

MEJORA DEL DISEÑO DE GLORIETAS EN SERVICIO CON MEDIDAS DE BAJO COSTE

Juan Luis Rubio Martín

Jefe de Proyecto en Infraestructuras del Transporte (AYESA)

Rafael Jurado Piña

Profesor Titular de Universidad (UPM)

José M^a Pardillo Mayora

Profesor Titular de Universidad (UPM)

RESUMEN

Las glorietas son un tipo de nudo que canaliza los flujos procedentes de tres o más accesos mediante una calzada anular. De la experiencia acumulada en países de todo el mundo se deduce que, en muchos casos, este tipo de nudo tiene numerosas ventajas frente a una intersección convencional. Por este motivo, se ha extendido su aplicación como solución alternativa a las intersecciones convencionales tanto en zonas urbanas como interurbanas.

En general, las glorietas en servicio ofrecen unas buenas condiciones de circulación y un elevado nivel de seguridad. Sin embargo, existen casos en los que una inadecuada definición de su diseño en el proceso de proyecto da lugar posteriormente a problemas de funcionamiento o, incluso, de seguridad vial, que pueden corregirse si se identifican las deficiencias de diseño que los originan.

En este trabajo se presentan dos casos de estudio de mejoras del diseño de glorietas en servicio con medidas de bajo coste. El primer caso se refiere a una glorieta multicarril implantada en un entorno urbano con problemas de capacidad. El conocimiento de los parámetros con mayor influencia en la operación de los tráficos ha permitido proponer una serie de ajustes en el diseño geométrico. El segundo caso corresponde a una glorieta multicarril situada en entorno interurbano con problemas de seguridad derivados de las altas velocidades de entrada en los accesos del eje principal. La actuación propuesta se basa en la modificación del trazado y de la señalización.

1. INTRODUCCIÓN

Las glorietas son un tipo de nudo que canaliza los flujos procedentes de tres o más accesos mediante una calzada anular. De la experiencia acumulada en países de todo el mundo se deduce que, en muchos casos, este tipo de nudo tiene numerosas ventajas frente a una intersección convencional. Por este motivo, se ha extendido su aplicación como solución alternativa a las intersecciones convencionales tanto en zonas urbanas como interurbanas.

En el caso de España, la primera glorieta con preferencia para el tráfico en la calzada anular fue construida en 1976. Desde entonces, se ha producido una masiva extensión superando en la actualidad, en valor aproximado, las 35.000 unidades. A nivel internacional, esta cifra sitúa a España como uno de los países con mayor número de glorietas.

A pesar de contar con esta importante experiencia, en la actualidad se pueden encontrar en las carreteras españolas una serie de glorietas cuyos problemas de funcionamiento y seguridad tienen su origen en la propia concepción del proyecto y en su desarrollo posterior y que son susceptibles de mejora si se identifican y se corrigen las deficiencias de diseño.

El diseño de una glorieta es una tarea compleja y que requiere del trabajo de un especialista que lleve a cabo múltiples iteraciones hasta satisfacer una serie de objetivos. Las normas de diseño son un excelente recurso, pero no garantizan el éxito ya que la mayor parte de las glorietas presentan unas condiciones únicas que no se pueden ajustar a ningún estándar.

Las carencias en la aplicación de los principios de diseño a las condiciones específicas de cada proyecto pueden terminar manifestándose en la fase de explotación con pérdidas de funcionalidad y problemas de seguridad vial. Por este motivo, resulta de interés analizar las posibilidades de mejora del diseño en estos casos y su efecto en las condiciones de operación y seguridad.

En esta línea, la presente investigación propone la aplicación de una serie de ajustes de menor entidad en el diseño de glorietas en servicio y que, por este motivo, se han denominado de bajo coste. Estas se fundamentan en el conocimiento de los principios generales de diseño que gobiernan el proyecto de las glorietas.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto en la circulación y la seguridad de la aplicación de medidas de menor entidad en el trazado y señalización de glorietas con un funcionamiento deficiente.

Para ello se ha seleccionado dos casos típicos en la red de España:

- Glorieta multicarril urbana con problemas de capacidad.
- Glorieta multicarril interurbana con problemas de elevadas velocidades.

2. GLORIETA URBANA CON PROBLEMAS DE CAPACIDAD

El primer caso que se analiza es una glorieta de gran diámetro que resuelve la conexión de una vía de gran capacidad con el entramado urbano de un municipio (Fig. 1). Presenta las siguientes características:

- Elevado número de accesos distribuidos de manera no uniforme en los cuadrantes este y oeste de la intersección.
- Presencia de edificaciones y multitud de servicios en el entorno.
- Altas intensidades de tráfico en la glorieta (IMD = 38.232 veh/día).
- Presenta iluminación.

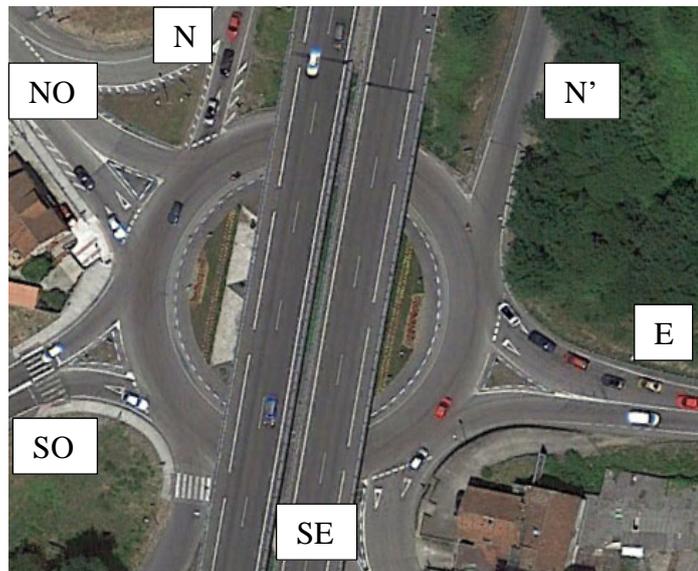


Fig. 1 Caso de estudio: glorieta multicarril con problemas de capacidad. Fuente: Google Earth.

La glorieta presenta problemas de capacidad, principalmente en las patas N y E (aspecto que se aprecie en la imagen satélite). Se plantea mejorar las condiciones de operación y el nivel de servicio a través modificaciones menores del diseño actual.

2.1 Datos de partida

2.1.1 Geometría

Se ha parametrizado la glorieta obteniendo todos los datos necesarios para la evaluación de la capacidad siguiendo el método clásico de Kimber (1980). Los valores se resumen en la siguiente tabla:

Entrada	v (m)	e (m)	l (m)	fi (g)	r (m)	D (m)
SE	6.43	6.93	0.00	21.0	18.9	64.0
E	4.08	7.29	5.70	36.0	17.7	64.0
N	4.15	4.15	0.00	31.0	12.0	64.0
NO	3.78	6.80	3.75	15.0	32.0	64.0
SO	3.78	4.86	4.56	19.0	20.0	64.0



Tabla 1. Parámetros geométricos utilizados en el cálculo de capacidad.

Siendo:

v = la mitad de la anchura de aproximación.

e = anchura de la entrada.

l = longitud media efectiva del abocinamiento de la entrada.

fi = ángulo de entrada.

r = radio del borde exterior de la entrada.

D = diámetro del círculo inscrito.

Los círculos sombreados representan los apoyos de la estructura superior.

2.1.2 Tráfico

Se parte de un aforo de 16 h (entre las 6 h y las 22 h) realizado mediante cámaras de visión artificial en un día laborable de noviembre de 2018. No se pudieron obtener datos de accidentalidad.

2.2 Análisis de la situación actual

A partir de los datos registrados, y con la referencia de una estación permanente situada en las proximidades, se han obtenido las intensidades horarias IH-100 de vehículos totales en todos los movimientos:

	SE	E	N	NO	SO	
SE	46	170	16	149	326	706
E	74	0	562	282	152	1,070
N	120	169	26	59	302	676
NO	70	154	198	0	66	487
SO	232	273	192	0	0	696
	542	765	993	490	846	3,636

Tabla 2. Matriz origen – destino de intensidades IH-100.

Se consideró de acuerdo al aforo realizado un porcentaje de pesado del 6,5 %.

De los resultados del cálculo se concluye un funcionamiento deficiente, principalmente en dos entradas. Este aspecto se ha podido comprobar también en las visitas de campo.

	Ie (veh/h)	Is (veh/h)	Qe (veh/h)	Qc (veh/h)	isat = Ie / Qe	NS	
SE	707	542	1,424	1,012	0.50	A	Adecuado
E	1,070	766	1,072	953	1.00	F	Congestión
N	676	994	795	1,029	0.85	E	Saturado
NO	488	490	883	1,215	0.55	C	Adecuado
SO	697	846	976	857	0.71	B	Adecuado

Tabla 3. Resultados del cálculo de capacidad.

Donde:

Ie = intensidad de entrada.

Is = intensidad de salida.

Qe = capacidad en la entrada.

Qc = intensidad anular que corta dicha entrada.

Nivel de servicio global F. El trazado en planta es compatible con el paso de los vehículos más largos.

2.3 Propuesta de mejora

Debido a la configuración y el número de accesos lo ideal en estos casos es plantear dos glorietas, siempre que se garantice que las colas en la vía que conecta las glorietas no bloqueen las mismas. En el caso particular, dada su implantación en un medio urbano, no resulta factible debido al impacto en el entorno.

Por este motivo se plantea la mejora del diseño con medidas de menor entidad de manera similar a como lo han propuesto otros investigadores. McCulloch (2011) propone la mejora de la capacidad y de las condiciones de la canalización de los vehículos mediante la modificación de la señalización horizontal aprovechando el espacio generado en el diseño existente. Pochowski (2017) presenta la corrección de una glorieta multicarril en servicio con exceso de capacidad mediante la reducción del número de carriles. Para ello utiliza señalización horizontal. El efecto directo es la reducción del número de puntos de conflicto (aspecto muy favorable para la seguridad). En el trabajo de Gallelli y Vaiana (2019) se evaluó la transformación de la tipología de glorieta (de multicarril convencional a una turboglorieta) aprovechando el mismo espacio que la actual. La simulación resultó favorable en términos de capacidad y seguridad.

De manera particular para el caso de estudio, las correcciones de diseño que se proponen consisten en la mejora de las condiciones de las entradas con peor funcionamiento, las patas E y N, en base a la modificación de la geometría de los parámetros con mayor influencia: la anchura de entrada y la longitud media del abocinamiento. Además, se ha intentado facilitar la operación en el resto de accesos con una mejora de la canalización. Esto permite mejorar las condiciones de seguridad.

La estrategia, dadas las limitaciones de espacio, ha sido reducir la anchura de la calzada anular y el diámetro exterior, y aprovechar algún espacio adicional en las zonas sin servicios y edificaciones (espacio interior en las patas N y N'). La propuesta se puede observar en la siguiente imagen y se ha apoyado principalmente en las normas de diseño MF(2012), MF(2014) y MF(2016):

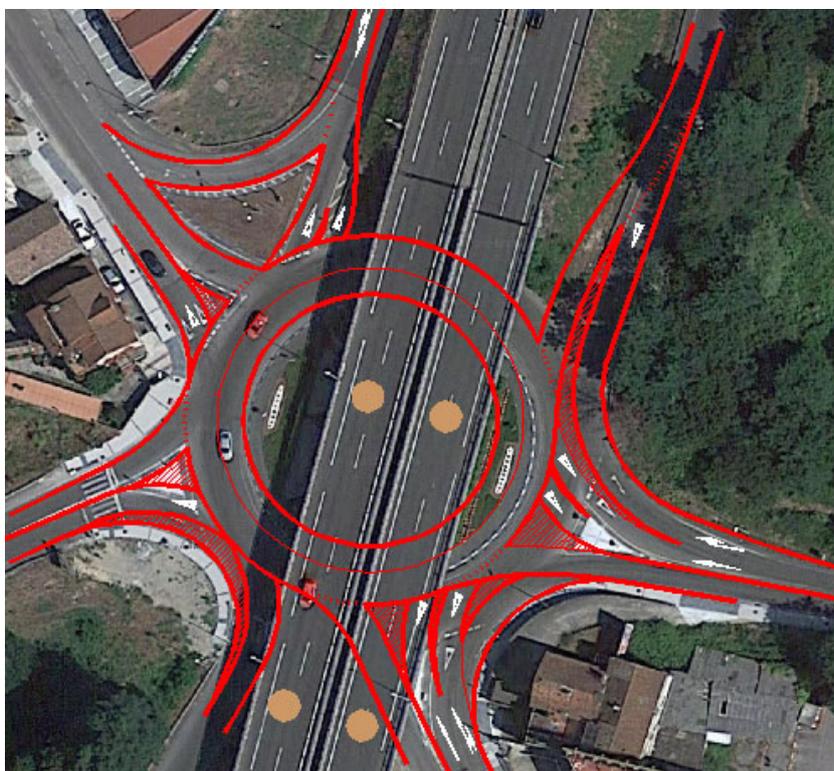


Fig. 2 Geometría de la propuesta de mejora.

Entrada	v (m)	e (m)	l (m)	fi (g)	r (m)	D (m)
SE	6.43	8.00	17.00	30.0	30.0	57.0
E	4.08	7.50	10.00	25.0	25.0	57.0
N	4.15	6.00	6.00	36.0	25.0	57.0
NO	3.78	4.50	4.00	27.0	17.5	57.0
SO	3.78	4.60	6.00	30.0	17.5	57.0

Tabla 4. Parámetros geométricos utilizados en el cálculo de capacidad.

El trazado propuesto no interfiere con ningún servicio y requiere adoptar nueva señalización en los accesos, principalmente en aquellos que se han dotado con carriles segregados. Como se observa en la imagen el diseño es compatible con el paso de un vehículo articulado y, en la calzada giratoria, de manera simultánea con un turismo.

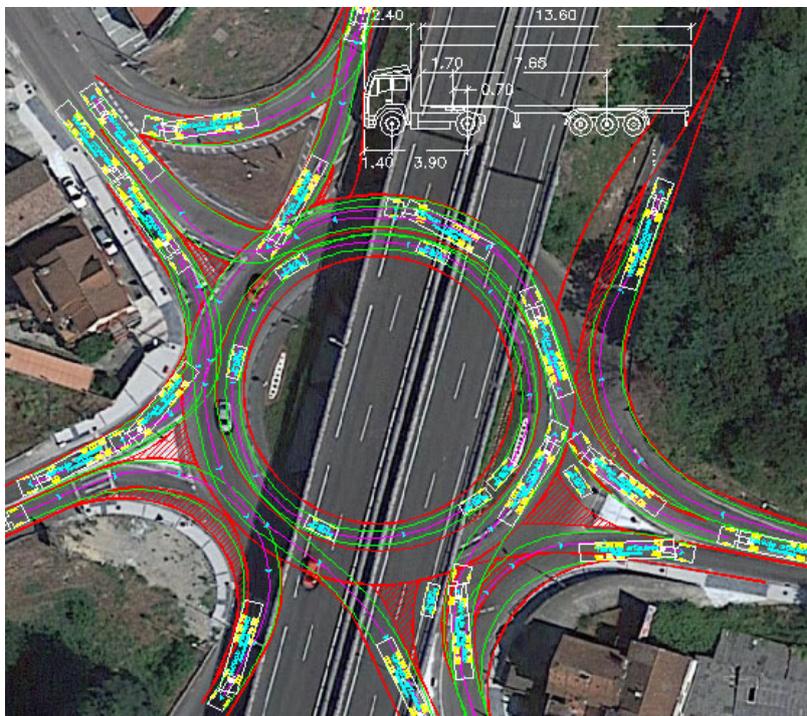


Fig. 3 Caso de estudio: comprobación de áreas barridas en la propuesta.

En cuanto a la capacidad, y como se observa en la tabla, el resultado es satisfactorio ya que los niveles de servicio se han mejorado notablemente. Un estudio de la evolución de la demanda de tráfico puede concluir hasta qué año el diseño podría mantenerse con unos niveles adecuados.

	Q_e (veh/h)	Q_c (veh/h)	$i_{sat} = I_e / Q_e$	NS	NS acceso	
SE	1.510	1,012	0.35	A	A	Adecuado
SE (Bypass)	561	1,012	0.31	A		Adecuado
E	927	953	0.55	C	B	Adecuado
E (Bypass)	923	432	0.61	A		Adecuado
N	1073	1.029	0.63	C	C	Saturado
NO	822	1.215	0.6	B	B	Adecuado
SO	972	857	0.71	C	C	Adecuado

Tabla 5. Cálculo de capacidad en la propuesta de mejora.

Nivel de servicio global B.

3. GLORIETA INTERURBANA CON PROBLEMAS DE VELOCIDADES

3.1 Datos de partida

En el segundo caso se analiza una glorieta interurbana que resuelve la intersección entre una vía principal de doble calzada (carretera multicarril) y una secundaria (Fig. 4). Presenta las siguientes características:

- Elevadas intensidades de tráfico en la vía principal. Según los datos de aforos de una estación muy próxima, en el año 2018, se registró una IMD de 26.663 veh/d.
- La velocidad media en la vía principal de acuerdo a los datos publicadas por la Administración que gestiona la vía es de 79 km/h. Presenta una velocidad máxima señalizada de 80 km/h.
- A unos 300m, y en el movimiento norte – sur, se localiza un radar fijo de control de la velocidad.
- En los accesos de la vía principal se disponen bandas transversales de alerta (tipo resaltadas).
- Existe iluminación.



Fig. 4 Caso de estudio: glorieta multicarril con problemas de altas velocidades.
Fuente: Google Earth.

3.2 Análisis de la situación actual

La problemática de esta glorieta se puede resumir en los siguientes puntos:

- No existe deflexión en el perfil de velocidades en los movimientos de paso por la vía principal (se puede cruzar mediante una trayectoria casi rectilínea). Esto genera altas velocidades en las entradas a la glorieta desde la vía principal (se recurre a un radar fijo) y, en consecuencia, un aumento de la probabilidad de accidente, tanto por pérdida del control del vehículo como por colisión con vehículos que circulan por la calzada anular durante la propia maniobra de entrada. Adicionalmente esta configuración puede provocar una pérdida de capacidad.
- No hay equilibrio en el número de carriles: accesos de uno y dos carriles y calzada anular de tres.
- La canalización de las trayectorias es inadecuada. Los movimientos de entrada y salida desde la vía secundaria se producen, observando las rodadas, hacia y desde el carril más interior (la salida desde el anillo debe hacerse desde el carril más exterior).
- La dimensión de los elementos no se ajusta a los movimientos reales de los vehículos. Como en el punto anterior, observando las rodadas de los vehículos, se pueden diferenciar amplias zonas de la glorieta que no son necesarias.

3.3 Propuesta de mejora

De forma general, en aquellos casos en los que se ha identificado una problemática similar a la del caso de estudio presentado, los investigadores han propuesto y analizado diferentes medidas con correcciones menores en el trazado y la señalización.

Price (2011) presenta varios casos en los que mediante ligeras correcciones de trazado se mejoran las condiciones frente al control de las velocidades y el guiado de los vehículos. Según la autora se deben evitar puntos angulosos en la delimitación de los bordes de calzada. A nivel normativo, cabe destacar la propuesta de la guía de diseño del estado de Queensland (Australia) (QDMR, 2006) para la mejora de la deflexión: ajuste de las dimensiones en las entradas de forma que se limiten las trayectorias de los vehículos más rápidos e imposición de curvas sucesivas de sentido contrario en las aproximaciones para favorecer una deceleración uniforme. Hu (2011) expone que, de acuerdo a las observaciones de campo, el 70% de los accidentes se producen en las entradas por lo que propone una serie de medidas para reducir la velocidad en las aproximaciones y mejorar la percepción de los carriles y la calzada giratoria. Estas se basan en la mejora de la señalización horizontal con marcas viales de selección de carriles, la señalización vertical y la implantación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta.

De manera particular para el caso de estudio, se realiza una corrección de la geometría de la aproximación en las dos entradas con problemas de velocidad. Además, se propone el ajuste de las dimensiones de la calzada anular y las patas para mejorar la canalización y el equilibrio de carriles. Se reforma la señalización horizontal y se aplican medidas complementarias de mejora de la señalización y el balizamiento como pueden ser bandas transversales de alerta, si se evalúa que no suponen afecciones sonoras a las viviendas del entorno. Para la definición de las marcas viales se sigue el criterio de la Guía de Nudos (MF, 2012) aunque es coherente con el actual Reglamento de Circulación.

En la siguiente imagen se muestra la geometría y las trayectorias más rápidas (en verde) en los accesos principales que puede establecerse siguiendo la metodología recogida en Rubio et. al 2019 y en Rubio (2017).

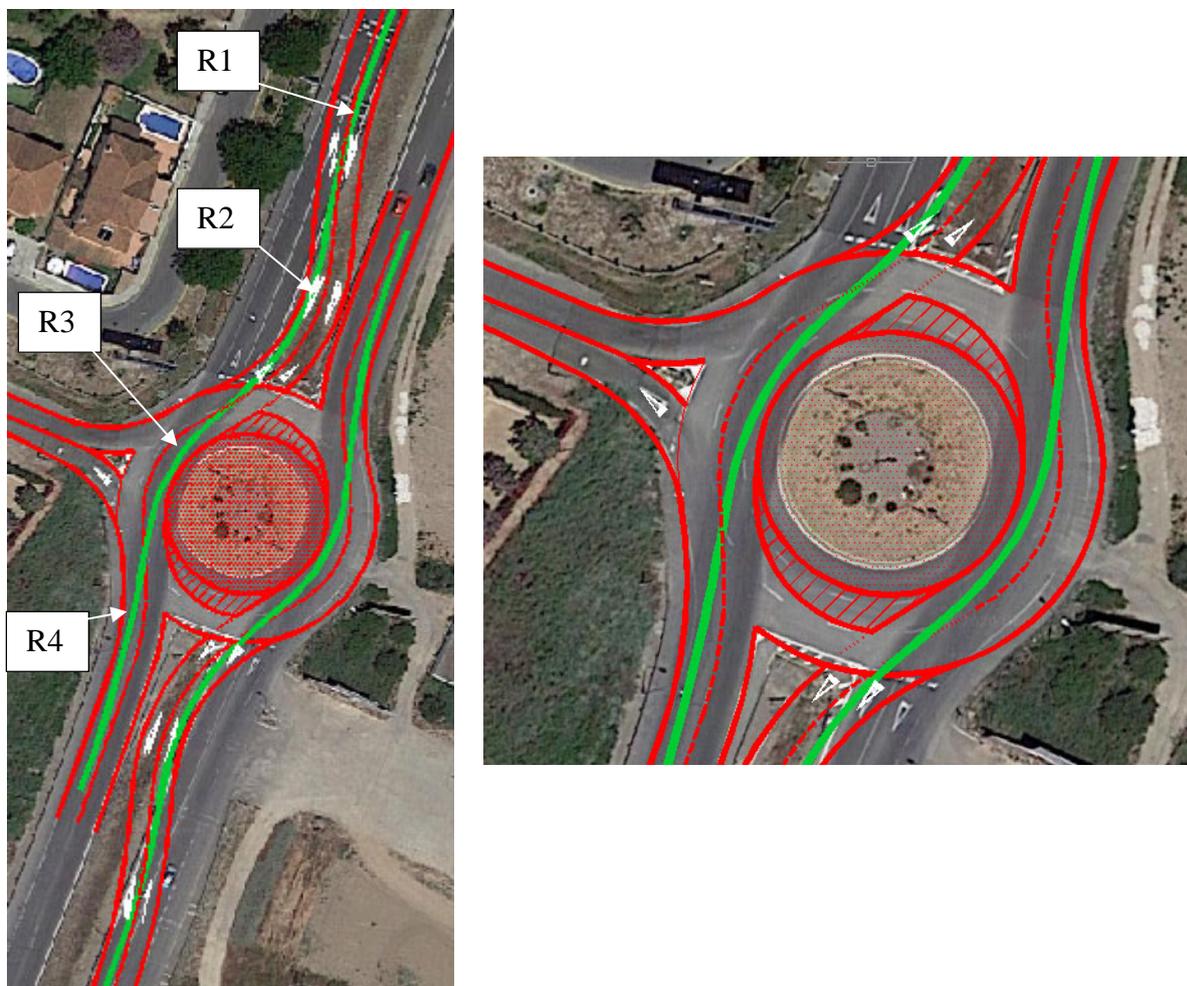


Fig. 5 Caso de estudio: glorieta multicarril con problemas de altas velocidades.
Fuente: Google Earth.

Como se observa, la mejora del trazado en las aproximaciones permite el curvado de las trayectorias más rápidas y el descenso de las velocidades lo cual favorece la consistencia y, en definitiva, la seguridad viaria. El criterio que se ha seguido supone realizar una reducción gradual de la velocidad en la aproximación y hasta el paso por la calzada anular donde posteriormente se inicia la maniobra de aceleración hacia la salida. El resultado se considera satisfactorio como se puede concluir de los valores obtenidos, similares en ambas patas, y que se presentan a continuación:

- El primer radio de la trayectoria (R1) está en el orden de los 140m, luego se puede asumir una V_{85} de 55 km/h.
- El segundo radio de la trayectoria (R2) está en el orden de los 55m, luego se puede asumir una V_{85} de 35 km/h.
- El tercer radio (R3), en la calzada anular, está en el orden de los 35m, luego se puede asumir una V_{85} de 30 km/h.
- El radio de salida (R4) está en el orden de los 180m, y las velocidades dependen de la capacidad de aceleración de los vehículos.

Por tanto, con esta configuración se favorece la moderación de las velocidades y su consistencia.

4.CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado el efecto sobre la circulación y la seguridad de la aplicación de mejoras de menor entidad en glorietas en servicio que presentan problemas de funcionamiento. Estas se han basado en el conocimiento y aplicación de los principios de diseño de glorietas y consisten fundamentalmente en la mejora del trazado y de la señalización y el balizamiento, de manera similar a como lo han propuesto otros investigadores.

El primer caso analizado se refiere a una glorieta multicarril implantada en medio urbano con problemas de capacidad. El conocimiento de los parámetros con mayor influencia en la operación de los tráficos ha permitido proponer una serie de ajustes en el diseño geométrico. Estos se han compatibilizado con el medio en el que se inserta la glorieta aprovechando los espacios anexos e interiores libres y minimizando de esta forma las afecciones. Los resultados del cálculo muestran una mejora significativa de los niveles de servicio y la sensibilidad del diseño al valor de la anchura de entrada, la longitud de abocinamiento y los carriles segregados de giro directo. Es conveniente en este caso y, en general, contrastar estos resultados con otros deducidos de un método de cálculo de capacidad diferente.

Por otra parte, los ajustes en la geometría permiten mejorar el guiado efectivo en las trayectorias naturales. La actuación se complementa con la mejora de la señalización y el balizamiento en coherencia con la nueva configuración que, en conjunto, proporcionan una mejor respuesta frente al condicionante de seguridad vial.

En el segundo caso se presentó una problemática diferente. La intersección de estudio es una glorieta multicarril situada en entorno interurbano con problemas de seguridad derivados de las altas velocidades de entrada en los accesos del eje principal. Como en el caso anterior, el conocimiento de los principios de diseño permitió enfocar la actuación que, en este caso, se basó en la modificación del trazado (curvado de las trayectorias) y la señalización (selección del carril en las entradas y la calzada anular). De manera adicional se modificó la sección transversal de la calzada giratoria proporcionando continuidad a los flujos y evitando afecciones en el exterior de la misma. Los resultados muestran que, en ambos accesos, se obtiene un perfil de velocidades similar en el que se observa una deceleración gradual hasta la llegada a la calzada anular. Así, el primer radio definido sitúa la velocidad para la trayectoria más rápida por debajo de 60 km/h y, para el segundo localizado de manera previa a la entrada a la calzada anular, por debajo de 40 km/h. En el perfil de velocidades original no existían restricciones (trayectoria más rápida casi rectilínea) más allá de la que prescribe la señalización vertical. El complemento mediante señalización y balizamiento permiten asimismo mejorar la percepción de la intersección y el guiado.

En definitiva, la aplicación de correcciones menores en el trazado y la señalización en glorietas con un impacto reducido en el entorno y en los costes se demuestra como una alternativa viable para la solución de determinadas problemáticas de funcionalidad y seguridad viaria.

BIBLIOGRAFÍA

GALLELLI, V. y VAIANA, R. (2019). Safety Improvements by Converting a Standard Roundabout with Unbalanced Flow Distribution into an Egg Turbo Roundabout: Simulation Approach to a Case Study. *Sustainability*, 11(2):466.

HU, W. (2011). Study of Crash Patterns and Related Factors at Kansas and Washington Roundabouts. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Carmel, Indiana, EEUU.

KIMBER, R. (1980). The traffic capacity of Roundabouts. Report LR 942. TRL Laboratory. Crowthorne, London. England.

McCULLOCH, H. (2011). Entry Path Overlap – What is it and how to Fix it. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Carmel, Indiana, EEUU.

MINISTERIO DE FOMENTO (MF) (2012). Guía de Nudos Viarios. Dirección General de Carreteras, Madrid, España.

MINISTERIO DE FOMENTO (MF) (2014). Norma 8.1.I.C. Dirección General de Carreteras, Madrid, España.

MINISTERIO DE FOMENTO (MF) (2016). Norma 3.1.I.C. Dirección General de Carreteras, Madrid, España.

POCHOWSKI, A. (2017). NCHRP Synthesis Report 488: Roundabout Practices. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Green Bay, Wisconsin, EEUU.

PRICE, P. (2011). Preventing path overlap by design: Evaluating two differing techniques. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Carmel, Indiana, EEUU.

QUEENSLAND DEPARTMENT OF MAIN ROADS (QDMR) (2006). Roundabouts. Chapter 14 of the Road Planning and Design Manual. Brisbane, Australia.

RUBIO-MARTÍN, J.L (2017). Tesis Doctoral “Optimización del diseño geométrico de glorietas mediante algoritmos genéticos”. E.T.S de ICCP, Universidad Politécnica de Madrid.

RUBIO-MARTÍN, J.L, JURADO-PIÑA, R. Y PARDILLO-MAYORA, J.M. (2019). Automated Identification of Fastest Vehicle Paths at Roundabouts. Journal of Transportation Engineering (ASCE), Part A: Systems. Vol 145 Issue 9.