines de clasificación. Para este tipo de rotonda, los principios tradicionales del diseño geométrico que afectan a la seguridad, comodidad, maniobrabilidad y facilidad de uso, y la percepción del componente de diseño de la rotonda de mayor velocidad, por lo general pueden ser la base primordial del diseño. A pesar de que las operaciones de tránsito no son necesariamente críticas, se recomienda el control de la concepción del proyecto mediante un modelo informático de análisis.

- **Rotondas de un solo carril de alto volumen:** La complejidad del diseño de este nivel comprende rotondas de un solo carril; las operaciones de tránsito y la capacidad son factores de diseño crítico. El equipo de diseño de un proyecto de este tipo debe tener experiencia previa en diseño de rotondas, y entender la función y la producción del modelo del equipo de análisis utilizado.
- **Rotondas multicarriles:** La complejidad del diseño de este nivel implica rotondas donde una o más ramales tienen dos (o más) carriles de entrada, y una parte de la rotonda debe tener al menos un ancho de dos carriles para satisfacer la demanda de tránsito prevista. Para estos diseños se requiere un amplio conocimiento del diseño de rotondas, ya sea del equipo de diseño o en calidad de consultor.



#### 5.7.4 Ventajas y desventajas

##### Ventajas:

- Por apaciguar las velocidades por la deflexión de entrada, son más seguras que el resto de las intersecciones a nivel, con reducciones del número de los accidentes entre 40 y 70%.
- Por el menor ángulo de convergencia, los infrecuentes choques son laterales y de poca gravedad por lo que se reducen en un 90 % los accidentes mortales.
- Resuelven todos los movimientos posibles en una intersección, incluso los cambios de sentido, y permite rectificar errores de destino.
- Permiten altos volúmenes de tránsito sin regulación semafórica. La capacidad de las rotondas modernas es mayor que las de otras intersecciones a nivel. Por ejemplo, en España y Australia se registraron valores de TMDA (suma de todos los tránsitos salientes) de 25000/27000 y 35000.
- Resuelven satisfactoriamente las intersecciones de más de 4 ramales.
- Su sencillez y uniformidad de funcionamiento facilitan su comprensión por parte del usuario.
- Permite resolver el peligroso giro a la izquierda como ninguna otra intersección.

##### Desventajas:

- No son recomendadas donde un sistema de semáforos coordinados pudiera dar un mejor nivel de servicios.
- No funcionan bien intercaladas con intersecciones con regulación semafórica, porque esto implica la llegada conjunta de pelotones de vehículos, lo que puede aumentar las demoras.
- Los conductores de camiones grandes, WB-20 y mayores, tardan en adaptarse a la forma adecuada de circular por rotondas de dos o más carriles [SS5.7.12].

### 5.7.5 Criterios generales sobre ubicación de rotondas modernas

#### **Medio en que se ubican**

Las rotondas modernas resultan especialmente adecuadas para resolver intersecciones en medios suburbanos o periurbanos, como una transición entre caminos rurales y calles locales, entre las altas y bajas velocidades. En entorno rural, su utilización debe estudiarse con mayor cuidado para reducir altas velocidades de acceso.

#### **Números y tipo de ramales**

Las rotondas modernas se adaptan bien a la resolución de intersecciones de tres, cuatro y cinco ramales. Es la única intersección que soluciona satisfactoriamente el problema de la confluencia de más de 4 ramales. Pueden adaptarse prácticamente a todo tipo de caminos, siendo especialmente útiles en los de dos carriles y dos sentidos.



#### **Condiciones del tránsito**

Las rotondas modernas están especialmente indicadas en intersecciones donde los giros, sobre todo a la izquierda, suponen un porcentaje importante de todos los movimientos. Se considera conveniente su utilización en las intersecciones donde exista un cierto equilibrio entre los tránsitos procedentes de los distintos ramales.

#### **Equilibrio de tránsito**

Las *RM* operan mejor cuando los flujos de tránsito están equilibrados. Esto no significa que todos los movimientos deban ser iguales, sino simplemente que los movimientos directos sean *rotos* por el tránsito del anillo, de modo que se provean claros para permitir a los vehículos que esperan en los ramales adyacentes entrar en la rotonda moderna sin mayores demoras.

#### **Condiciones topográficas**

Dado que para reducir la velocidad, los conductores deben notar claramente que la intersección a la que se acercan es una rotonda moderna, es muy importante que tengan buena visibilidad. La ubicación en zona llana o en el fondo de una suave concavidad es ideal para una rotonda moderna, mientras que la más desaconsejable es en medio de una curva vertical. Toda proposición de una *RM* requiere de un análisis de capacidad para compararla con otros tipos de intersección.

### 5.7.6 Seguridad

La mayor parte de las zonas con *RM* experimentan una reducción impresionante en su registro de accidentes; esto está documentado en una cantidad de estudios en varios países del mundo. Dado que un tercio de todos los accidentes y heridos ocurren en las intersecciones, el mejoramiento de la seguridad vial es la ventaja más distintiva de las *RM*. Los estudios de accidentes tipo *antes y después* indican muy significativas reducciones en los índices de víctimas de las *RM* adecuadamente diseñadas, lo cual puede atribuirse a los factores siguientes:

- La reducción general de velocidades de tránsito conflictivas (limitadas a menos de 50 km/h) a través de la intersección en todos sus ramales.
- Reducción de los 32 posibles puntos de conflicto entre vehículos (vehículos/peatones) en una intersección simple, a sólo 8 en una *RM*.
- Eliminación de altos ángulos de convergencia, asegurándose así bajas velocidades relativas entre los vehículos en conflicto. En caso de hipotético choque, éste será a baja velocidad, bajo ángulo de colisión y baja tasa de mortandad.
- Relativa simplicidad de toma de decisiones en el punto de entrada.
- En los caminos indivisos en zonas de alta velocidad, las largas isletas partidoras proveen buena advertencia anticipada sobre la presencia de la intersección.
- Se entra y sale girando a la derecha, reduciendo así la potencial frecuencia y gravedad de los choques que típicamente ocurren al girar a la izquierda; incluso con semáforos.
- En general, los choques por pasar-luz-roja son laterales a velocidades relativamente altas; son especialmente causantes de heridos, y pueden eliminarse con una *RM*.
- Las *RM* siempre requieren una acción consciente por parte de todos los conductores que pasan por la intersección, independientemente de si hay o no otros vehículos.



### 5.7.7 Estimación de la capacidad

#### **Concepto de capacidad**

La introducción de la prioridad de paso a la circulación del anillo implica abandonar el viejo concepto por el cual la plataforma circulatoria funciona como una serie de tramos de entrecruzamiento.

Las rotondas modernas se consideran como una serie de intersecciones en "T", en las que los vehículos entrantes se insertan directamente en el flujo circular cuando se produce un claro. En consecuencia, pierde influencia de *la longitud* de la plataforma circulatoria entre entradas y salidas sobre la capacidad de la intersección, y es posible reducir notablemente el diámetro de las rotondas modernas.

En cada una de las intersecciones en "T" en que se descompone la rotonda moderna existen dos magnitudes de tránsito interrelacionadas: el tránsito entrante y el que circula por el anillo.

La relación entre ambos es inversa, pues a medida que aumenta el tránsito circulante por el anillo, la capacidad de entrada de vehículos en cada intersección disminuye, lo cual lleva a sustituir el concepto global de capacidad de una rotonda, por el de capacidad de una entrada, dependiente de sus propias características geométricas y del volumen de vehículos en la plataforma circulatoria.

Toda proposición de una *RM* requiere un análisis de capacidad para compararla con otros tipos de control de intersección. Según la Ley de Tránsito y Seguridad Vial, el tránsito que entra tiene que dar paso al del anillo, y entrar cuando disponga de claros aceptables; la capacidad se mide en términos de la capacidad de entrada, en lugar de la capacidad de secciones de entrecruzamiento.



Al permitir las *RM* entradas simultáneas de vehículos desde múltiples accesos usando cortos avances, puede obtenerse una ventaja en la capacidad, la cual se vuelve más prominente cuando los volúmenes de los movimientos de giro a la izquierda o derecha son comparativamente altos. Dado que los conductores entran en la *RM* sólo cuando el claro en el tránsito del anillo es suficientemente grande, la capacidad de la *RM* dependerá primariamente del flujo en el anillo y la disponibilidad de claros. Consecuentemente, la capacidad de la entrada disminuye si el flujo en el anillo aumenta, dado que habrá menos claros para los que entran.

La dependencia de la capacidad de entrada del flujo en el anillo se conoce como *relación de flujos de entrada y de anillo*, y es consecuencia de la interacción de los conductores y de la geometría de la *RM*.

Para calcular la capacidad de una *RM*, los modelos se dividen en dos categorías:

- **Empíricos:** basados en datos de campo para desarrollar relaciones entre las características de diseño geométrico y medidas de desempeño, como la capacidad y demoras. Modelo utilizado en el Reino Unido. Los programas de computación *ARCADY* y *RODEL* se basan en este modelo.
- **Analíticos:** basados en el concepto de la teoría de la aceptación de claros que se aplica a la tarea de conducir en una rotonda. Modelo utilizado en Australia. El programa de computación *SIDRA* se basa en este modelo.

### **Análisis de la capacidad**

Donde no se requiera un alto grado de precisión, pueden usarse la Figura 5.51 y la Figura 5.52 para obtener estimaciones de la capacidad de una *RM*. Entrada de un carril 4 m de ancho y anillo de un-carril.

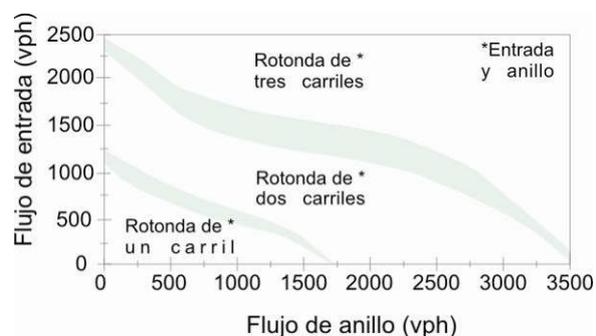


Figura 5.51 Número requerido de entradas

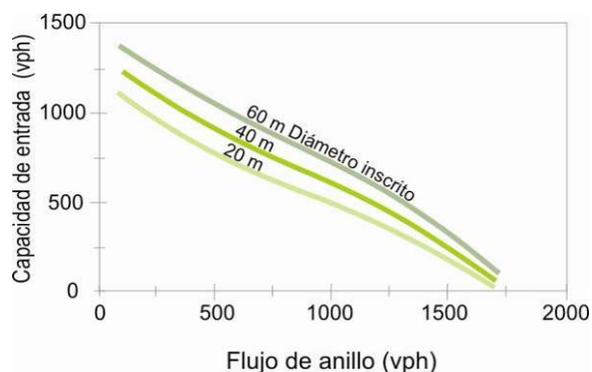


Figura 5.52 Capacidad de entrada de una *RM*

### **Demoras**

Hay dos componentes de las demoras experimentadas en las *RM*: *de fila* y *geométricas*. La de fila es la demora de los conductores que esperan hasta aceptar un claro en el tránsito circulante. La *geométrica* es:

- La demora de los conductores para desacelerar hasta la velocidad de maniobra, seguir a través de la *RM* y después acelerar hasta la velocidad normal de operación.
- La demora de los conductores para desacelerar hasta detenerse en el extremo de la fila y, después de aceptar un claro, acelerar hasta la velocidad de maniobra, siguiendo a través de la *RM* y luego finalmente acelerar más para alcanzar la velocidad normal de operación.
- Excluye el tiempo para esperar un claro aceptable.

En algunos casos puede ser apropiado considerar sólo la demora de fila; p. ej., cuando sólo se requieren resultados aproximados, o cuando en una intersección se compara con accesos controlados por Pare o Ceda el Paso. En estos casos, la demora geométrica para el tránsito que entra desde camino de acceso lateral (controlado) podría experimentar aproximadamente la misma demora geométrica que en una *RM*.

En la mayoría de los casos, puede ser deseable considerar la demora total; p. ej., cuando los resultados se requieran para una comparación con semáforos o en un análisis económico. La demora total es la suma de la demora de fila y la demora geométrica.

### Capacidades registradas

En Gran Bretaña no es raro tener *RM* que llevan más de 6000 vph, y en EUA y Australia 4700 vph, con dos a cinco segundos de demora media en la hora pico.

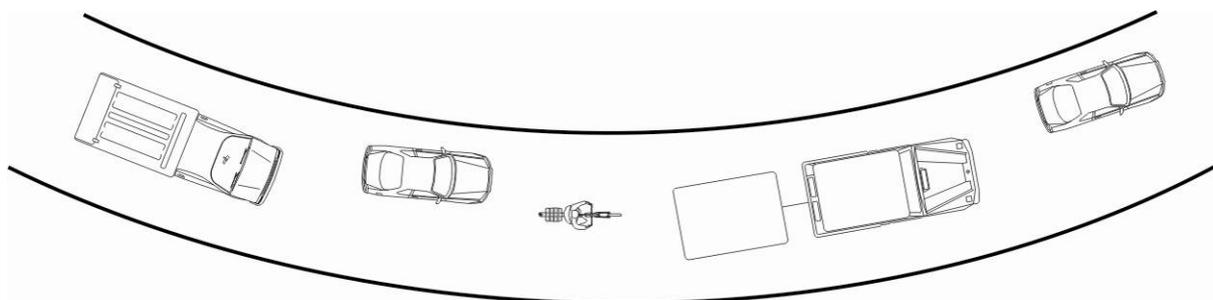


Figura 5.53 Ubicación de los vehículos en un ancho de carril único

Las capacidades típicas registradas en vehículo que entran por hora son:

Un-carril	2500 - 2800
Dos-carriles	3500 - 4000
Tres-carriles	5800 - +

### 5.7.8 Diseño geométrico

#### Principios Generales

El prólogo de *Rotondas: Una Guía Informativa* de la FHWA establece:

*"La operación y seguridad de la rotonda son especialmente sensibles a los elementos de diseño geométrico. La incertidumbre respecto de los procedimientos de evaluación puede resultar en un exceso de diseño y menos seguridad. Esencialmente, el problema es determinar un diseño que se acomode a la demanda de tránsito y que minimice alguna combinación de demora, choques, y costos de todos los usuarios, incluidos los vehículos automotores, peatones y ciclistas. Dado que no existe un diseño absolutamente óptimo, esta guía no pretende ser un libro de 'reglas inflexibles', sino más bien trata de explicar algunos de los principios del buen diseño e indicar potenciales ventajas y desventajas. Así, el 'espacio de diseño' comprende modelos de evaluación de comportamientos y principios de diseño tales como los provistos en esta guía, combinados con el experto conocimiento heurístico del proyectista. Todavía, la adhesión a estos principios no asegura un buen diseño, el cual sigue siendo responsabilidad del proyectista."*

El proceso de diseño de la rotonda es esencialmente iterativo; pequeños ajustes en los atributos geométricos pueden tener significativos efectos operacionales y de seguridad. El proyectista debe ser consciente de esta naturaleza iterativa, y comprender que cualquiera de sus pasos de diseño puede necesitar volver a un paso anterior para un ajuste

Por este proceso iterativo y porque la posición óptima de la rotonda no se puede determinar sin investigar la geometría de varias opciones, es aconsejable preparar esquemas a mano levantada. Este método permite la investigación gruesa de la factibilidad y compatibilidad de los componentes individuales antes de invertir un esfuerzo significativo en detallar los elementos de diseño. Además, a menudo esto beneficia el proceso de participación pública al presentar inicialmente bosquejos a mano en lugar de detallados dibujos de ingeniería, lo cual podría hacer pensar al lego que el diseño ya está terminado. No hay ningún recetario de fáciles pasos para diseñar la rotonda. Muchos de los conocimientos para diseñarlas son *contra-intuitivos* a la mente del ingeniero técnico. El diseño puede variar de fácil (rotondas de un solo carril) hasta muy complejo (rotondas multicarriles). Aunque pueda parecer lo contrario, las rotondas no son todas iguales y no pueden estandarizarse. Hay muchos tipos diferentes: de uno, dos y tres carriles, circulares, elípticas, con carriles especiales de giro derecha, minirotondas, etc. con cuyas combinaciones pueden resultar otros tipos de rotondas. Cada rotonda es única; cada “tipo” potencial de rotonda se aplica en diferentes situaciones, en las que los problemas específicos del lugar requieren soluciones especiales y distintivas.

Las principales diferencias en las técnicas de diseño y niveles de habilidad se sitúan entre rotondas de un solo carril y rotondas multicarriles, donde se aplican principios diferentes. El diseño de la rotonda es fundamentalmente holístico. El todo es más importante que las partes: cómo funciona el cruce como un único dispositivo de control de tránsito es más importante que los valores reales de los componentes de diseño específicos (p. ej., un radio). Sin embargo, cómo las partes interactúan unas con otras, es de importancia crucial. Asimismo, aunque los valores individuales geométricos no son tan importantes como la operación de cruce como un todo, los valores deben estar entre los límites que probaron ser adecuados.

Aceptado el principio estratégico de controlar la velocidad del tránsito que entra y circula por una *RM* mediante la deflexión de la trayectoria, y de aumentar la capacidad de entrada mediante su abocinamiento, el diseño geométrico debe proveer los recursos tácticos para obtener aquellos objetivos. Tales recursos no surgieron de la inspiración de un iluminado; resultaron de largos años de prueba y error, de observaciones, comparaciones, mediciones, estadísticas de accidentes, y perspicacia de los especialistas en ingeniería vial.



Por lo tanto, el diseño es un equilibrio entre eficiencia operacional, reducción de demoras, y los aspectos de seguridad vs. restricciones, particularmente en zonas urbanas. En otras palabras, es un arte ingenieril. Por las altas velocidades de tránsito en las áreas rurales y en algunos de los caminos arteriales urbanas, importa obtener los criterios para controlar con un diseño coherente la velocidad del tránsito que entra, circula y sale de una *RM*.

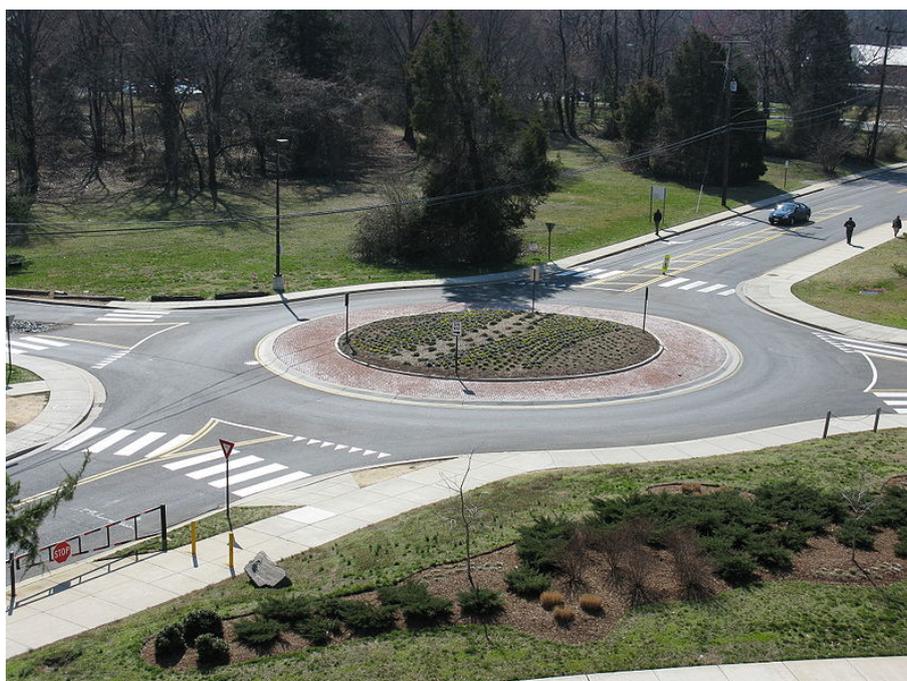
### ***Diámetros típicos de círculos inscritos y volúmenes de tránsito diario***

Tipo de rotonda	Diámetro <sup>1</sup> típico de círculo inscrito (m)	Volumen <sup>2</sup> típico de tránsito diario (vpd) Rotonda de cuatro ramales
Urbana Un-Carril	35 - 43	< 25000
Urbana Multicarril (entradas 2-carriles)	45 - 60	25000 a 55000
Urbana Multicarril (entradas 3 ó 4 carriles)	60 - 85	55000 a 80000
Rural Un-Carril	36 - 45	< 25000
Rural Multicarril (entradas 2-carriles)	55 - 67	25000 a 55000
Rural Multicarril (entradas 3-carriles)	60- 76	55000 a 70000

<sup>1</sup> Los diámetros provistos son para guía general (cara a cara de cordones exteriores)

<sup>2</sup> Las capacidades varían sustancialmente según los volúmenes de tránsito que entran y los movimientos de giro (flujo que circula)

Fuente: *Road Design Manual* – Minnesota DOT, 2009.



### Trayectorias de los vehículos y velocidad asociada

Para determinar la velocidad de operación en una rotonda moderna se utilizan las trayectorias más rápidas permitidas por su geometría, para los tránsitos directos y de giro. Se dibujan las trayectorias de los tres movimientos principales: el de atravesar la rotonda moderna continuando por el ramal opuesto, el giro a la derecha y el giro a la izquierda. La velocidad de diseño de la rotonda moderna está dada por el radio más pequeño de la trayectoria más rápida posible, utilizando la relación:

$$V = \sqrt{127 \times R(e + ft)}$$

Con esta misma ecuación se determinan las velocidades específicas intervinientes en los tres movimientos, puesto que al diseñar se debe tender a minimizar los siguientes aspectos:

- la diferencia de velocidad entre elementos geométricos consecutivos
- la diferencia de velocidad entre corrientes vehiculares conflictivas.

Entre ellos se plantean las siguientes relaciones:

- Es deseable que la velocidad asociada al radio de entrada R1 sea igual o menor que la de R2, o al menos que la diferencia sea menor que 20 km/h.
- La velocidad asociada a R3 en general será mayor que la de R2, salvo que la presencia de peatones sea importante en cuyo caso R3 no debe ser muy grande para desalentar las altas velocidades.
- La velocidad relativa entre R1 y R4 (corrientes vehiculares en conflicto) debe ser también menor que 20 km/h.
- La velocidad relativa entre R5 y R4 también debe mantenerse debajo de los 20 km/h

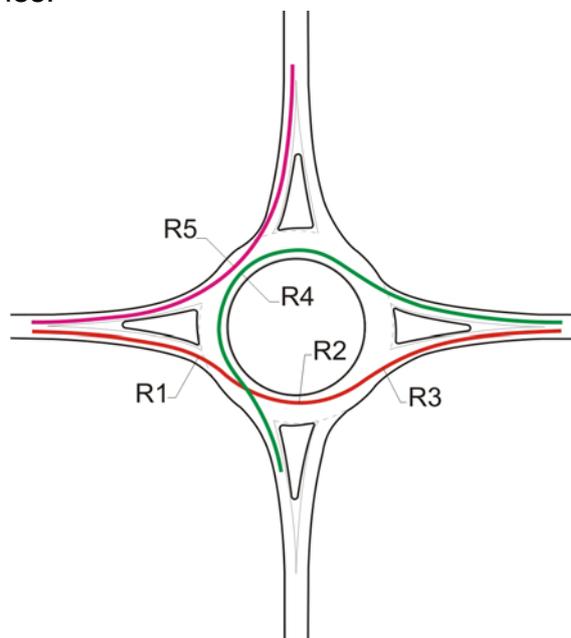


Figura 5.54 Radios de trayectorias

La coherencia entre velocidades ayuda a reducir la frecuencia y gravedad de los accidentes, y simplifica la incorporación de los vehículos a la corriente anular.

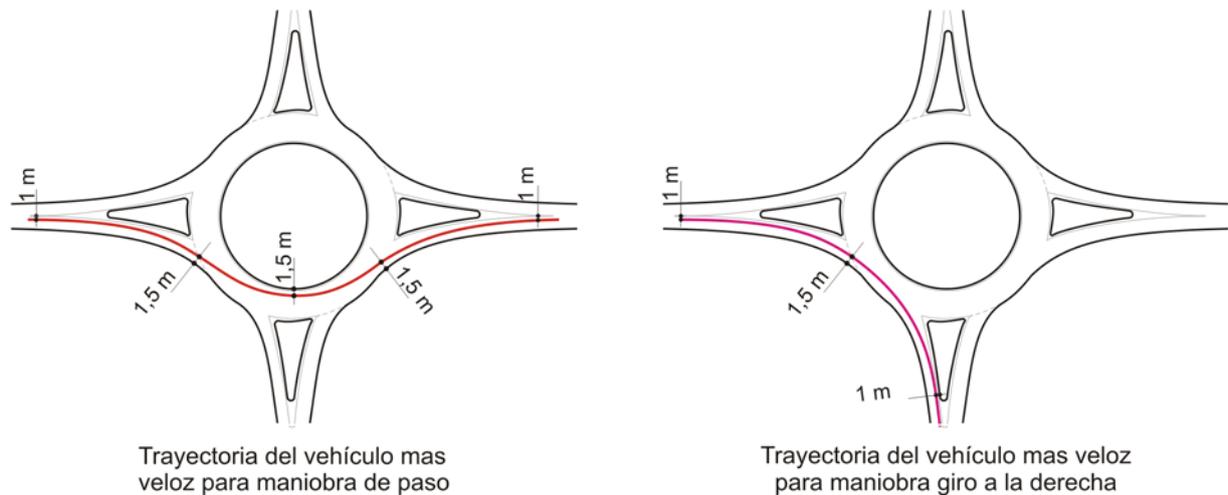
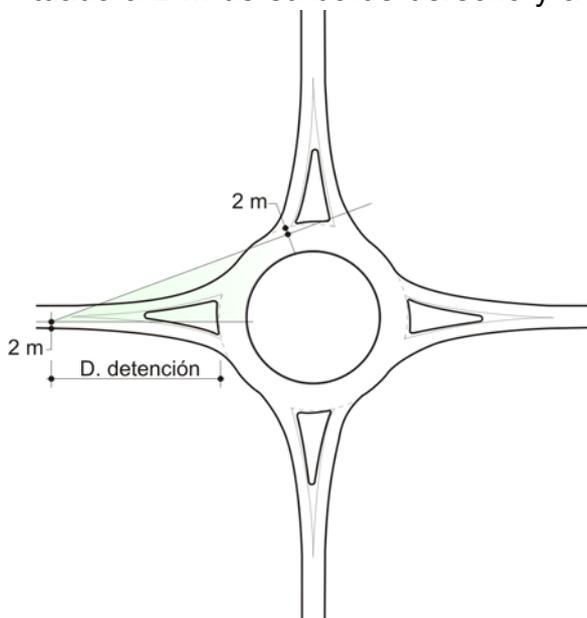


Figura 5.55 Definición de trayectoria de los vehículos

### Visibilidad

Una buena percepción de la rotonda moderna significa conseguir niveles mínimos de visibilidad de los conductores en la aproximación a la intersección; lo cual requiere un área despejada de obstáculos.

Se recomienda mantener despejada un área con vértice en un punto del ramal situado a 2 m de su borde derecho y a una distancia de la línea de CEDA EL PASO



igual a la de detención, y limitada por la izquierda por una tangente desde ese punto a la plataforma circulatoria, a 2 m de su borde exterior.

Esta visibilidad "lejana" debe ir acompañada de una buena visibilidad en la propia entrada, donde se sitúa el CEDA EL PASO. La recomendación es que desde la entrada a una rotonda moderna se garantice la visibilidad de los conductores hasta la entrada anterior, o una distancia mínima de 50 m hacia la izquierda si dicha entrada está a más distancia. Igual visibilidad se recomienda hacia la derecha.

Figura 5.56 Límite de la zona libre de obstáculos visuales hacia la izquierda en entradas

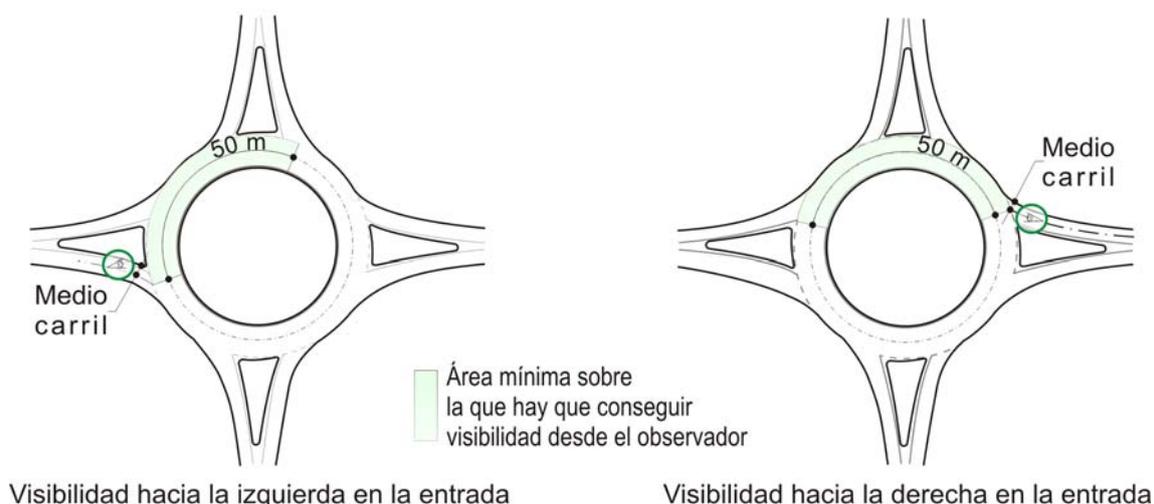


Figura 5.57 Visibilidad hacia derecha e izquierda en la entrada

### Isleta central

Sus cuestiones básicas son: forma, tamaño, delantal y acondicionamiento.

- **Forma.** Se recomiendan isletas de forma circular o, a lo sumo, formas ovaladas de baja excentricidad (de 0,75 a 1), considerando que los cambios de curvatura pueden producir inestabilidad en la trayectoria de los vehículos.
- **Tamaño.** Se recomiendan *RM* de tamaño medio, donde el radio mínimo y máximo de la isleta se fijan con el objetivo de conseguir una geometría segura de las entradas y evitar los excesos de velocidad por trayectorias tangenciales gracias a una clara deflexión. Se recomienda que para asegurar un adecuado cambio de dirección en las entradas y evitar entradas tangenciales, el diámetro externo no sea inferior a 35 m.
- **Delantal.** En determinados diseños donde la zona de camino, topografía u otras restricciones impiden la aptitud de expandir el diámetro inscrito, puede agregarse un delantal montable en el borde exterior de la isleta central. Esto provee superficie pavimentada adicional para permitir la sobrehuella de los semirremolques grandes sobre la isleta central típica con delantal traspasable, sin comprometer la deflexión de los vehículos chicos. Donde se usen delantales, debieran diseñarse de modo que sean traspasables por los camiones pero que desalienten el paso de los vehículos de pasajeros.
- **Acondicionamiento.** La parquización de la isleta central puede mejorar la seguridad al realzar la intersección e inducir a la reducción de las velocidades. Las plantas deben seleccionarse de modo que las distancias visuales indicadas en el apartado anterior se mantengan, considerando también el futuro mantenimiento. Deben evitarse los árboles grandes en zonas vulnerables a la salida de los vehículos fuera de la calzada.



Los peatones no deben pasar por la isleta central. Deben evitarse los elementos de mobiliario callejero que puedan atraer el tránsito peatonal, tales como bancos o monumentos; pero si se consideran monumentos o fuentes, debe diseñarse en forma tal que permitan verse adecuadamente desde las veredas perimetrales. Si se dispone de delantal para camiones, el material y tratamiento usados en él deben ser diferentes de los usados para las veredas, para que los peatones no sean alentados a caminar por la isleta central.

### **Ancho de la plataforma circulatoria (anillo, calzada anular)**

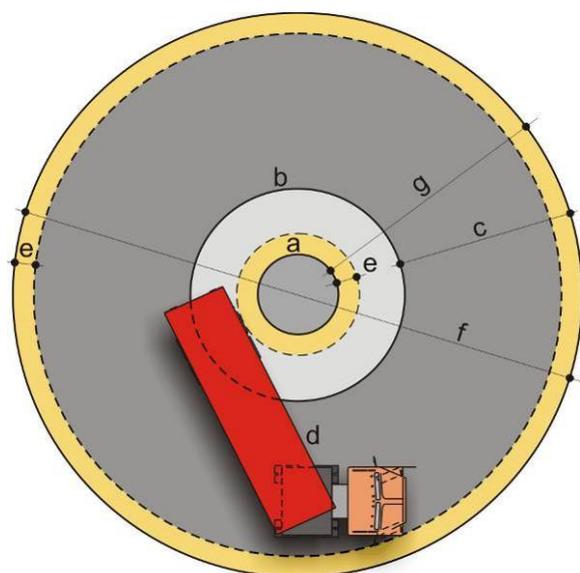
El ancho de circulación se basa en el tamaño de la rotonda y en el vehículo de diseño. Típicamente es 1 a 1,2 veces el ancho de la entrada más ancha. Está condicionado fundamentalmente por la capacidad, y por el sobrecarril necesario en la trayectoria de los camiones. Con una plataforma circulatoria de dos carriles y entradas de un solo carril la ganancia de capacidad es escasa. La experiencia muestra que no llegan a formarse dos vías de circulación en la plataforma circulatoria, produciéndose sólo algunas incorporaciones mientras un vehículo circula por ella, cuando el movimiento que pretende el vehículo entrante es un simple giro a la derecha.



Una regla práctica para determinar el ancho de la calzada anular es hacerla igual o un 20% superior al ancho de la entrada más amplia. Suponiendo un buen diseño de las entradas, esta regla garantiza la capacidad y seguridad de circulación en el anillo.

Tabla 5.21 Anchos requeridos para girar uno, dos o tres vehículos a la par  
(Adaptado de *Austroads 1993*)

Radios de giro R (m)	Un vehículo articulado (m)	Un vehículo articulado más un automóvil (m)	Un vehículo articulado más dos automóviles (m)
5	7,6		
8	7,1		
10	6,7		
12	6,5	10,3	
14	6,2	10,1	
16	6,0	9,9	
18	5,9	9,7	
20	5,7	9,6	13,5
22	5,6	9,5	13,4
24	5,5	9,4	13,3
26	5,4	9,3	13,2
28	5,4	9,2	13,0
30	5,3	9,1	12,9
50	5,0	8,8	12,6



Anchos de giro requeridos por las RM

Diámetro círculo inscrito	Vehículo de diseño	
	Vehículo articulado	Ómnibus
f (m)	g mín (m)	g mín (m)
29	-	7,2
30,5	-	7
33,5	12,3 - 13,7	6,7
36,6	11,1 - 12,2	6,4
39,6	10,2 - 11,1	6,2
42,7	9,6 - 10,1	6,1
45,7	9,1 - 9,8	5,9
48,8	8,7 - 9,3	5,8
51,8	8,4 - 9	5,8
54,9	8,1 - 8,7	5,6
57,9	7,8 - 8,4	5,5
61	7,6 - 8,1	5,5

**Referencias:**

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| a- Isleta central elevada   | d- Vehículo de diseño        |
| b- Cordón montable delantal de camiones                               | e- 1 m de separación mínima  |
| c- Ancho normal calzada anular, 1 a 1.2 veces ancho máximo de entrada | f- Diámetro círculo inscrito |
|   | g- Ancho entre cordones      |

Nota: La isleta partidora no debe sobresalir del círculo inscrito si la rotonda se diseña apretadamente como se ilustra, permitiendo sólo el ancho mínimo g.

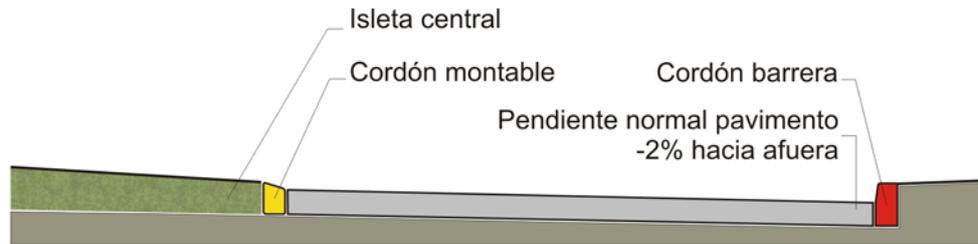
Figura 5.58 Anchos de giro requeridos por la plataforma circulatoria de las RM (Adaptado de Ourston, 1995)

**Peralte**

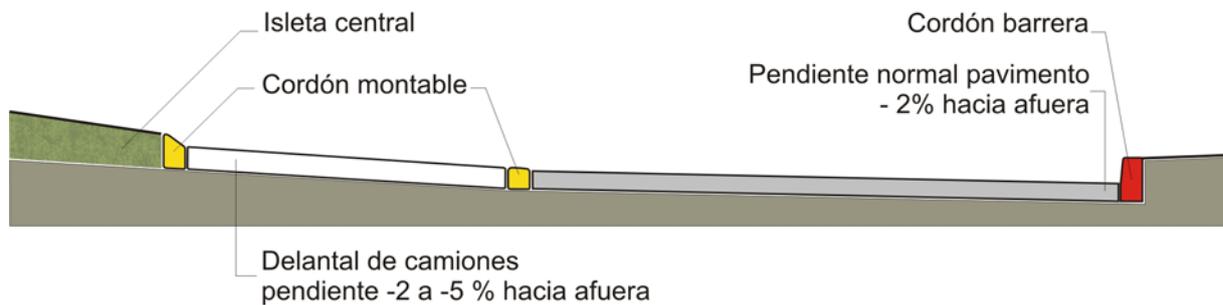
En general, en las rotondas modernas no es necesario peraltar la plataforma circulatoria por las bajas velocidades de operación. Para mejorar el drenaje se aconseja una pendiente transversal hacia afuera entre 2 y 2.5%, lo cual:

- Impide el encharcamiento de la rotonda moderna
- Facilita el mantenimiento del desagüe en el exterior de la plataforma circulatoria, de más fácil accesibilidad.
- Permite solucionar mejor los encuentros entre la plataforma circulatoria y los ramales de entrada o salida, evitando la formación de aristas.
- Colabora con el ambiente de baja velocidad correspondiente a una RM.

Alternativamente, en las rotondas de carriles múltiples el proyectista puede optar por el bombeo normal a dos-aguas; p. ej., 2 por ciento hacia cada lado para controlar el agua de lluvia o derretimiento de la nieve, y para igualar la velocidad de circulación. La velocidad de funcionamiento, el comportamiento de drenaje, pendientes del pavimento y otros factores deben tenerse en cuenta en esta determinación. La pendiente transversal del delantal para camiones puede variar de 2 a 5 por ciento.



Sección típica de calzada circulatoria



Sección típica con delantal de camiones

Figura 5.59 Perfil transversal típico de RM.

**Perfil Longitudinal**

Para la plataforma circulatoria se recomienda un perfil longitudinal de pendiente no mayor que 3%. Es preferible situar toda la calzada en un mismo plano; un perfil con cambios frecuentes de pendiente resultaría en una rasante del borde interno del anillo formada por una sucesión de curvas verticales cóncavas y convexas. Para evitar la formación de charcos en el borde exterior, preferiblemente debe disponerse una ligera pendiente longitudinal de la plataforma circulatoria (0,5-0,7%).

**Disposición de los ramales de entrada y salida**

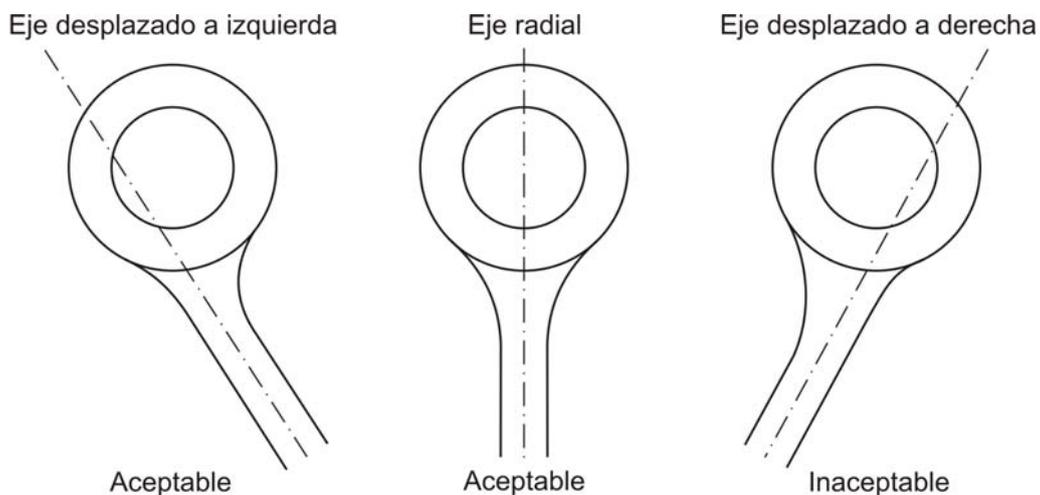


Figura 5.60 Disposición de los ramales

Las rotondas moderna pueden resolver intersecciones con 3, 4 o más ramales. La mejor disposición de los brazos de una rotonda moderna es una localización equidistante, ya que una secuencia repetida y rítmica de entradas y salidas, favorece la comprensión de la rotonda moderna y facilita una conducción sin inconvenientes. Además, se recomienda que los ejes de los ramales de aproximación pasen por el centro de la isleta central, o levemente desviados hacia la izquierda para aumentar la desviación de entrada.

La técnica para desviar el alineamiento de aproximación hacia la izquierda del centro de la rotonda es efectiva para aumentar la desviación de entrada. Sin embargo, también reduce el ángulo de entrada  $\phi$  (Phi); el cual, si disminuye demasiado puede reducir la capacidad, crear condiciones inseguras de entrada, problemas de visibilidad, y desequilibrado uso del carril, etcétera. También reduce la desviación de salida del mismo ramal, lo cual aumentará la velocidad de la trayectoria rápida en la entrada. Por lo tanto, el desplazamiento de la aproximación hacia la izquierda del centro de la rotonda debería mantenerse en un mínimo para maximizar su eficacia en el diseño. Las trayectorias de mayor velocidad son un elemento crítico del diseño.

#### **Rasante de los ramales de entrada**

En una distancia mínima de 15 m desde la línea de Ceda el Paso, las pendientes de las calzadas de entrada no superarán el 4%.

#### **Entrada**

Para conseguir condiciones de seguridad y capacidad, la geometría de las entradas es la característica más importante de una rotonda moderna:

- La mayoría de los accidentes se producen por pérdidas de control en las entradas; en general como consecuencia de un exceso de velocidad.
- En las fórmulas de capacidad el ancho y otras características de éstas inciden notablemente.

Las funciones principales de la geometría de una entrada son:

- conseguir una reducción adecuada de la velocidad de aproximación mediante curvaturas crecientes en el ramal de entrada;
- permitirles a los conductores una correcta percepción de la intersección y orientarlos hacia la plataforma circulatoria en un ángulo  $\phi$  que garantice la mayor seguridad de la maniobra de entrada.
- **Isletas partidoras.** Canalizan la entrada, advierten al conductor de la proximidad de una intersección, aseguran una mínima distancia de separación entre la salida y la entrada de un mismo ramal, sirven de soporte a la señalización vertical, y facilitan refugio para el cruce de peatones. Actuando sobre ellas pueden obtenerse los valores recomendados entre  $20^\circ$  y  $60^\circ$  para el ángulo de entrada  $\phi$ .

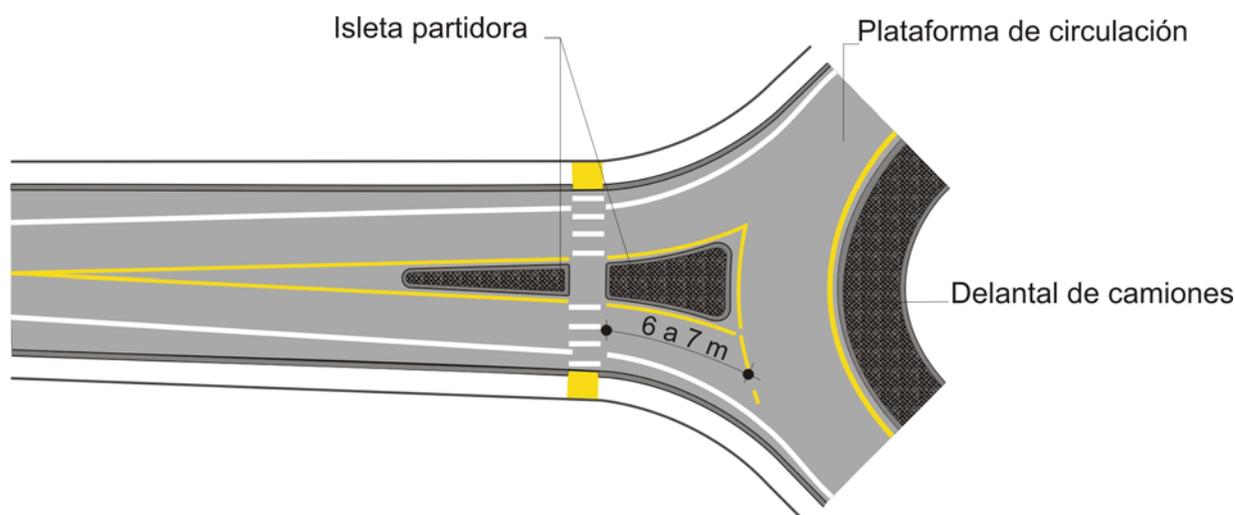


Figura 5.61 Cruce peatonal en isleta partidora

- **Geometría de la entrada.** Para advertir al conductor de la presencia de la intersección, conviene que la isleta partidora se inicie con suficiente anticipación y marque un cambio en la alineación del ramal.

Se recomiendan longitudes entre 20 y 60 m (mínimo 10 m) que generen un ángulo de  $10^\circ$  respecto al eje del ramal. La guía norteamericana de la FHWA remarca la importancia de una isleta partidora larga de más de 60 m en las rotondas modernas rurales, donde la velocidad de aproximación es mayor, para ayudar a reducirla, y preferentemente con cordones delineadores.

Para el ancho medido sobre el borde externo del anillo establecen valores de 12, 15 y 20 metros para velocidades de aproximación de 60, 80 y 100 km/h respectivamente, ligado a la conveniencia de separar la entrada y la salida de un mismo brazo. Donde esta isleta sea atravesada por pasos de peatones, se requiere un ancho mínimo de 2 m para dar refugio a un cochecito de bebé y una distancia de 5 a 6 m respecto de la línea de Ceda el Paso para permitir la detención de un vehículo.

La curva circular a la derecha de la entrada tiene como objetivo conseguir el ángulo de desviación requerido para reducir la velocidad.

En general las recomendaciones internacionales mencionan valores de diámetro inscrito central entre 35 ó 40 m para rotondas modernas rurales de un carril. Por el escaso radio de giro, es conveniente que el ancho de los carriles de entrada sea algo más amplio que lo habitual, entre 4 y 4,5 m.

Para aumentar la capacidad pueden abocinarse las entradas, ampliar su ancho y permitir así la formación de una fila más de vehículos detenidos en la línea de Ceda el Paso, esperando un claro en el anillo.

El abocinamiento permite aumentos importantes de la capacidad, en torno al 40% y no necesita ser muy largo. Habitualmente, la longitud de 3 vehículos ó 15 metros es suficiente en zona urbana y unos 25 m en rural.

- Geometría de la salida.** La geometría de las salidas debe tener como objetivo principal facilitar a los vehículos el abandono de la calzada circular y aumentar la velocidad hasta la recomendada en el camino en el que se integran. No es necesario diseñar flexiones artificiales en las salidas, como conviene hacer en las entradas, ni reducir sus radios, sino utilizar radios amplios que faciliten la fluidez del tránsito. Únicamente en los casos de cruces peatonales importante se recomienda reducir los radios de giro en las salidas. Se aconsejan radios de más de 40 metros y, en todo caso, nunca inferiores a los 20 m. También, para facilitar el abandono de la calzada circular los carriles de las salidas suelen diseñarse más anchos que los de las entradas, reduciéndose paulatinamente al ancho del carril tipo del camino. Son habituales anchos de 5 metros para un carril de salida, y 8 a 9 m para dos carriles.

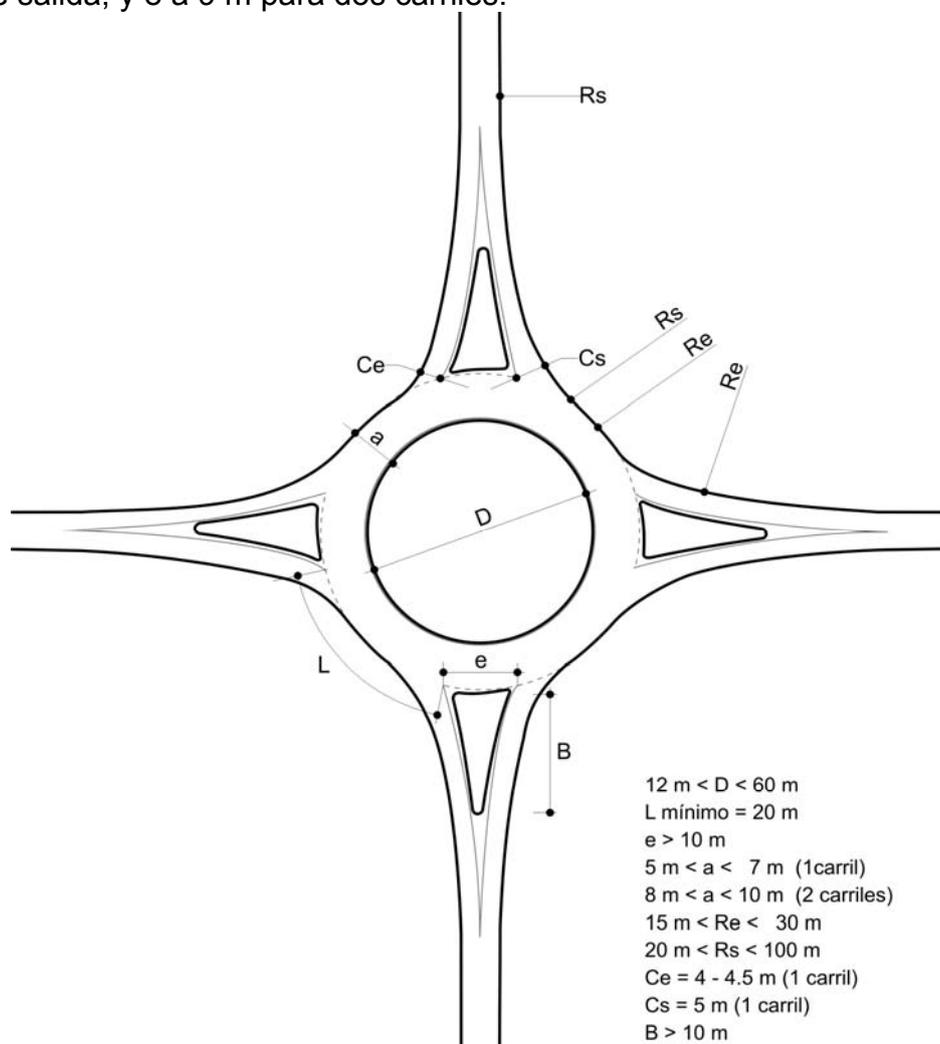


Figura 5.62 Resumen de la geometría recomendada para RM (1 carril)  
 (Adaptada de "Geometría de entradas y salidas. Dimensiones recomendadas" DNV – 97)

### **Carril auxiliar de giro a derecha**

Una de las formas de mejorar el rendimiento de las rotondas es la construcción de un carril auxiliar de giro a la derecha. Su función es facilitar este movimiento, evitando el paso de estos vehículos por la plataforma circulatoria. Este carril se incorpora cediendo la prioridad (cartel de CEDA EL PASO). Su construcción se justifica cuando el porcentaje de giros es importante. Se recomiendan cuando la intensidad del giro sea al menos de 300 v/h en la hora punta, o si supone más del 50% del total de tránsito entrante por ese ramal. Si bien este carril especial podría separarse solamente con demarcación, se recomienda construirlos independientemente de la calzada circular, separados por una isleta de ancho mínimo 2 metros. Su ancho se fijará en función de su radio interno y del vehículo tipo Figura 5.63.

Los problemas principales que plantean estos carriles auxiliares son:

- Su incorporación se produce en el ramal de salida en un punto donde los vehículos salientes están aumentando la velocidad. Puede ser recomendable agregar un carril de aceleración.
- Suelen complicar la ubicación de los pasos peatonales.
- Necesitan de una señalización compleja, no siempre de fácil comprensión.

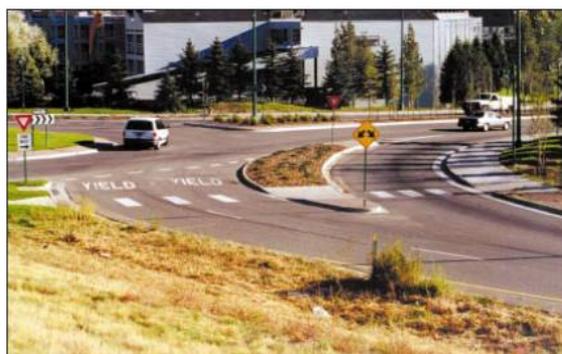
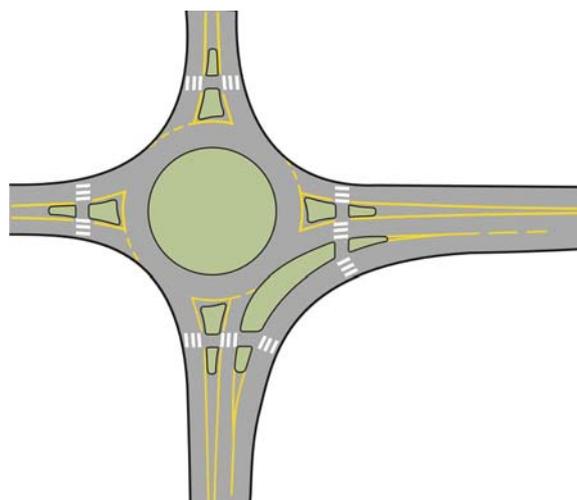


Figura 5.63 Carril auxiliar de giro a la derecha

### **Curvas de aproximación**

En las rotondas en caminos rurales las velocidades de aproximación son más altas que en calles urbanas o locales, y muchas veces los conductores no esperan encontrar reducciones importantes de velocidad. Es necesario, entonces, que ellos perciban la presencia de la rotonda con buena anticipación como para desacelerar cómodamente. Además de se señalización extra, donde las velocidades de aproximación sean altas, se recomienda un diseño que aliente a los conductores a lentificar su desplazamiento antes de llegar al Ceda el Paso. Se evitará así que toda la reducción de velocidad se logre por medio de la curvatura en la rotonda misma. Una forma para lograr una gradual reducción de velocidad que reduzca los choques traseros en las entradas y minimice las salidas de vehículo en el anillo es usar curvas sucesivas con curvatura creciente en las aproximaciones. Se recomienda limitar a 20 km/h el cambio en la velocidad de operación en sucesivos elementos geométricos.

La Figura 5.64 muestra un típico diseño de rotonda rural con una sucesión de tres curvas anteriores a la línea Ceda el Paso. Estas curvas de aproximación deben ser de radios progresivamente más pequeños. Además, debe buscarse que el apartamiento lateral en la curva central sea del orden de 7 metros, para evitar que los conductores “corten” tangencialmente.

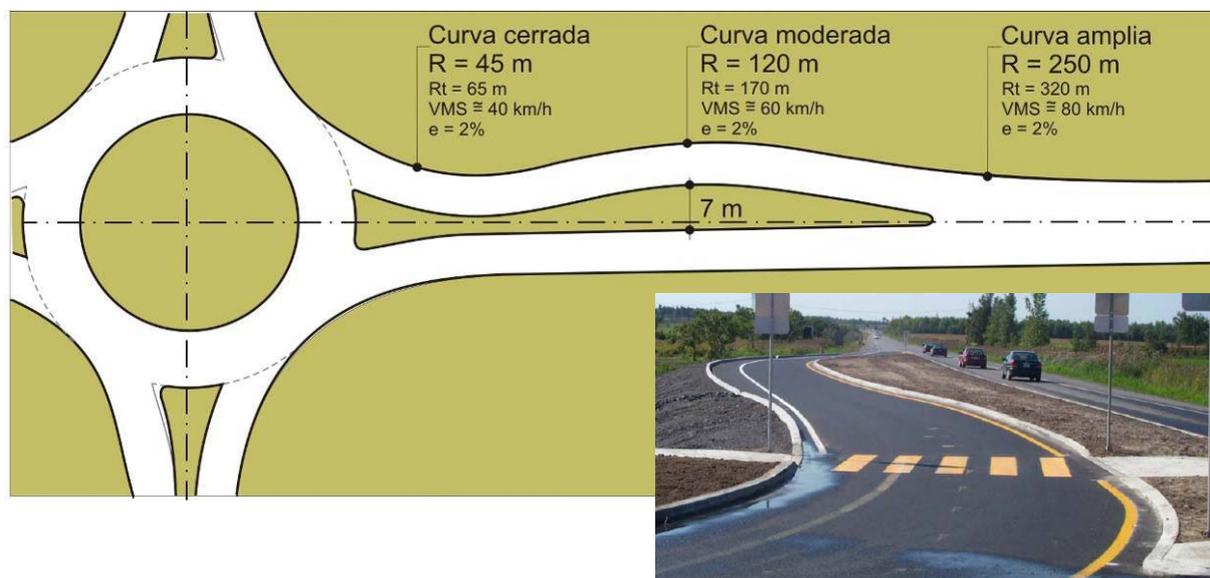


Figura 5.64 Curvas de aproximación

### Valores ilustrativos de diseño para parámetros geométricos clave

Parámetro geométrico	Entrada un carril	Entrada dos carriles	Entrada tres carriles
1 Ancho carril aproximación	Ancho de carril de tránsito directo de la aproximación a la rotonda antes de cualquier sección de abocinamiento.		
2 Ancho de entrada	Menor distancia entre cordones en el punto de Ceda el Paso		
3 Longitud efectiva de abocinamiento	5 a 100 m si es necesario		
4 Diámetro círculo inscrito	40 m	50 m	75 m
5 Radio de entrada	20 m	25 m	30 m
6 Ángulo de entrada	30 grados		
7 Ancho de plataforma circulatoria	6-7 m; puede ser necesario delantal para camiones	10 m (delantal para camiones no necesario)	14 m (delantal de camiones no necesario)
8 Radio de salida	15-20 m	20-30	30-40

A modo de ejemplo ilustrativo, con valores numéricos tentativos en [ATLAS] se muestra un diseño geométrico preliminar de *RM* de un carril.

### 5.7.9 Complementos

#### **Peatones**

En el planeamiento y diseño de las rotondas moderna debería darse especial consideración a los movimientos de los peatones. Las rotondas resultan para los peatones por lo menos tan seguras como las otras formas de control de intersección. Es frecuente una reducción de los accidentes con víctimas de peatones después de instalar una *RM*, por que los peatones son capaces de cruzar un sentido de tránsito por vez haciendo escala en las isletas partidoras.

Además, las velocidades restringidas de los vehículos contribuyen a la seguridad. Sin embargo, los peatones deben cruzar con cuidado porque, distinto a los cruces con semáforos, las *RM* no dan una positiva seguridad a los peatones sobre los movimientos de los vehículos.



Los ancianos y niños prefieren los semáforos para cruzar con mayor seguridad. Las demoras de los peatones en las *RM* son similares a las de otras formas no semaforizadas de control de intersección, y generalmente menos que en las semaforizadas.

La aptitud de los vehículos para entrar en una *RM* puede verse afectada seriamente por un cruce peatonal, que disminuye el número de vehículos que pueden entrar y salir de las *RM*. La provisión de facilidades

para los peatones no influye grandemente en el diseño geométrico requerido por otros tratamientos de la intersección. Sin embargo, ciertos diseños de *RM*, particularmente las grandes, pueden resultar en caminatas más largas, e incomodar a los peatones. Es importante no dar a los peatones una falsa sensación de seguridad pintando líneas través de las entradas y salidas, sino más bien alentarlos a identificar y aceptar claros en el tránsito y cruzar cuando sea seguro hacerlo.

Para realzar la seguridad peatonal en las *RM* se recomienda:

- reducir las velocidades de aproximación de los vehículos mediante la provisión de una adecuada deflexión en cada acceso;
- diseñar isletas partidoras como lo permite el lugar;
- proveer iluminación;
- ubicar las señales y la vegetación de modo de no obstaculizar la visión de los niños peatones.

Generalmente, la instalación de isletas partidoras bien diseñadas permitirá a los peatones cruzar con seguridad un sentido de tránsito por vez.

## Ciclistas

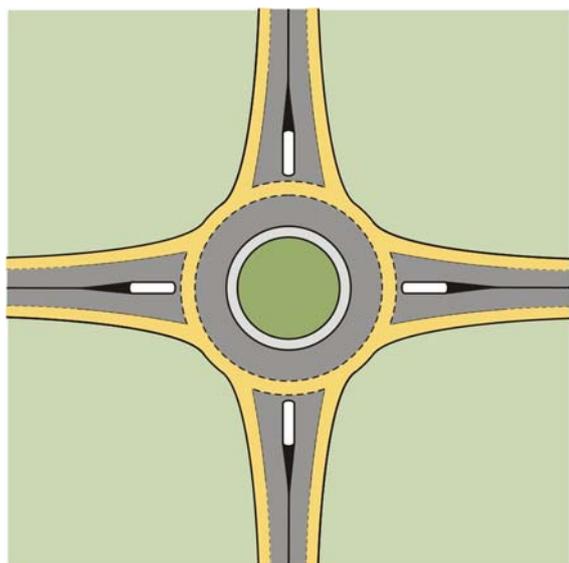


Las rampas para ciclistas entre el camino y la senda de uso compartido se diseñan para que la trayectoria de entrada y salida sea bajo un ángulo de desviación de unos 35 a 45°; nunca en forma perpendicular, lo cual obligaría a los ciclistas a detenerse o casi, al entrar o salir de una vía. Todas las rotondas urbanas y suburbanas con senda de uso compartido deben incluir rampas ciclistas entre la senda compartida y el camino.

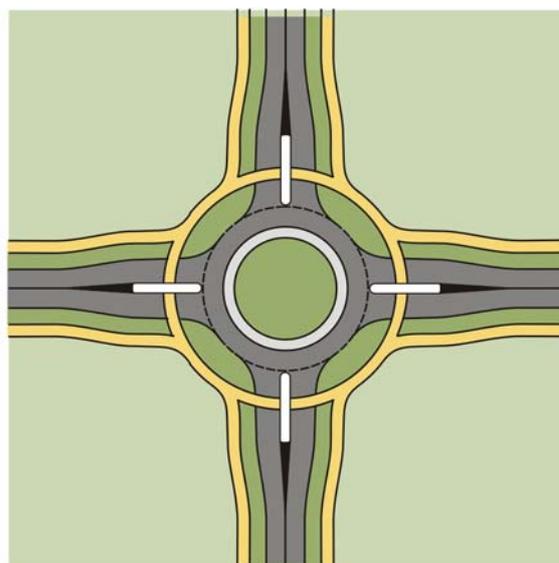
El ancho medio de las rampas de entrada y salida es del orden de 1.5 m. para proveer

un aceptable nivel de seguridad a los ciclistas. Sin embargo, la extensión a la cual sean necesarios tratamientos geométricos especiales dependerá de la proporción de ciclistas en la corriente de tránsito total, clasificación funcional de las carreteras de la red, y estrategias de manejo del tránsito. Las *RM* incrementan el riesgo de accidentes de los ciclistas, lo cual debe tomarse en cuenta al considerar la adopción de un tratamiento de *RM* en una intersección. Para proveer un satisfactorio nivel de seguridad a los ciclistas se debería:

- evitar puntos de estrechamiento en acceso, entrada y salida;
- asegurar adecuada deflexión y control de velocidad;
- evitar rotondas más grandes de lo necesario para reducir la velocidad de operación;
- evitar anchos excesivos que alienten aumentar la velocidad;
- asegurar que las líneas de visión no están obstruidas por tratamiento paisajístico, señales o postes;
- proveer adecuada iluminación.



*Rotonda con carril ciclista*



*Rotonda con senda ciclista separada*



*Rampa de salida desde carril ciclista*



*Rampa de entrada a carril ciclista*

### **Obras complementarias**

Para funcionar segura y efectivamente, las *RM* deben ser conspicuas, notables.

Debe emplearse delineación y señalización de altos estándares.

La disposición de señales y otros dispositivos debe ser coherente con las expectativas de los conductores.

La consideración de la necesidad y de la ubicación adecuada de señales y marcas de pavimento debería ser parte integral del proceso de diseño.

### **Señales**

Las señales deben responder a las normas nacionales.

La señales clave son la reglamentaria de CEDA EL PASO y la de prevención CEDA EL PASO A XX METROS



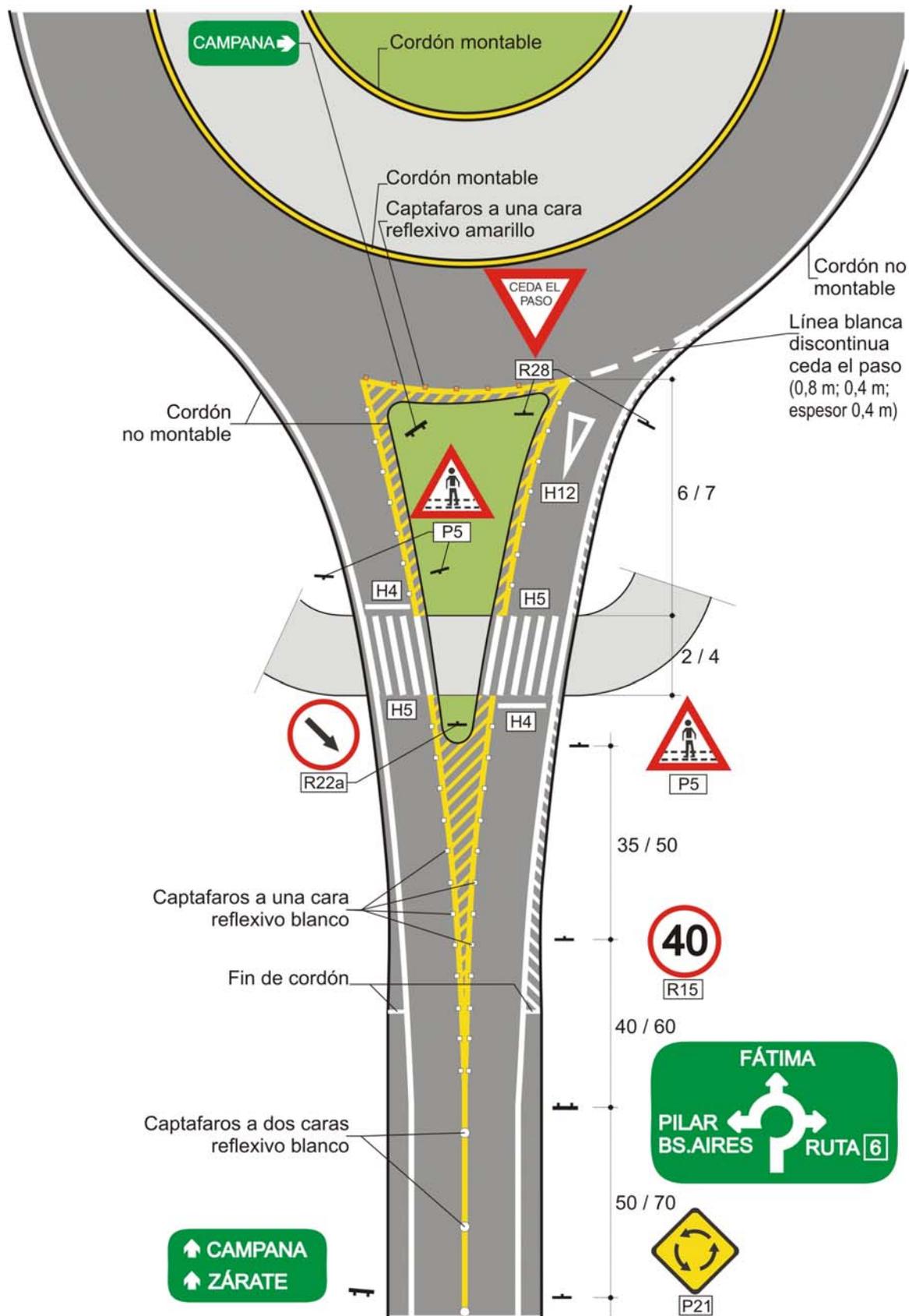


Figura 5.65 Señalización en Rotonda Moderna



Figura 5.66 Señalización

### **Demarcación horizontal en el pavimento**

Es esencial la buena visibilidad de la línea discontinua de Ceda el Paso, límite entre la condición de vehículo subordinado y vehículo prioritario.

### **Iluminación**

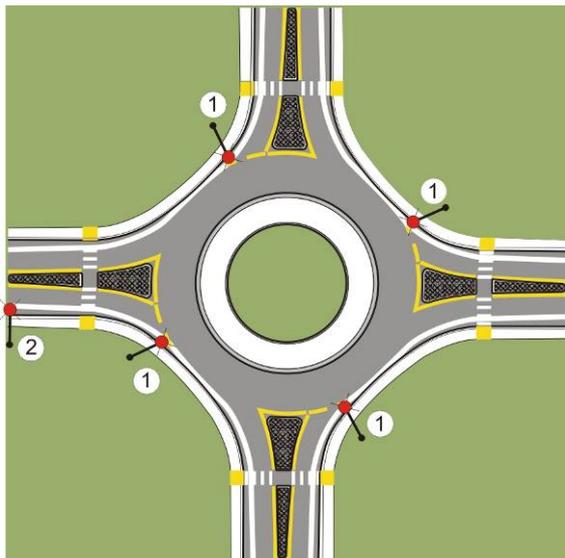


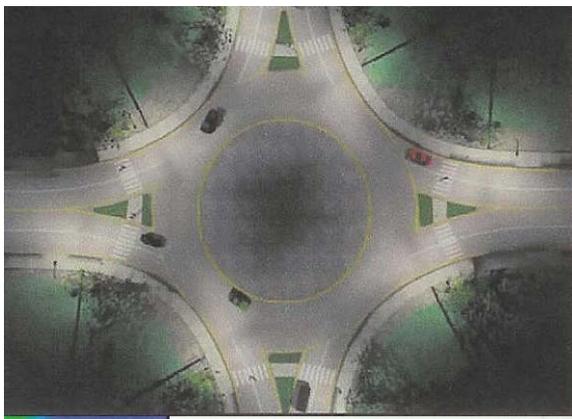
Figura 5.67 Iluminación con postes laterales

- ① Iluminación en zona de "ceda el paso"
- ② Iluminación al comienzo de isleta partidora sobreelevada

Normalmente las RM deberían iluminarse como un requerimiento de seguridad esencial según las mejores normas y especificaciones. Los postes deben ubicarse para iluminar especialmente las zonas de conflicto.



*Iluminación de rotonda moderna con mástil central*



*Iluminación de rotonda moderna con postes laterales*

### **Paisajismo**

El paisajismo de la isleta central, isletas separadoras y aproximaciones puede beneficiar la seguridad, y mejorar la calidad visual de la intersección. Los beneficios del paisajismo de la rotonda y sus aproximaciones son:

- Hacen la isleta central más visible.
- Mejoran la estética de la zona al tiempo que complementan paisajes urbanos que rodean tanto como sea posible.
- Visualmente refuerzan la geometría.
- No oscurecen la forma de la rotonda, las señales, o los pasos peatonales.
- Mantienen la distancia visual adecuada en zonas de bloqueo.
- Indican claramente a los conductores que no pueden pasar directamente a través de la intersección.



- Desalientan el tránsito de peatones a través de la isleta central.
- Ayudan a los peatones ciegos y deficientes visuales a localizar las aceras y pasos peatonales.
- *Paisajismo de la isleta central.* El paisajismo de la isleta central aumenta la seguridad de la intersección, haciéndola más visible y reduciendo las velocidades.



Seleccionar plantaciones que garanticen la distancia visual adecuada durante la vida del proyecto, considerando el mantenimiento futuro, y los requisitos de diseño actual. Evitar los diseños de jardinería en la isleta central que puedan animar a los peatones a cruzar la isleta central. Tener en cuenta la tolerancia a la sal de cualquier material vegetal, así como el almacenamiento de la nieve y las prácticas de eliminación.



Evitar derrames superficiales innecesarios, crear condiciones de pavimento mojado y peligroso que, al evitar los tratamientos de jardinería, requieran el suministro de sistemas de riego. La inclinación deseada de la isleta central debe ser  $\leq 25\%$ . Como mínimo, mantener los 2 m exteriores libres de plantaciones.



El material y color de la eventual platea de camiones debe armonizar con el paisajismo de la rotonda, y diferenciarse de las aceras, para disuadir a los peatones de cruzar la plataforma.

Evitar el mobiliario urbano que puede atraer a los peatones a la isleta central, tales como bancos, estatuas decorativas, señales de bienvenida, o monumentos con texto pequeño. Si se consideran fuentes o monumentos en la isleta central, diseñarlos tal que permitan una vista adecuada desde el perímetro exterior de la rotonda. Además, deben ubicarse y diseñarse para reducir al mínimo la posibilidad y la gravedad del impacto de un vehículo errante.

- *Paisajismo de isletas partidoras y aproximaciones.* En general, a menos que sean muy grandes, las isletas partidoras no debe tener árboles, canteros, o postes de luz. El ajardinamiento no debe impedir la distancia visual en los triángulos de visibilidad.
- *Paisajismo perimetral.* El paisajismo en los accesos a la rotonda puede mejorar la seguridad al destacar la vista de la intersección. Evitar el ajardinamiento de más 60 cm de altura, en unos 25 m antes del punto de Ceda el Paso. Las plantaciones en las isletas partidoras y en los lados derecho e izquierdo de las aproximaciones (hasta unos 15 m de la línea Ceda el paso) pueden ayudar a crear un efecto de canalización e inducir una disminución de las velocidades en las aproximaciones a la rotonda. El ajardinamiento de bajo porte en los radios de curva puede ayudar a canalizar los peatones a las zonas de cruce peatonal, y desalentar los pasos por la isleta central.
- El paisajismo puede ser eficaz para *restringir al mínimo* la distancia visual.

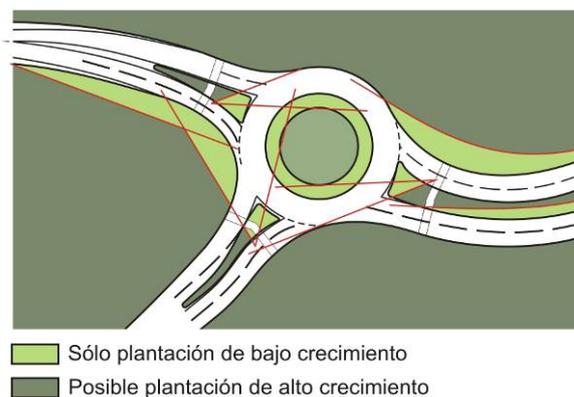


Figura 5.68 Diagrama de distancia visual

La parte sombreada en la Figura 5.68 son áreas que deben estar libres de obstáculos de gran tamaño que obstaculicen la visibilidad del conductor. Objetos tales como vegetación de bajo crecimiento, postes de señales o iluminación, y árboles de bajo crecimiento pueden ser aceptables en estas áreas, siempre que no obstruyan de manera significativa la visibilidad de: otros vehículos, isletas separadoras, isleta central, u otros componentes clave de la rotonda. Las zonas restantes, espe-

cialmente isleta central, pueden ajardinarse para romper obstruir las luces de los vehículos de sentido contrario.

### 5.7.10 Conversión de círculos de tránsito viejos en rotondas modernas

#### **Introducción**

Las ventajas de seguridad y operacionales de las *RM* están ampliamente demostradas en todo el mundo; una cuestión es qué hacer con los antiguos y deficientes círculos de tránsito.

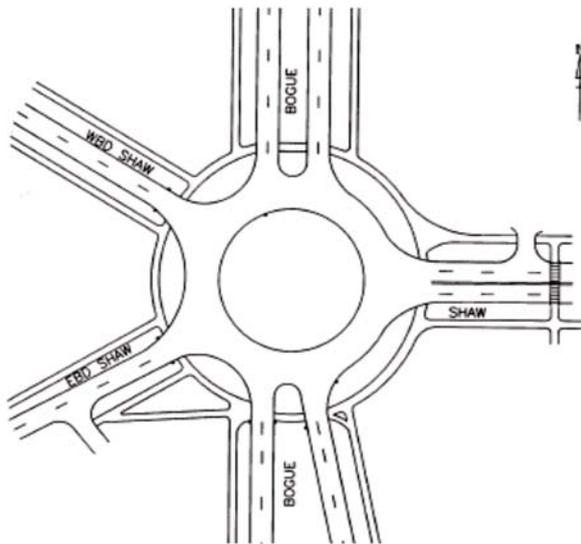
Una opción es la *reconstrucción total* de tales *CT*, pero puede que no siempre sea de efectividad-de-costo. Para los *CT* de diámetros inscrito hasta unos 60 m, otra opción es la *conversión* hasta alcanzar las características de una *RM* mediante la introducción de cambios menores: marcación del pavimento, señalización y construcciones menores. Tal puede ser la solución de mayor efectividad de costo a los problemas de seguridad de los *CT*.

**Ejemplo - Antes**

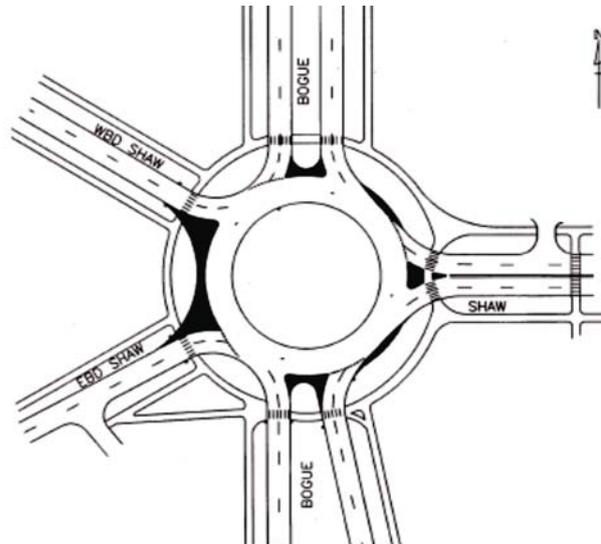
Un ejemplo convincente es la conversión del peligroso CT en la intersección de *Bogue Street – Shaw Lane* en el *campus* de la Universidad Estatal de Michigan, EUA, construido a principios de los años 1960.



Vistas de *Bogue-Shaw* hacia el este, 1999



Planta CT existente 1960-1999



Croquis de conversión en RM, 1999

**Obras previstas en 1999**

- Modificación de medianas o adición de isletas partidoras para evitar giros a izquierda en las entradas y aumentar deflexión a la derecha
- Cruces peatonales pintados tipo cebra.
- Línea Ceda el paso de 30 cm de pintura.
- Adición o reubicación de señales CEDA EL PASO.
- Adición de señales Chebrón.
- Reducción de 10 a 8,5 m el ancho de la plataforma circulatoria mediante 1,5 m de avance de la mediana. Isleta central sin modificación

**Ejemplo – Después**

*RM en Bogue Street y Shaw Lane, Michigan EUA (Google Earth: 2010)*

### 5.7.11 Programas de diseño asistido por computadora

Los programas de diseño asistido por computadora son herramientas que le permiten al proyectista analizar más opciones de diseño en el mismo tiempo.

Existen programas interactivos específicos para diseñar rotondas, y programas de diseño vial interactivos que incorporan herramientas para diseñar rotondas. En líneas generales posibilitan:

- Controlar el tamaño de la rotonda mediante el diámetro del círculo inscrito o de la isleta central.
- Especificar parámetros de diseño para los accesos: separación, anchuras, carriles de desvío, carriles de entrada/salida, dimensiones de pasos peatonales, isletas partidoras y ángulos de abocinamiento.
- Calcular y dibujar el delantal para camiones.
- Rotar y posicionar los accesos alrededor de la isleta central.
- Arrastrar y posicionar rotondas en forma dinámica.
- Evaluar la trayectoria más rápida de un vehículo para análisis del diseño.
- Realizar análisis de visibilidad.

A modo de ejemplo:

#### **TORUS de Transoft**

<http://es.transoftsolutions.com/Resources/ProdDocs/Spanish/TORUSA4.pdf>

Genera rotondas de uno y dos carriles sobre la base de los movimientos de vehículos de diseño utilizando el algoritmo de barrido de huella del vehículo del AutoTurn (Transoft).



#### **ARCADY AutoTrack Link de TRL and Savoy Computing Services**

[http://www.trlsoftware.co.uk/files/newsletters/TSN50\\_January\\_2010.pdf](http://www.trlsoftware.co.uk/files/newsletters/TSN50_January_2010.pdf)

Combina el diseño geométrico de la rotonda con el flujo de vehículos y análisis de capacidad de la rotonda. El diseño resulta de ajustar la geometría y el análisis de tránsito.



#### **Civil 3D de Autodesk**

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/item?siteID=123112&id=13953217>

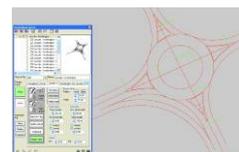
El programa Civil 3D incluye una herramienta para el diseño geométrico de rotondas sobre la base de normas comunes de diseño de rotondas; incluye el diseño de la señalización.



#### **Vestra Civil 3D de AKG Software y Autodesk**

[http://www.akgsoftware.de/fileadmin/user\\_upload/PDFs/AKG\\_VESTRA\\_Civil\\_3D\\_en.pdf](http://www.akgsoftware.de/fileadmin/user_upload/PDFs/AKG_VESTRA_Civil_3D_en.pdf)

El programa Vestra Civil 3D incluye un asistente para diseñar, rotondas de uno y dos carriles en zonas urbanas y rurales.



#### **AutoPISTE de Geomedia**

[http://www.geo-media.com/fr\\_autopiste.htm](http://www.geo-media.com/fr_autopiste.htm)

El programa Autopista incluye un asistente para diseñar rotondas en 3D, sobre el diseño 2D hecho con la ayuda del módulo de diseño de rotondas del COVADIS (Geomedia).



### 5.7.12 Operación adecuada de camiones grandes en RM de dos o más carriles: Recomendaciones de diseño

Adaptado de *Trucks in Roundabouts: Pitfalls in Design and Operations*

Edmund Waddell, Michael A. Gingrich SR. y Mark Lenters, P.E.

[www.ite.org/traffic/documents/JB09BA40.pdf](http://www.ite.org/traffic/documents/JB09BA40.pdf)

Los diseños de rotondas suelen tener errores que las guías no pueden tratar fácilmente. La composición del diseño implica concesiones mutuas y la optimización de la seguridad, la capacidad y el costo, son factores que compiten según el contexto del lugar. Los vehículos de grandes dimensiones plantean otros retos, incluso a los proyectistas experimentados.

#### Naturaleza del problema de los camiones

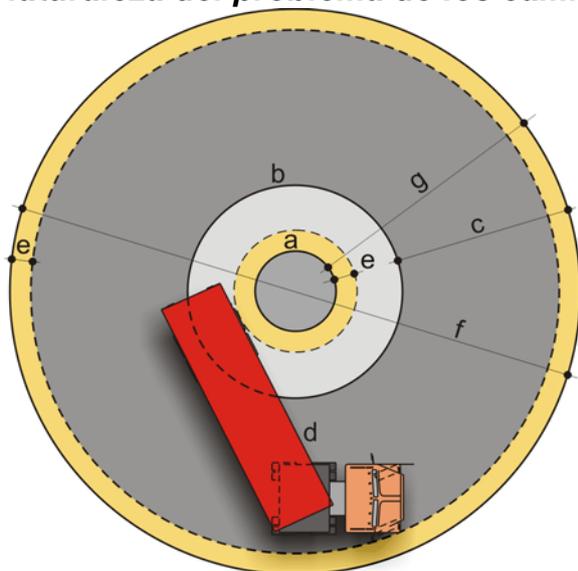


Figura 5.69 Consideración de las dimensiones del camión

Las rotondas modernas son compactas en comparación con su predecesor: el círculo de tránsito o rotatoria. Al encogerse el diámetro exterior de la rotonda, o agrandarse la longitud del camión, la plataforma circulatoria debe ensancharse y la isleta central debe encogerse para permitir a los camiones girar a la izquierda, Figura 5.69. Poco a poco resulta difícil dar una trayectoria deflexionada para la entrada de los vehículos pequeños, y se necesita un delantal de camiones. Eventualmente, al disminuir más el tamaño del círculo, cualquier isleta central elevada impide a los camiones usar la intersección. La isleta central debe volverse traspasable, como en las minirrotondas.

- **Medidas para acomodar camiones**

Numerosas técnicas se utilizan en las rotondas para dar cabida a los camiones. Aunque estrictamente no se basan en la investigación, las técnicas de diseño intuitivamente racionales implican ventajas y desventajas en términos de seguridad, capacidad y costo. Cada técnica de diseño se aplica en virtud de las diferentes condiciones del lugar.

- **Isletas traspasables.** En la escala menor, una rotonda se diseñará traspasable cuando el espacio no sea adecuado para una rotonda de diámetro más grande. El ejemplo de la Figura 5.70 es una minirrotonda en una zona de 40 km/h. Tiene un diámetro exterior de 21 metros, y los vehículos grandes traspasan la isleta central. El ambiente, el efecto de los lomos de burro y el control CEDA EL PASO disuaden a los otros conductores a exceder la velocidad.

Figura 5.70



Figure 2. Mini-roundabout in Diamond Lake, MI, USA.

Las trayectorias barridas por los camiones requieren usar pintura y franjas sonoras en cada isleta partidora. Los bolardos iluminados proporcionan la distancia visual de detención para la intersección.

- **Delantales de camiones.** Los delantales de camiones son un compromiso para dar cabida a los vehículos grandes en un círculo compacto, preservando la desviación de la trayectoria de entrada para los vehículos más livianos y rápidos. Los delantales son montables para los camiones, pero deben desalentar a los automóviles y peatones. Si el delantal es demasiado estético, los camioneros lo confunden como área de paisajismo. Los delantales no proporcionan la desviación tan eficazmente como una isleta elevada completa y si no están adecuadamente diseñados pueden afectar la estabilidad de los camiones o causar el frotamiento del chasis de los semirremolques.

- **Uso del carril adyacente.** En las rotondas compactas, a menudo los giros a la derecha son más cerrados que hacia la izquierda, y los camiones se acomodan en diferentes formas. Como en las intersecciones multicarriles, a menudo los camiones grandes usan el carril adyacente al girar a la derecha en una rotonda. Esto puede ser suficiente en las situaciones en que el porcentaje de tránsito de camiones sea bajo. Los camiones maniobran con precaución, y los vehículos livianos dan paso al vehículo más grande. La responsabilidad del conductor se aplica igual en las rotondas que en los cruces con semáforos, como se muestra en la Figura 5.71, donde se compara un giro-derecha de un camión WB-20, en una rotonda de dos carriles y en un cruce simple.

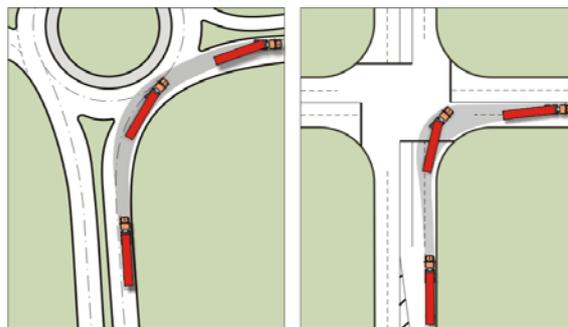


Figura 5.71

La responsabilidad del conductor se aplica igual en las rotondas que en los cruces con semáforos, como se muestra en la Figura 5.71, donde se compara un giro-derecha de un camión WB-20, en una rotonda de dos carriles y en un cruce simple.

- **Entradas y carriles de entrada ensanchados.** A mayores volúmenes de tránsito y con mayor porcentaje de camiones, los camiones pueden necesitar entradas más anchas para girar sin usar el carril adyacente. El espacio extra para giro puede agregarse usando achurados entre los carriles de entrada, proveyendo espacio para giros a la derecha más anchos. El achurado también alinea las trayectorias de los vehículos livianos.

- **Delantales de giro-derecha.** Algunos organismos viales también usan delantales (a modo de sobreechancho de calzada) para giros a la derecha (*blisters*, *ampollas*). En esta práctica, la seguridad de los peatones es una consideración importante. Generalmente, la adopción de *ampollas* evidencia una debilidad del diseño.

- **Carriles de desvío.** También pueden usarse varios tipos de carriles de desvío (*bypass*). Los desvíos de giro-derecha pueden ser parte de la entrada y ser controlados por la línea de Ceda el paso, o pueden canalizarse, o ser de flujo-libre, o ser controlados por señales CEDA EL PASO. De ser necesario, los carriles de desvío pueden proveerse corriente arriba.

○ **Uso del ancho total de la plataforma circulatoria para el movimiento de los camiones.** Cómodamente, los camiones usan todo el ancho de la plataforma de circulación en rotondas de diámetro moderado. En el trazado mostrado en la Figura 5.72, el diámetro exterior es de 37 metros y la plataforma de circulación no pintada es de 9 metros. Los camiones usan el ancho completo, por lo que no es necesario un delantal de camiones. Una franja angosta pavimentada en la isleta central impide la invasión y surcado de las cubiertas de camiones errantes.

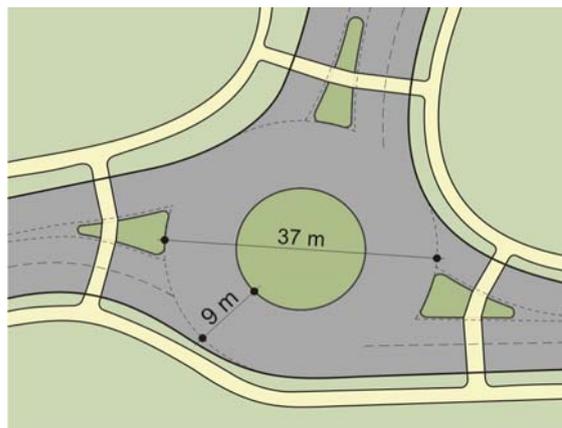


Figura 5.72

### **Camiones y franjas pintadas en el carril circulatorio**

El pintado de franjas de pintura en la plataforma circulatoria de rotondas compactas de cuatro ramales multicarriles es revelador de indeseables efectos laterales, incluyendo problemas para la disciplina de mantener el carril por parte de los camiones. En las rotondas con líneas o rayas de circulación, a menudo los camiones se montan sobre los carriles, pero hasta ahora las guías no tratan esto. Si a los camiones se los obliga a mantenerse en su carril, el proyectista se verá forzado a ampliar la geometría, creando a menudo un desequilibrio con los objetivos de seguridad en competencia. El tamaño extra agrega costos e incrementa las velocidades de entrada, asociadas con mayor frecuencia y gravedad de los choques.

Las rotondas multicarriles construidas en América del Norte antes de 2002 no tienen rayas o flechas en el camino circulatorio. Muchas de ellas permanecen en servicio y sin marcas, con los camiones todavía usando todo el ancho del pavimento. Los automovilistas y camioneros ejercen la diligencia debida, y todavía los delantales no son necesarios. En los últimos años se usaron franjas de pintura para disuadir a los vehículos de girar a la izquierda desde el carril exterior. Sin embargo, como con las vitaminas en comparación con los remedios, es preferible asignar a los conductores su carril correcto antes de llegar a la rotonda, en lugar de corregir una elección equivocada de carril de entrada, por que la información en la aproximación fue insuficiente.

Según el diámetro de la rotonda, un camión podría viajar completamente en el carril exterior, con espacio para otro vehículo. Con las rayas, las observaciones muestran que los conductores tienden a circular junto a vehículos de gran tamaño, incluso si eso no es seguro. Los camiones también pueden tratar de circular lado a lado, pero rara vez la geometría se diseña para ello. Si un camión en el carril de circulación interior debe permanecer en el carril, esto puede forzar el uso del delantal de camiones.

Estudio de un caso de camiones, franjas y delantales, [5 ANEXO].

### Vuelco de camiones

En las rotondas, como en las curvas horizontales, los vehículos con un alto centro de gravedad se puedan volcar o derramar su carga si no logran reducir la velocidad adecuadamente.

En la mayoría de los casos, el vuelco de camiones en las rotondas de los EUA se atribuyó a la velocidad excesiva o dificultad de frenado en el peralte adverso. La muestra de accidentes en rotondas de los EUA es pequeña, y la población de camioneros sigue siendo inexperta en el adecuado manejo en rotondas. En cambio, el Reino Unido tiene unas 20000 rotondas y un promedio anual de 50-60 choques con lesionados por vuelcos de camiones en rotondas. La mayoría son a baja velocidad y no causan lesiones graves. El *Transport Research Laboratory* (TRL) informa cinco características comunes de las rotondas en relación a vuelcos de camiones:

- aproximación larga, recta, a alta velocidad;
- desviación de entrada insuficiente;
- bajo caudal circulante más allá de la entrada;
- visibilidad despejada hacia la izquierda, y
- apretamiento significativo del radio alrededor de la rotonda.

La Agencia Vial del Reino Unido añade tres características que pueden contribuir a los vuelcos:

- excesivos quiebres de pendientes o cambios de pendientes transversales en la plataforma circulatoria o salidas;
- excesivo peralte adverso en el carril exterior de la plataforma circulatoria; y
- excesiva deflexión de la trayectoria de entrada.

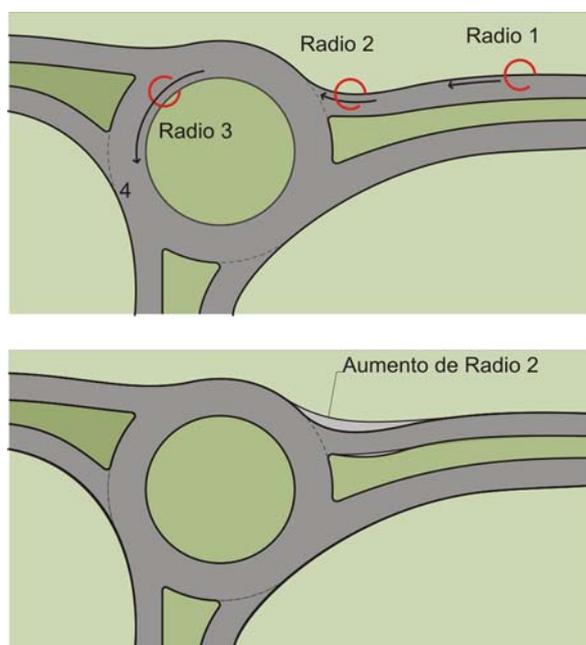


Figura 5.73

A veces, los camiones vuelcan a velocidades muy bajas (15-20 km/h), y las acciones dinámicas no se deben a un único radio. Una combinación de velocidad, masa, centro de gravedad y sucesivas curvas pueden hacer oscilar la suspensión en una frecuencia crítica (resonancia).

Las sucesivas curvas reversas introducen un movimiento de balanceo que aumenta cuando los camiones atraviesan las curvas, dando lugar a vuelcos en el punto 4, Figura 5.73. El ritmo del balanceo depende de la velocidad del vehículo y de los armónicos de la suspensión. La velocidad que coincide con la armónica puede ser baja, por lo que una velocidad mayor o menor no sería motivo de vuelco.

La contramedida propuesta por Crown es introducir una sección tangente corta después del Radio 1 – para estabilizar la suspensión de los camiones antes del Radio 2. Entonces, el aumento del Radio 2 reduce el balanceo al girar y amortigua la armónica. Otra instalación se benefició considerablemente con este tratamiento.

### **Sección transversal de la plataforma circulatoria**

¿Qué sección transversal es la mejor para la estabilidad de los camiones? ¿a dos aguas, una sola pendiente, con delantal, o peralte adverso?

Las opiniones son muchas pero los datos controlados –corregidos por exposición y condiciones locales– no tanto. Otra área donde se necesita más investigación.

El *TRL* calcula que las diferentes secciones transversales tienen poco efecto sobre la velocidad: la deflexión lentifica a los vehículos antes de entrar, y hay poco tiempo para acelerar en la rotonda. Una encuesta del *TRL* entre camioneros del ferry entre Dover y Calais halló que camioneros respetaban a las rotondas ya fueren de sección a dos aguas como en Inglaterra, o de pendiente única hacia fuera como en Francia.

La velocidad segura depende de la altura del centro de gravedad del remolque y del tipo de carga, y la elección de la velocidad depende de cómo reaccionan los conductores a la rotonda. En ausencia de datos concluyentes, la intuición y las entrevistas informales con los camioneros revelan un supuesto patrón de comportamiento, y leyes físicas.

Al girar en una curva o una rotonda, los semirremolques siguen una trayectoria de radio más apretado que la unidad tractora. El conductor reacciona a lo que ve, y a la fuerza lateral que siente en sus asentaderas. El conductor en la cabina sigue un radio más grande que el semirremolque y puede experimentar menos fuerza lateral que el semirremolque.

Adecuadamente diseñadas, las suspensiones de la cabina se balancean más que las del semirremolque, aumentando la sensación del camionero en su asiento; pero pueden acostumbrarse a esa sensación. En última instancia, las leyes físicas determinan cuándo y dónde se producirá un cambio de carga, o el vuelco de un camión. La comparación siguiente sólo considera la plataforma circulatoria y predominantemente a los camiones que giran a la izquierda. También preocupa la estabilidad al entrar y salir. En ausencia de datos de campo se recomienda investigar diversos diseños según la Física.

- **Condición de plataforma circulatoria a dos-aguas.** En una plataforma circulatoria con bombeo normal a dos aguas, el semirremolque se inclina hacia el interior en comparación con la cabina, y la fuerza lateral en el semirremolque se acerca más que la cabina a ser perpendicular con la superficie de la calzada. Por que la cabina experimenta más fuerza lateral que el semirremolque, presumiblemente el camionero operará en el rango de velocidad segura para el semirremolque. La pendiente hacia el interior contrarrestaría el momento volcador creado por la circulación del vehículo. La parte superior de la Figura 5.74 ilustra esta condición. Desde 1993, las guías de diseño del Reino Unido promueven este diseño para todas las rotondas, sin que hasta ahora haya pruebas para cambiar la práctica.

- **Condición de Plataforma Circulatoria con Peralte Adverso**

Con peralte adverso, (parte inferior de la Figura 5.74), la cabina experimenta menos fuerza lateral que el semirremolque. El conductor puede sentir menos peligro de vuelco que el real. Tanto la suspensión del vehículo y la suspensión de aire en la cabina experimentarán la misma pendiente, que informa constantemente al conductor. Sin embargo, el constante peralte adverso cuando se acopla con una suave transición de entrada puede tener ventajas si los conductores aminoran adecuadamente la velocidad al entrar.

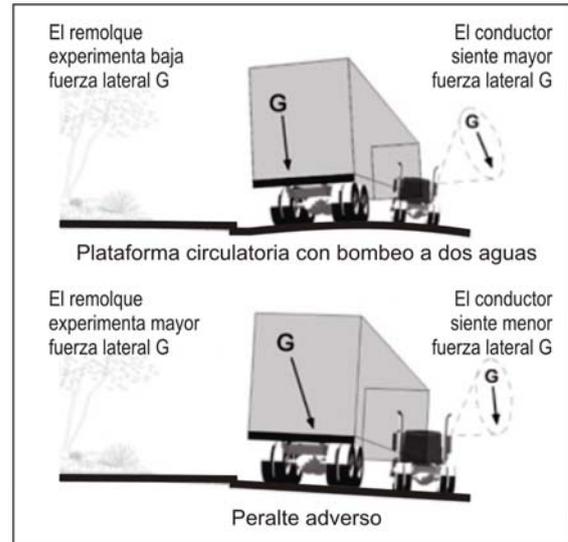


Figura 5.74

- **Condición de Plataforma Circulatoria Inclinada hacia Adentro**

En una plataforma peraltada hacia adentro (Figura 5.75, arriba), la cabina traspasa la plataforma circulatoria sobre el radio mayor; nuevamente, experimenta menos fuerza lateral que el semirremolque.

- **Condición de Plataforma Circulatoria con Peralte Adverso y Delantal de Camiones**

En los EUA se desarrolló un peralte continuo hacia fuera con delantal de camiones (Figura 5.75, derecha abajo).

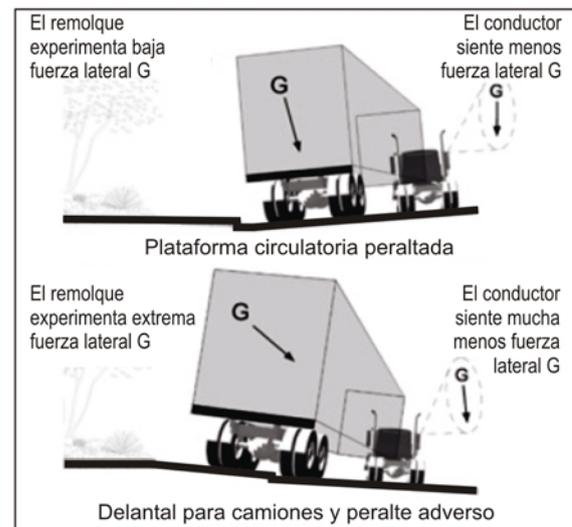


Figura 5.75

Los delantales se elevan varios centímetros, con una pendiente transversal de 2 a 4% elevando la rueda izquierda del semirremolque varios centímetros por encima de la calzada de circulación. Esto agrava el peralte adverso para el semirremolque tiene carga alta o entra un poco rápido, crece la probabilidad del desequilibrio de las cargas en un movimiento de giro a la izquierda.

## RECOMENDACIONES

- Los diseñadores de rotondas modernas deben saber las necesidades de los vehículos de diseño y ser conscientes de que los delantales de camiones son un elemento de diseño para la geometría compacta.
- En muchos casos las franjas pintadas son efectivas (como las destinadas a los giros izquierda), pero no deberían ser obligatorias en todas las rotondas de varios carriles. En cambio, el mejoramiento de la aproximación mediante guías que comprendan correctas flechas de carril y señales de designación de carriles facilitarán la adecuada elección del carril de entrada y reducirán la necesidad de cambios de carril en la circulación, tanto como el consumo de vitaminas en lugar remedios.
- Las reglas y códigos deben poner énfasis en los simples principios de circulación por las rotondas: los vehículos de la izquierda tienen prioridad. La policía necesita una normativa clara para un control sin ambigüedades. Los automovilistas deben entender que no deben atosigar a los camiones, independientemente de las franjas de circulación pintadas en la plataforma circulatoria.
- Muchos organismos adoptan el tipo de sección transversal de la plataforma circulatoria, basados en primeras impresiones, hábitos o intuiciones. Se recomienda un diseño prudente y mayor estudio e investigación.
- Se recomienda a los proyectistas de intersecciones ponerse al tanto y estudiar las novedades para un diseño adecuado de las *RM* de dos o más carriles, con detalles de diseño más delicados y complejos que las de carril único. La versión actualizada de *Rotondas: Guía Informativa* de la FHWA 2000 (complementada en el 2006 por la *Guía de Rotondas de Kansas DOT*) está anunciada para este año 2010, según <http://144.171.11.40/cmsfeed/TRBNetProjectDisplay.asp?ProjectID=819>

## 5.8 BIBLIOGRAFÍA PARTICULAR DE CONSULTA

Sitios Web: Consultados durante la Actualización 2009-10

### 5.8.1 En español original o traducciones

#### INTERSECCIONES A NIVEL

- 1.01 NSRA - Suecia 1995  
***Design criteria and traffic performance research in new Swedish guidelines for rural highways***  
<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec003/ch1.pdf>
- 1.02 MOP Chile 2008  
***Manual de Carreteras. Volumen 3, Capítulo 3.400***
- 1.03 INV Colombia 1998  
***Manual de Diseño Geométrico para Carreteras***
- 1.04 DGC MF España 1987  
***Recomendaciones para el Diseño de Intersecciones***
- 1.05 Mn/DOT - Minnesota 2000  
***Road Design Manual – Chapter 5 At-Grade Intersections***  
<http://www.dot.state.mn.us/design/rdm/english/5e.pdf>
- 1.06 MAIN ROADS Queensland - Australia 2002  
***Road Planning and Design Manual – Chapter 13 At-Grade Intersections***  
[http://www.mainroads.qld.gov.au/~media/files/business-and-industry/technical-publications/road-planning-and-design-manual/current-document/rpdm\\_chapter13.pdf](http://www.mainroads.qld.gov.au/~media/files/business-and-industry/technical-publications/road-planning-and-design-manual/current-document/rpdm_chapter13.pdf)
- 1.07 FHWA AHWAS ITE - EUA 2002  
***Hojas del Informe de la Seguridad de la Intersección: Una Introducción***
- 1.08 FLORIDA DOT - EUA 02/07  
***Florida Intersection Design Guide***  
<http://www.dot.state.fl.us/rddesign/FIDG-Manual/FIDG2007.pdf>

#### ROTONDAS MODERNAS

- 2.00 DNV - Consorcio Inconas-Cepic. Programa de Corredores Viales Nacionales – Asistencias Técnicas – Rubro XI – Accesos a Ciudades en Corredores Viales, 1997  
***Anexo 1 – Rotondas***
- 2.01 XIII CAVyT – Buenos Aires 2001  
2.01.1 ***Monografía: Consideraciones sobre el Diseño de Rotondas***  
2.01.2 ***Monografía: Seguridad y capacidad de las rotondas modernas***  
2.01.3 ***Ponencia: A) Rotondas modernas***  
*DT Gran Bretaña 1984-Adaptados Circulación por Derecha:*  
2.01.3.1 ***TA 42/84 Diseño Geométrico de Rotondas***  
2.01.3.2 ***TD 16/84 Diseño Geométrico de Rotondas***
- 2.02 MOPU - España 1989  
***Recomendaciones sobre Glorietas***
- 2.03 FHWA - EUA 2000  
***Rotondas: Guía Informativa***  
<http://www.tfrc.gov/safety/00068.htm>
- 2.04 KANSAS DOT - EUA 2003  
***Guía de Rotondas***  
[http://www.ksdot.org/burTrafficEng/Roundabouts/Roundabout\\_Guide/RoundaboutGuide.asp](http://www.ksdot.org/burTrafficEng/Roundabouts/Roundabout_Guide/RoundaboutGuide.asp)
- 2.05 AASHTO - Libro Verde Capítulo 9 Intersecciones – EUA 2001  
***Rotondas Modernas***

- 2.06 MICHIGAN STATE UNIVERSITY – EUA 1999  
**Conversión de Viejos Círculos de Tránsito en Rotondas Modernas: un Caso de Estudio**  
<http://www.ite.org/traffic/documents/AB00H5002.pdf> (consultado 3.2.10)
- 2.07 MICHIGAN DOT – EUA 1997  
**Evolution of Roundabout Technology: A History-Based Literature Review**  
[www.k-state.edu/roundabouts/research/Waddell.pdf](http://www.k-state.edu/roundabouts/research/Waddell.pdf)
- 2.08 TAC – Canadá 2007  
**740 Roundabout – Supplement to TAC Geometric Design Guide**  
[http://www.th.gov.bc.ca/popular-topics/roundabouts/740\\_Roundabouts.pdf](http://www.th.gov.bc.ca/popular-topics/roundabouts/740_Roundabouts.pdf)
- 2.09 MAIN ROADS Queensland – Australia 2006  
**Road Planning and Design Manual – Chapter 14 Roundabouts**  
<http://www.mainroads.qld.gov.au/Business-and-industry/Road-builders/Technical-publications/Road-planning-and-design-manual.aspx>

### 5.8.2 En inglés (excepción válida)

- 3.01 AUSTRROADS - Australia 1993  
**Guide to Traffic Engineering Practice Part 6: Roundabouts**

### 5.8.3 En español – Archivos pdf en DVD Actualización 2010 C5 Bibliografía Particular de Consulta

#### INTERSECCIONES A NIVEL

-  1.01 SUECIA NSRA NuevasNormas.pdf
-  1.02 CHILE Intersecciones.pdf
-  1.03 COLOMBIA InterseccionesaNivel.pdf
-  1.04 MNDOT Intersecciones.pdf
-  1.05 MAIN ROADS QSL C13 Intersecciones.pdf
-  1.06 FHWA AHWAS ITE InfIntersecc.pdf
-  1.07 FLORIDA InterseccionesNivel.pdf

#### ROTONDAS MODERNAS

-  2.01.1 XIICAVyT ConsideracionesRodondas.pdf
  -  2.01.2 XIICAVyT RotondasModernas.pdf
  -  2.01.3 XIII CAVyT RM Ponencia.pdf
  -  2.01.3.1 XIII CAVyT RM TA42'84.pdf
  -  2.01.3.2 XIII CAVyT RM TD16'84.pdf
  -  2.02 MOPU RecomendGlorietas.pdf
  -  2.03 FHWA GUÍA RM 2000.pdf
  -  2.04 KANSAS GUÍA RM 2003.pdf
  -  2.05 AASHTO GreenBook'01.pdf
  -  2.06 MICHIGAN Conversión CT-RM.pdf
  -  2.07 MICHIGAN HistoriaRotondaModerna.pdf
  -  2.08 TAC Rotondas.pdf
  -  2.09 MAIN ROADS QSL C14 Rotondas.pdf
- 
-  3.01 AUSTRROAD GuideRoundabouts.pdf

## 5 ANEXO

### 5.7.1A Introducción

De las rotondas modernas bien proyectadas, se afirma con fundamentos:

- *UNO DE SUS BENEFICIOS MÁS SIGNIFICATIVOS ES EL MEJOR COMPORTAMIENTO DE LA SEGURIDAD DE LOS TRÁNSITOS AUTOMOTOR Y PEATONAL, EN RELACIÓN CON OTRAS FORMAS DE INTERSECCIONES A NIVEL (...) REPRESENTAN UN SUSTANCIAL MEJORAMIENTO EN TÉRMINOS DE OPERACIÓN Y SEGURIDAD, CUANDO SE LAS COMPARA CON LAS VIEJOS CÍRCULOS DE TRÁNSITO.*  
**Federal Highway Administration, 2000**
  - *QUIZÁS EL DISPOSITIVO SIMPLE MÁS IMPORTANTE JAMÁS INVENTADO PARA CONTROLAR EL TRÁNSITO, SEGURA Y SUAVEMENTE.*  
**Kansas State University, 2001**
  - *TIENEN BENEFICIOS SIGNIFICATIVOS EN TÉRMINOS DE SEGURIDAD, DEMORAS Y CAPACIDAD (...) SUS BENEFICIOS DE SEGURIDAD SE RELACIONAN CON LA VELOCIDAD REDUCIDA Y LA SIMPLIFICACIÓN DE LOS CONFLICTOS.*  
**Transportation Research Board, 1998**
  - *REDUCEN LOS ACCIDENTES CON HERIDOS, LAS DEMORAS DE TRÁNSITO, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y POLUCIÓN DEL AIRE, Y PUEDEN TENER UN EFECTO APACIGUADOR SOBRE EL TRÁNSITO.*  
**Washington State Department of Transportation, 2000**
  - *SON MÁS SEGURAS, BARATAS, EFICIENTES, CAPACES Y ATRACTIVAS.*  
**Michael J. Wallwork, PE. Vermont, 1996/97**
  - *MEJORAN LA SEGURIDAD DE LAS INTERSECCIONES, DONDE SEA ALTO EL NÚMERO DE ACCIDENTES GRAVES.*  
**Oregon Department of Transportation, 1998**
  - *SU INSTALACIÓN DEBERÍA PROMOCIONARSE FUERTEMENTE COMO UN EFECTIVO TRATAMIENTO DE SEGURIDAD PARA LAS INTERSECCIONES (...) DADA LA MAGNITUD DE LAS REDUCCIONES DE CHOQUES, SIN DUDA SON UNA IMPORTANTE CONTRAMEDIDA PARA MEJORAR LA SEGURIDAD DE MUCHAS INTERSECCIONES (...) AL REEMPLAZAR LOS SEMÁFOROS Y SEÑALES DE PARE POR ROTONDAS SE REDUCIRÁN LOS CHOQUES, SE SALVARÁN VIDAS, Y SE MEJORARÁ EL TRÁNSITO.*  
**Insurance Institute for Highway Safety, 2000**
  - *EN PROMEDIO, EXPERIMENTAN LA MITAD DE CHOQUES QUE OTROS TIPOS DE CONTROL DE INTERSECCIÓN.*  
**Canadian Transportation Research Forum, 1997**
  - *NORMALMENTE, SON LA FORMA MÁS SEGURA DE INTERSECCIÓN A NIVEL, EN UN AMPLIO RANGO DE FLUJOS DE ENTRADA Y VELOCIDADES DE APROXIMACIÓN.*  
**British Department of Transport, 1981**
  - *EL TÉRMINOS "ROTONDA MODERNA" SE USA EN LOS EUA PARA DIFERENCIARLAS DE LOS INSASTIFACTORIOS CÍRCULOS DE TRÁNSITO O ROTATORIAS USADAS DURANTE MUCHOS AÑOS. SE DEFINEN POR DOS PRINCIPIOS BÁSICOS OPERACIONALES Y DE DISEÑO: CEDER EL PASO EN LA ENTRADA Y DEFLEXIONAR LA TRAYECTORIA DEL TRÁNSITO ENTRANTE.*  
**American Association of State Highway and Transportation Officials – EUA, 2001-04**
-

### 5.7.12A Estudio de un caso de camiones, franjas y delantales

Adaptado de *Trucks in Roundabouts: Pitfalls in Design and Operations*

Edmund Waddell, Michael A. Gingrich SR. y Mark Lenters, P.E.

[www.ite.org/traffic/documents/JB09BA40.pdf](http://www.ite.org/traffic/documents/JB09BA40.pdf)

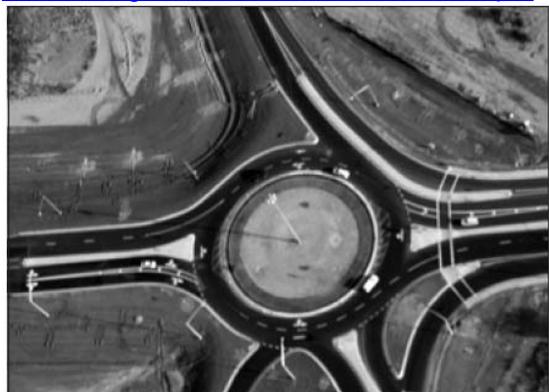


Figura 5. Happy Valley east roundabout.

Figura 5.76

Las rotondas del distribuidor en la intersección *Interestatal 17/Happy Valley* en Phoenix, Arizona, EUA., se construyeron de varios carriles en el 2001, pero funcionaron como rotondas de un solo carril hasta que se modificaron en el 2005. Para añadir capacidad, las dos rotondas se reconstruyeron con plataformas circulatorias más anchas para facilitar la operación de dos carriles. También se agregaron marcas de carril en espiral, con delantales de camiones para ayudar en la disciplina de carril de

los camiones, Figura 5.76. En 2007, cada carril llevaba unos 2500 vehículos durante las horas pico, con porcentajes de camiones entre 17 y 34 por ciento. Diez meses de datos de accidentes mostraron aumento de las tasas de accidentes (259% ciento en la rotonda este y el 55% en la rotonda oeste), incluyendo cinco camiones volcados, por varias explicaciones posibles. También se duplicaron las lesiones por año (siete), aunque la gravedad fue baja. En el 2007, el DOT de Arizona dirigió un estudio para evaluar el distribuidor.

Ambas rotondas mostraron numerosos choques por refilones, sobre todo en la plataforma de circulación. Los conductores se desviaban hacia los carriles adyacentes o cambiaban abruptamente de carriles para salir de la rotonda desde el carril interior. Los patrones de choque sugirieron que la incorrecta elección de carril en la entrada y la pobre geometría de las salidas eran las causas fundamentales de los refilones. Como se esperaba, la adición de carriles sumó conflictos para todos los vehículos. Anteriormente sin importancia, ahora con dos carriles la geometría se convirtió críticamente importante para los choques y el comportamiento a la seguridad. Los datos no muestran concluyentemente si las franjas de pintura de los carriles de circulación influyeron en la frecuencia de accidentes. Una prueba sería operar con y sin rayas, y comparar los dos períodos. Las franjas se mejoraron y ensancharon para reforzar la disciplina de carril. También se recogieron datos en la hora pico de uso del delantal

por parte de semirremolques y grandes camiones de unidad simple, Tabla 5.22.

Tabla 5.22

Table 1. Survey of 624 trucks at Interstate 17/ Happy Valley Interchange roundabouts.			
	Truck Used Apron	Truck Did Not Use Apron	Total
Truck Entered Alone	78 (12.5%)	448 (71.8%)	526 (84.2%)
Truck Entered with Car Adjacent	66 (10.5%)	32 (5.1%)	98 (15.7%)
Total	144 (23%)	480 (77%)	624 (100%)

Source: Lenters, M. Roundabout Apron Use Study. Data collected by United Civil Group, Phoenix, AZ, USA, July 2007.

De 624 camiones (unidades simples y semirremolques) que entraron en las rotondas, el 77% no usó el delantal. De los que lo hicieron, dos tercios sólo lo utilizaron si había un auto en el carril contiguo. 84% circuló directamente solo. (Personal de campo informó que la mayoría de los camiones entraron utilizando los dos carriles, a pesar de la amplia marcación de la trayectoria de entrada, lo cual impedía a los autos viajar junto a ellos en la suficientemente ancha entrada.). Se recomiendan estudios adicionales sobre el comportamiento de los semirremolques.

Se recomiendan estudios adicionales sobre el comportamiento de los semirremolques.

**Observaciones respecto de rayas y camiones.** La mayoría de rotondas de varios carriles no necesitan delantales si no se usan franjas pintadas. En *Happy Valley*, el 77% de los camiones no utilizan el delantal, incluso con rayas. Recientemente, en los EUA comenzó la construcción de delantales en las rotondas de varios carriles por la excesiva disciplina de carril, y a los automóviles en la trayectoria de los camiones. Aparentemente, las franjas son un factor contribuyente. Entre las rotondas sin franjas en servicio por más de 10 años en los EUA y las construidas recientemente, ninguna tiene este problema. Algunos ejemplos incluyen los primeros distribuidores con rotondas modernas en Vail y Avon, CO, EUA. En muchos casos, la mejor geometría y señalización de los ramales de aproximación pueden evitar las franjas. Las líneas estaban destinadas a disuadir el uso incorrecto del carril de entrada y delinear los carriles de giro-izquierda exclusivos o giros dobles a la izquierda. Los profesionales no previeron que las rayas circulatorias introducirían nuevos y graves problemas, como el caso extremo de requerir dos camiones WB-20 para realizar un seguimiento lado-a-lado a través de una rotonda a rayas. Dos camiones lado-a-lado parecen ser excesivo en una rotonda o en cualquier otra intersección. Se necesita más investigación sobre las consecuencias para la seguridad de las entradas excesivamente amplias y la disciplina de carril para camiones.



Vista actual de una de las rotondas en la intersección I-17 / *Happy Valley Road*

Información adicional en

[http://www.azdot.gov/CCpartnerships/roundabouts/AZ\\_Roundabouts.asp](http://www.azdot.gov/CCpartnerships/roundabouts/AZ_Roundabouts.asp)

### **Ejemplo de Medida Correctiva**

Los conductores no deben conducir al lado o pasar camiones en rotondas multicarriles. En caso necesario, puede ayudar colocar señales de advertencia para asesorar a los automovilistas. La Columbia Británica, Canadá, Ministerio de Transporte utiliza señales para advertir a los conductores NO circular junto a los camiones. No hay datos disponibles sobre la eficacia, pero los primeros informes de los ingenieros de tránsito en las jurisdicciones indican un efecto positivo.