

**Recomendaciones
para el diseño de Glorietas en
carreteras suburbanas**

COLEGIO INGENIEROS ESCRIBANOS
BIBLIOTECA

| | |
|---|----|
| Presentación | 7 |
| 1. La prioridad a la circulación en el anillo. Cambio decisivo en el funcionamiento de las glorietas | 7 |
| 2. Las glorietas en la región metropolitana de Madrid | 8 |
| 3. Los riesgos de una sobreutilización de las glorietas | 10 |
| 4. Un campo nuevo en la investigación. Las miniglorietas | 12 |
| 5. Aprender de las experiencias y de la realidad. Una indispensable línea de actuación | 14 |
| 1. Introducción | 17 |
| 1.1. Generalidades | 17 |
| 1.2. Concepto y clases de intersecciones giratorias | 19 |
| 1.3. Definición de las intersecciones giratorias objeto de estas recomendaciones | 25 |
| 1.4. Utilidad de las intersecciones giratorias o glorietas | 26 |
| 2. Criterios generales para implantación de glorietas | 35 |
| 2.1. Medio en el que se emplazan | 35 |
| 2.2. Número y tipo de vías | 36 |
| 2.3. Condiciones del tráfico | 36 |
| 2.4. Condiciones topográficas | 39 |
| 3. Cálculo de la capacidad en glorietas | 43 |
| 3.1. Concepto de capacidad en glorietas | 43 |
| 3.2. Métodos de cálculo de la capacidad de una entrada | 44 |
| 3.2.1. Los métodos empíricos | 44 |
| 3.2.1.1. El método del TRRL | 45 |
| 3.2.1.2. El método del CETUR-86 | 47 |
| 3.2.2. Los métodos probabilísticos | 50 |
| 3.2.3. Cálculo de esperas y longitud de colas | 51 |
| 3.2.4. Programas de ordenador | 51 |
| 3.3. Mediciones de la capacidad en glorietas madrileñas | 54 |
| 3.4. Recomendaciones sobre capacidad | 55 |
| 4. Recomendaciones geométricas | 59 |
| 4.1. Consideraciones de método | 59 |
| 4.2. Percepción y visibilidad en glorietas | 60 |
| 4.3. Islote central | 64 |
| 4.4. Calzada anular o anillo | 66 |
| 4.4.1. Anchura | 66 |
| 4.4.2. Peralte | 67 |
| 4.4.3. Perfil longitudinal | 70 |
| 4.5. Ramales de entrada y salida a la glorieta | 70 |
| 4.5.1. Número y disposición de los ramales | 70 |
| 4.5.2. Dirección del eje de los ramales | 72 |
| 4.5.3. Geometría de las entradas | 72 |
| 4.5.4. Geometría de las salidas | 77 |
| 4.6. Vías directas de giro a la derecha | 79 |

| | |
|--|------------|
| 5. Recomendaciones sobre acondicionamiento | 83 |
| 5.1. Tratamiento del tráfico peatonal | 83 |
| 5.2. Tratamiento del tráfico de vehículos «dos ruedas» | 85 |
| 5.3. Señalización | 89 |
| 5.3.1. Señalización vertical | 89 |
| 5.3.2. Señalización horizontal | 92 |
| 5.4. Paisajismo y acondicionamiento | 94 |
| 5.5. Recomendaciones sobre iluminación de glorietas | 98 |
| 6. Miniglorietas | 103 |
| 6.1. Concepto de miniglorieta | 103 |
| 6.2. Ventajas de las miniglorietas | 104 |
| 6.3. Condiciones de implantación | 105 |
| 6.4. Diseño y acondicionamiento | 106 |
| 7. Documentación de los proyectos de glorietas | 111 |
| 8. Referencias bibliográficas | 113 |
| Anexos | |
| 1. Inventario de glorietas de la Comunidad de Madrid | 127 |
| 2. Mediciones de capacidad en glorietas españolas | 163 |

Presentación

Las plazas circulares y las glorietas son formas urbanas clásicas, con amplia tradición en la ordenación física de las ciudades y del territorio. Los trazados viarios de los crecimientos neoclásicos, de los ensanches decimonónicos y de los bulevares surgidos de la renovación urbana o de los vacíos dejados por la desaparición de las antiguas murallas tienen en las rotondas y en las plazas circulares una de las soluciones habituales de sus encuentros viarios principales y de las nuevas «puertas» de la ciudad.

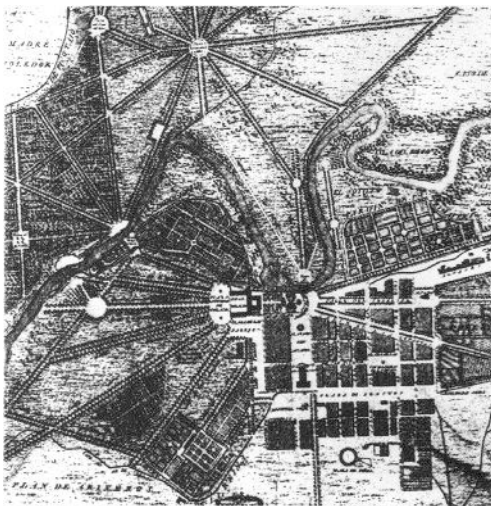
Pero también los trazados más emblemáticos de los nuevos barrios suburbanos del presente siglo, las ordenaciones de las ciudades jardín y de las nuevas ciudades utilizan profusamente en sus composiciones las formas circulares para definir sus puntos singulares, señalar sus principales ejes e identificar los diversos fragmentos de la ciudad. En todos estos casos, la elección de las plazas circulares se basa en su potencial paisajístico y compositivo, obviando en gran medida su utilidad funcional, reguladora de tráfico.

1. La prioridad a la circulación en el anillo.

Cambio decisivo en el funcionamiento de las glorietas

Este «protagonismo formal» de la glorieta solo se ha visto acompañado recientemente de su valoración como ordenación física que influye favorablemente en el funcionamiento del sistema viario, de la vialidad donde se inserta, tanto en los espacios urbanos y suburbanos como rurales.

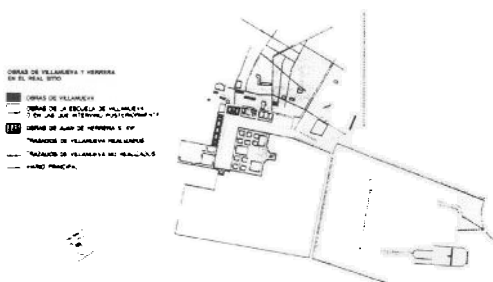
La causa principal de la actualidad de los rotatorios ha sido la adopción general de la prioridad a la circulación en el anillo. Primero en Gran Bretaña, hace ya casi treinta años, (1966) y con posterioridad en los restantes países hasta su reciente inclusión en la ley española de circulación (1990). La nueva regulación de los tráfico en las glorietas ha permitido una considerable reducción del espacio necesario para su construcción y por tanto una inserción más sencilla en el territorio y sobre todo en las ciudades. Estas menores dimensiones de los giratorios se deben a que con el nuevo régimen de prioridad a la circulación anular, la longitud de trenzado en el anillo no es ya el factor decisivo de diseño puesto que las colas se generan mayoritariamente en las entradas y no en el interior de la glorieta. Los nuevos giratorios han tenido efectos directos muy positivos en el comportamiento de la circulación y de los usuarios



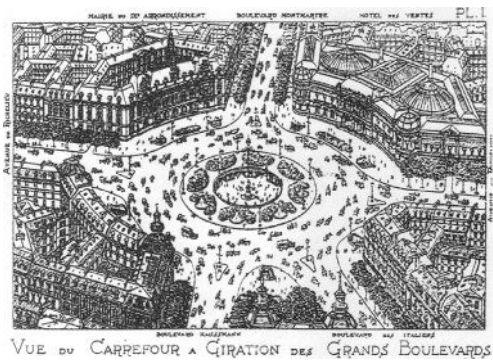
Las plazas circulares en los trazados dieciochescos. Plano de Domingo Aguirre de Aranjuez, 1775

de la ruta. En síntesis dos son las razones principales que explican la actualidad de las glorietas. Por una parte, facilitan la articulación de las distintas categorías de redes permitiendo la conexión entre vías primarias y secundarias, y entre éstas últimas y las locales. A través de las glorietas se consigue pues que la carretera cumpla uno de sus fines; dotar de acceso a las áreas colindantes.

Por otra parte contribuyen sobremanera a mejorar las condiciones de circulación desde la perspectiva de seguridad vial. Fundamentalmente porque constituyen un elemento físico que «impone» una moderación de la velocidad en las vías afluentes a la rotonda. Pero también porque ordenan eficazmente los giros en las intersecciones al establecer unas claras prioridades de las circulaciones. Por esta misma razón, los rotatorios facilitan una mayor fluidez de la circulación, evitando retenciones, en determinadas condiciones de intensidades de tráfico. La totalidad de las estadísticas recientes referidas tanto a Madrid como a otras regiones europeas, confirman que las glorietas poseen un índice de seguridad muy superior al de las restantes tipologías de intersecciones viarias.



Los trazados barrocos en tridente de Juan de Villanueva en El Escorial



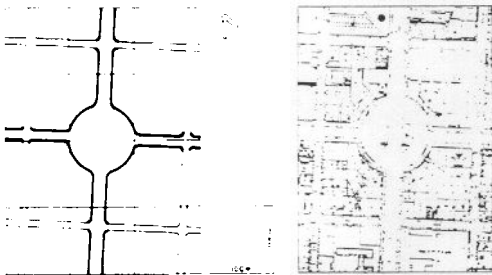
E. Henard. Estudio sobre las transformaciones de París. 1906.



Las plazas circulares en «las puertas de la ciudad» La Puerta de Alcalá de Madrid.

2. Las glorietas en la región metropolitana de Madrid

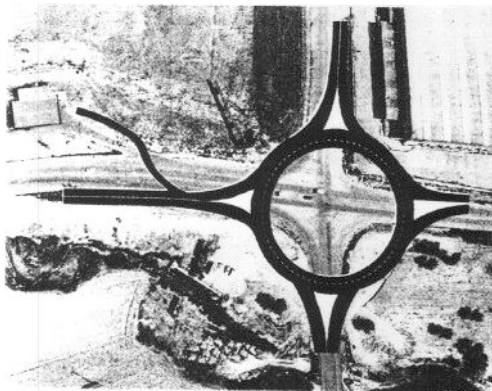
La experiencia madrileña en estos últimos años ha mostrado la utilidad de las glorietas en ambos aspectos. Primero como forma sistemática de resolver las intersecciones en las redes estructurantes de la Región, en particular, en las áreas suburbanas. Carreteras como la ronda sur Aravaca-Pozuelo, la M-100 en el norte metropolitano o las variantes-rondas de Alcalá de Henares y Alcobendas son sólo algunos ejemplos de vías que canalizan altas intensidades de tráfico (en algún caso rondando los 40.000 vehículos diarios en la vía principal), cuyos cruces están resueltos mediante rotondas. En todas ellas el espaciamiento entre cruces es un factor decisivo de diseño. Porque de esta medida depende la capacidad del «itinerario principal» siendo la glorieta o mejor dicho el acceso a la glorieta, el punto crítico. En este sentido en vías suburbanas no es aconsejable situar glorietas a distancias inferiores a 500 mts. ni superiores a 1.000 mts. Los esquemas proyectados recogen asimismo experiencias extranjeras, como por ejemplo, la última nueva ciudad británica, Milton Keynes, cuya malla principal es una retícula de 800 - 1000 mts. de lado estando sus cruces resueltos mediante rotondas.



Las plazas circulares en el ensanche madrileño.
La plaza del Marqués de Salamanca.



Tratamientos de intersecciones en la carretera
M-100



Remodelación del cruce de las carreteras M-100 y
M-103

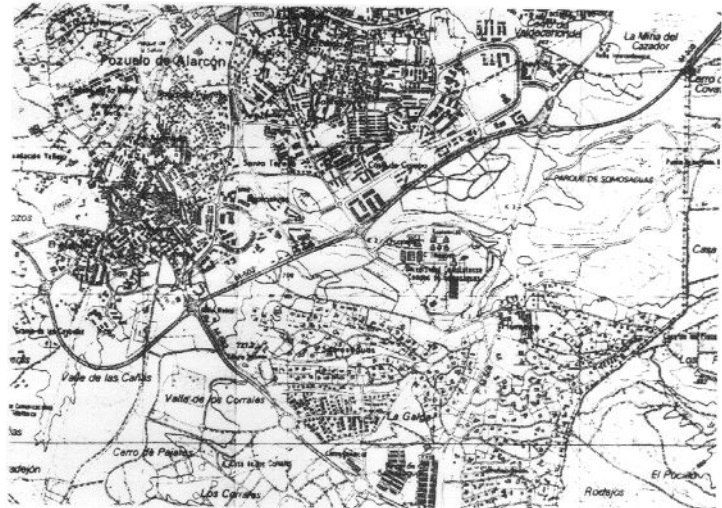
La aplicación sistemática de las glorietas en esta clase de redes ha significado también un importante cambio en relación a algunos principios, en cierto modo inalterables, de alguna ingeniería de tráfico. Porque las glorietas provocan un «parón», un freno a la corriente principal de circulación afectando a su velocidad y recorrido. Fundamentalmente para favorecer la conexión con las áreas colindantes. Es decir el uso de las glorietas facilita una mayor relación de la carretera con su entorno «aceptándose» la importancia de los tráficos secundarios, en definitiva de la capacidad de conexión del sistema viario. Ciertamente es susceptible de matizaciones, en particular si nos referimos a las redes principales, arteriales de una gran ciudad, donde seguramente son preferidos los enlaces a intersecciones planas. En estas situaciones es preciso examinar cuál es el tiempo de retención generado en un itinerario de cierta longitud y compararlo con las ventajas e inconvenientes de las otras soluciones existentes (enlaces).

En lo que respecta al segundo aspecto, la seguridad vial, hay que señalar el excelente comportamiento de las glorietas en este sentido. En Madrid, la totalidad de los puntos negros o peligrosos localizados en intersecciones que se han remodelado convirtiéndolos en glorietas han mejorado espectacularmente sus condiciones de seguridad. Los únicos problemas que se han presentado tras la remodelación han tenido lugar durante los primeros meses de funcionamiento de las nuevas glorietas. Problemas que en algunos casos han ido acompañados de algunos accidentes graves, debidos generalmente a una invasión de la isleta central por vehículos entrantes a la glorietta. Esta situación debida a un exceso de velocidad y, por tanto a una pérdida del control de vehículo, se ha producido sobre todo en itinerarios donde existe un elevado número de vehículos habituales de la carretera que pueden haber sido «sorprendidos» por la nueva ordenación de los cruces.

Esta circunstancia indica la importancia que hay que conceder a la señalización durante y tras la remodelación de los nuevos cruces. Una señalización adecuada influye directamente, cada vez más, en las condiciones de seguridad de la carretera.

En Madrid, el comportamiento de las glorietas en el campo de la seguridad vial, es excelente. Intersecciones localizadas en áreas urbanas (Getafe, Galapagar, Alcorcón, etc...), suburbanas (Boadilla, El

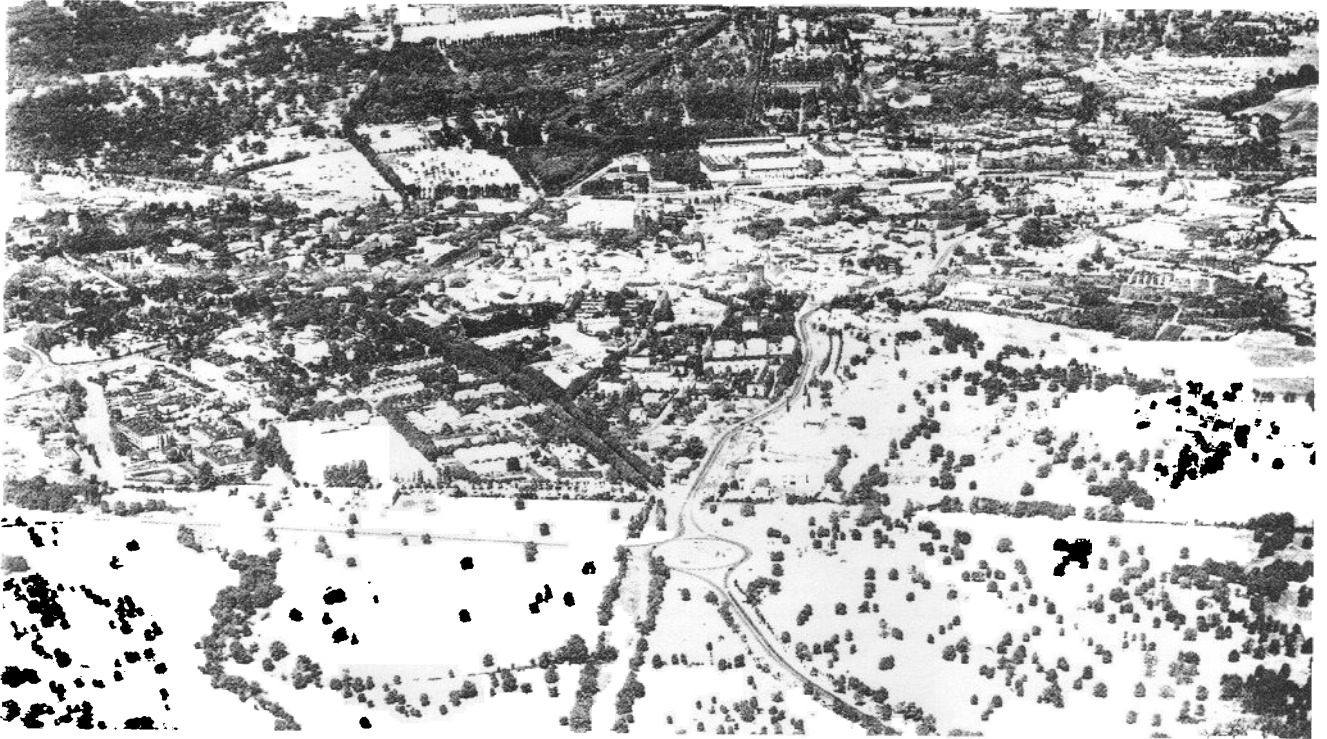
La red de carreteras del oeste metropolitano. Las glorietas son el encuentro de las distintas clases de vías.



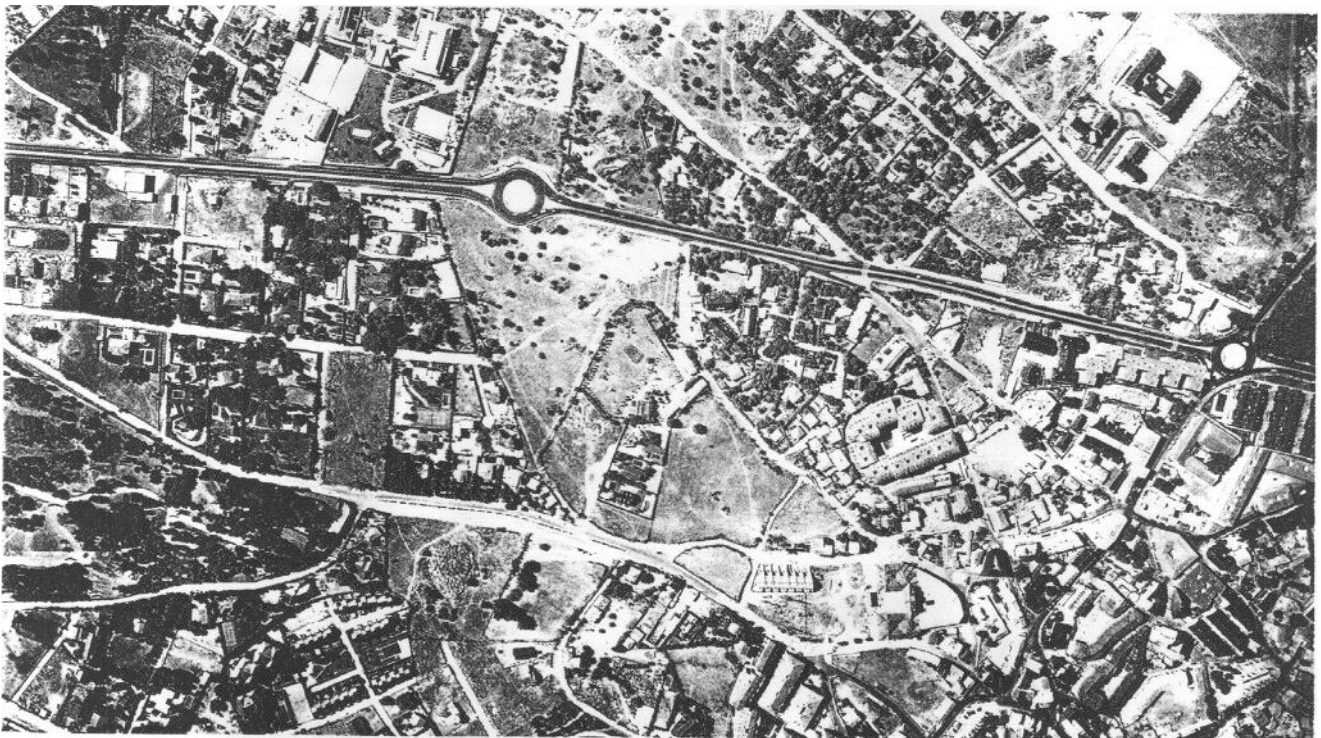
Escorial, Algete, etc...) o rurales (Arganda, Guadalix, Cruz Verde, etc.) han mejorado sensiblemente su funcionamiento al convertirse en giratorias.

3. Los riesgos de una sobreutilización de las glorietas

La experiencia madrileña arroja también conclusiones sobre algunos aspectos negativos de la utilización de las glorietas. En primer lugar, existe actualmente un riesgo al uso y abuso de las mismas como solución casi «universal» y única. Pues si en un principio se asistió a una generalizada reticencia a su aplicación, ahora el problema puede radicar en su excesiva utilización. Esta situación no es conveniente ni desde la perspectiva de la fluidez de la circulación, ni desde la de la eficacia del sistema viario. La idea de rotonda va unida a la moderación de la velocidad en el flujo principal y por ello deben seleccionarse con criterio los lugares donde situarlas. En las rotondas se unen las distintas clases de vías. Es allí donde se materializa el orden y la jerarquía de la vialidad. Por tanto, el espaciamiento adecuado, en función de cuáles carreteras, de qué jerarquías viarias se conecten, de los condicionantes del entorno, influirá de manera muy directa en la organización de las redes. En el punto donde se ubica la rotonda se materializa la permeabilidad del sistema viario, su conectividad. Desde esta perspectiva, pues, no siempre deben proyectarse glorietas en los cruces viarios. Existen



Ronda de El Escorial



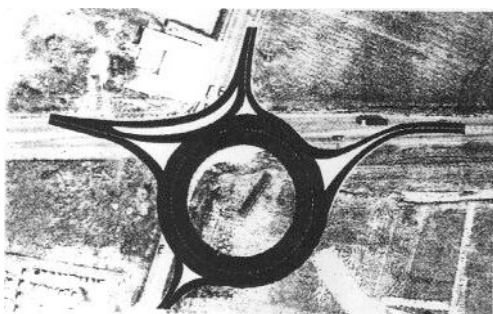
Travesía de Galapagar (M-505)

otras soluciones técnicas que no deben despreciarse (prohibición de giros a la izquierda, carriles centrales, etc...) y que en ocasiones resultan más adecuadas.

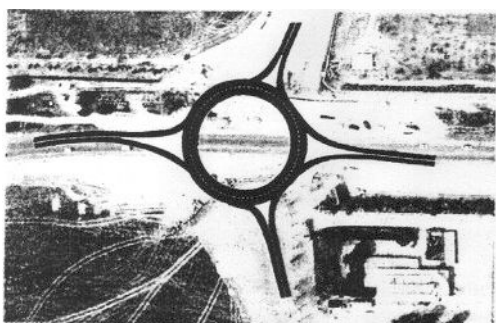
A las glorietas se les ha criticado en ocasiones su monotonía e impersonalidad. Ambos factores son un cierto riesgo con vistas a la orientación y legibilidad de la red de carreteras. Pero pueden corregirse mediante un adecuado tratamiento de su islote central singularizando cada lugar y colaborando a identificar las distintas partes de un territorio. En este sentido los riesgos de una presencia excesiva de glorietas en una red de carreteras pueden evitarse mediante la creación de hitos singulares, de puntos de identificación en alguna de ellas. Esta ordenación específica del islote se ha realizado o se va a realizar en diversas glorietas de la región (ronda Sur Aravaca-Pozuelo, El Escorial, Galapagar, Getafe, etc...)

4. Un campo nuevo en la investigación. Las miniglorietas

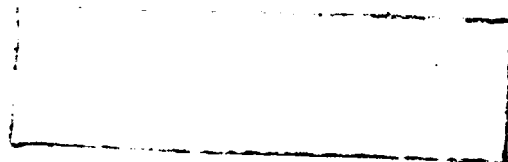
Hay un aspecto de especial interés para las aplicaciones futuras que se trata someramente en este documento. Es el referido a las dimensiones de la glorieta. Es habitual opinar, incluso entre profesionales, que una «buena» glorieta es aquella que posee unas dimensiones generosas. En otras palabras que para que funcione bien una rotonda debe ser grande. Sin embargo, el cambio de la prioridad en la glorieta modificó muchos postulados clásicos sobre su geometría y dimensiones. Quizá el más significativo sea el referido a su tamaño. Es interesante observar en este sentido, y seguir con atención las ordenaciones que con glorietas de diámetro exterior reducido (inferior a 25 m.) e isleta central pisable, se están realizando en países europeos (Suiza, Francia, Alemania, Gran Bretaña, etc...). Sobre esta cuestión, la experiencia madrileña es prácticamente inexistente, si bien puede encontrarse algún ejemplo (M-510 en Galapagar). Las miniglorietas tienen unas singularidades específicas y requieren un especial cuidado en su aplicación, sobre todo en carreteras que no sean urbanas ni locales. Pero debido a su reducida dimensión poseen un campo muy amplio de aplicación. Es pues conveniente proseguir la investigación en este campo particular de miniglorietas en especial por su utilidad en vías locales y sobre todo en tramos urbanos.



Remodelación del cruce de las carreteras M-100 y M-111.



Tratamiento de intersecciones en la M-100



La M-502 en el oeste suburbano, las glorietas son los puntos de unión con las vías urbanas facilitando el acceso de las actividades actuales y futuras. El suelo vacante albergará el parque terciario de Arroyo Meaques



Cruce de las carreteras M-502 y M-503 en zonas residenciales de media densidad en el oeste suburbano



Alcalá de Henares. Variante de la M-300

**5. Aprender de las experiencias y de la realidad.
Una indispensable línea de actuación**

Por último quisiera referirme al tipo de estudio que aquí se presenta y a la línea de trabajo en que se inserta. La eficacia de toda intervención pública debe medirse por su capacidad de resolver los problemas existentes y de anticiparse a los venideros. En una sociedad como la actual, cambiante en todas sus manifestaciones ya sean sociales o económicas, la necesidad de un planeamiento continuo y de un análisis permanente de los efectos directos e indirectos de las diversas actuaciones es una premisa indispensable para hacer más eficaz la intervención pública y contribuir a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

En el campo concreto de la carretera, la realización de un seguimiento continuo de los problemas principales que le afectan y la consiguiente búsqueda de mejores soluciones técnicas es una tarea aún insuficientemente desarrollada en nuestro país, especialmente si nos referimos al ámbito de la denominada explotación. El presente documento se sitúa en esta línea de trabajo y tiene por principal objetivo actualizar, las «*Recomendaciones para el diseño de Glorietas en carreteras suburbanas*» editadas hace cinco años ya por la propia Comunidad de Madrid.

En este tiempo se han construido en Madrid más de ochenta glorietas. En algunas de ellas se ha llevado a cabo un estudio individualizado de su funcionamiento con el fin de conocer cuáles elementos físicos influyen más directamente en la eficacia de los rotatorios tanto desde el punto de vista funcional como de la seguridad vial.

Los resultados de esta investigación se recogen en este documento cuya publicación confiamos en que contribuya a enriquecer el debate técnico existente sobre diversos aspectos relacionados con las carreteras y a facilitar las resoluciones de algunos problemas principales que afectan al sistema viario español.

Madrid, Octubre de 1994

Agustín Herrero López

DIRECTOR GENERAL DE CARRETERAS



Autovía Alcorcón-Leganés-Getafe, tras el cruce con la autovía de Toledo

I. Introducción

I.1. Generalidades

El diseño adecuado de las intersecciones constituye una de las garantías principales para un buen funcionamiento del sistema viario, ya que éstas condicionan la capacidad global del mismo, concentran los mayores índices de accidentalidad y repercuten, a veces notablemente, en el costo del conjunto.

Tradicionalmente, en España, se ha optado por el tipo de diseño en «cruz o T», canalizada o no, para la resolución de intersecciones entre carreteras de bajo nivel de tráfico y por la construcción de «enlaces» en los cruces de las grandes carreteras, autovías y, naturalmente, autopistas.

En cuanto al nivel urbano, las intersecciones, siempre más complejas, han sido tratadas mayoritariamente mediante control semafórico, incluso, aquellas de funcionamiento giratorio.

El tipo de intersección giratoria sin semaforizar o glorieta ha sido prácticamente ignorado en España hasta hace escasos años, en que la experiencia de numerosos países fué demostrando su eficacia para resolver determinados tipos de intersecciones.

De hecho, la popularización en Europa, y en algunos países de fuera de Europa, de las glorietas es fruto de los buenos resultados obtenidos en Gran Bretaña, tras la aplicación de la regla de la prioridad a la circulación anular en las intersecciones giratorias.

Hasta entonces, Noviembre de 1966¹, las intersecciones giratorias inglesas funcionaban según la regla general, implícita en toda intersección, de prioridad a la izquierda (a la derecha en la circulación continental). Para el cálculo de capacidad, se asimilaba la calzada anular a tramos de trenzado, lo que exigía grandes diámetros si se deseaba llegar a grandes capacidades, haciéndolas inadecuadas para zonas con escasez de suelo libre. Con el sistema de prioridad a los vehículos entrantes, en períodos de alta intensidades de tráfico podía llegarse al bloqueo total de la circulación en la glorieta.²

A partir de 1970, la utilización de las glorietas en intersecciones de distinto tipo se extiende y generaliza a numerosos países, como Holanda, Francia, Dinamarca, Suecia, Noruega, Australia, Nueva Zelanda, etc., incorporándose como una tipología más al repertorio de intersecciones de la cultura viaria internacional.³

¹ Hasta 1966, el tráfico anular cedía el paso a las entradas en las intersecciones giratorias, en Gran Bretaña. El cambio en el sistema de prioridad fué, fundamentalmente, consecuencia de los problemas de bloqueo (debido a la regla de prioridad, los automóviles seguían entrando en la intersección aunque esta estuviera congestionada, llegando a colapsarse, que habían empezado a aparecer en las glorietas más congestionadas. Dicho cambio permitió resolver el problema de bloqueo y puso una nueva orientación en el diseño de glorietas. En Francia el cambio en el sistema de prioridad en las glorietas se realizó en 1933, Decreto de 6 de Septiembre, que modificaba el código de circulación, estableciendo, como en el caso inglés, la prioridad a la calzada circular. En España, la prioridad a la circulación en el anillo se estableció definitivamente, para aquellas intersecciones señalizadas como glorietas, en el Reglamento General de Circulación, aprobado por el Real Decreto 13/1992 de 17 de enero.

² En una primera etapa, el cálculo de la capacidad de las intersecciones giratorias se realizaba asimilando el funcionamiento de la calzada anular a una serie de tramos de trenzado. En consecuencia, la forma más evidente de aumentar su capacidad y evitar el bloqueo, consistía en aumentar la longitud del trenzado, lo que inevitablemente, llevaba a grandes diámetros de la intersección. Esta tendencia en el funcionamiento como trenzado tenía su base en que debido al sistema de prioridad, la forma de dar mayor fluidez a las entradas era hacerlas converger con la calzada anular en forma tangencial. Ello creaba la ilusión de una situación similar a las incorporaciones con trenzado. A partir del cambio en el sistema de prioridad se tiende a asimilar las glorietas a una serie de intersecciones en «T», lo que anula la importancia de la longitud de la calzada anular en la capacidad de la intersección y permite reducir notablemente el diámetro de las glorietas.

³ La procedencia y número de las referencias bibliográficas así parece demostrarlo. No obstante, entre los países productores de publicaciones sobre glorietas destacan sin duda: Gran Bretaña, a través del «Transport and Road Research Laboratory» (TRL); Francia, con el «Centre d'Études des Transports Urbains» (CETUR) y el Service d'Études Techniques des Routes et d'Autoroutes» (SETRA) y, en menor medida, Australia a través de la «National Association of Australian State Road Authorities» (NAASRA). También hay referencias importantes sobre las glorietas en los países nórdicos y centro-europeos occidentales, así como de Nueva Zelanda. Escasean, sin embargo, las referencias de otros países del Sur de Europa, a excepción de Francia, y de Estados Unidos, Canadá y Japón, aunque hay constancia de utilización en todos los países mencionados. La producción española hasta 1989 era muy escasa, limitándose a las aportaciones de Torres Llodrá, J.: *Intersecciones giratorias en Baleares*, y de Plaza, J.A.: *Oferta de capacidad en las rotondas*, ambas en «Jornadas de Estudio de Ingeniería de Tráfico», Asociación Española Permanente de los Congresos de Carreteras, Madrid, 1985 y a lo contenido en las Recomendaciones para el proyecto de intersecciones de la Dirección General de Carreteras, MOPU, 4ª edición de 1987. Casi simultáneamente a la publicación de la primera edición de estas «Recomendaciones», en 1989, el MOPU publicó también unas Recomendaciones sobre Glorietas. Posteriormente, se han publicado en España algunos artículos sobre el tema (HERRERO, 1990; LLAMAZARES, 1990; POZUETA, 1990).

En estas dos últimas décadas, se ha venido acumulando una importante experiencia sobre ellas, que hoy permite afirmar y demostrar su superioridad económica, de capacidad y de seguridad, frente a otros tipos de intersecciones, en determinadas condiciones de tráfico. En este contexto, la ausencia de una normativa o recomendaciones españolas en la materia y el hecho de que la gran mayoría de las carreteras de la Comunidad de Madrid discurran por medios periurbanos, medios donde las glorietas parecen de más probada eficacia, animaron a la entonces Dirección General de Transportes a la elaboración en 1989 de un documento que sirviera de guía para el proyecto y cálculo de las mismas, en el ámbito de su competencia, y de referencia para todos los proyectistas interesados en el tema.

La escasa experiencia de diseño y funcionamiento de glorietas existente en aquellas fechas en nuestro país⁴ impidió, sin embargo, la elaboración de un estudio basado en el análisis de su funcionamiento en las condiciones españolas y la proposición de fórmulas y criterios de diseño adaptados al comportamiento del conductor español.

Todo ello hizo que las recomendaciones editadas en 1989 se basaran, fundamentalmente, en la experiencia de otros países, analizada a través de una exhaustiva revisión bibliográfica, y no constituyeran una aportación original al tema.

En esta edición actualizada, se han tratado de incorporar las conclusiones de cuatro años de experiencia en proyecto, construcción y funcionamiento de glorietas en la Región de Madrid, destiladas de las observaciones y sugerencias de proyectistas y técnicos, así como de estudios concretos que, como el titulado «Análisis del funcionamiento de intersecciones giratorias: conclusiones de la observación de doce glorietas de la Comunidad de Madrid»⁵, editado simultáneamente a estas recomendaciones, han proporcionado datos cuantitativos y apreciaciones cualitativas que permiten contrastar la experiencia extranjera, en que se basaba la primera edición de estas recomendaciones.

Sin embargo, a pesar de estos avances, los datos y estudios de que se dispone sobre las glorietas madrileñas y, en general, españolas, resultan todavía hoy insuficientes para elaborar unas recomendaciones realmente adaptadas a los conductores y carreteras españoles, por lo que en esta reedición sigue primando l

⁴ Hasta 1989, la experiencia española más importante sobre glorietas era, probablemente, la acumulada en Mallorca, donde, tras varias decenas construidas y más de una década de uso, nadie parece dudar de su eficacia (TORRES, 1985). En los últimos años, tanto el Ministerio, como diversas Comunidades Autónomas, en las carreteras de su competencia, han construido y tienen en proyecto numerosas glorietas, por lo que la acumulación de realizaciones empieza a ser importante. De hecho, sólo en la Comunidad de Madrid y desde 1989, se han construido cerca de 80 glorietas, casi 20 se encuentran en construcción y más de 30 en proyecto o estudio.

⁵ En 1993, la Dirección General de Carreteras encargó un estudio sobre el funcionamiento de glorietas construidas en la Comunidad. Para dicho estudio se realizaron una serie de tomas cenitales de video, durante la hora punta, en 12 glorietas madrileñas, que han permitido estudiar el comportamiento de los conductores en diversas situaciones de circulación, medir capacidades en las entradas, etc. Los resultados de este estudio se han utilizado en la revisión de estas recomendaciones.

experiencia internacional sobre la madrileña, que constituye una referencia más entre la de otros países.

En cuanto al documento, su estructura es simple. Un primer capítulo introductorio trata de familiarizar al lector con las características de las intersecciones giratorias, sus tipos, sus ventajas, sus inconvenientes, etc.

Los capítulos 2 a 5 constituyen las verdaderas «recomendaciones», a las que se añade un nuevo capítulo, el 6, sobre miniglorietas, que se consideran de gran interés para ciertas situaciones. En el capítulo 7, por su parte, se recoge la documentación que debería acompañar a los proyectos de glorietas en la Comunidad de Madrid.

Finalmente, se incluyen tres anejos. En el primero, se presenta un inventario de glorietas, construidas o en proyecto, en las carreteras competencia de la Comunidad de Madrid. El segundo, recoge un estudio de capacidad realizado sobre la glorieta de Boadilla en 1989. Finalmente, el tercero agrupa la relación de las referencias bibliográficas utilizadas en esta reedición.

1.2. Concepto y clases de intersecciones giratorias

Aunque pueden elaborarse definiciones más precisas, en general, se entiende por intersección giratoria a toda intersección compuesta por una calzada circular, que discurre alrededor de una isleta central, a la que acceden diferentes vías.⁶

Sobre la base de este esquema general existen, sin embargo, múltiples variedades.

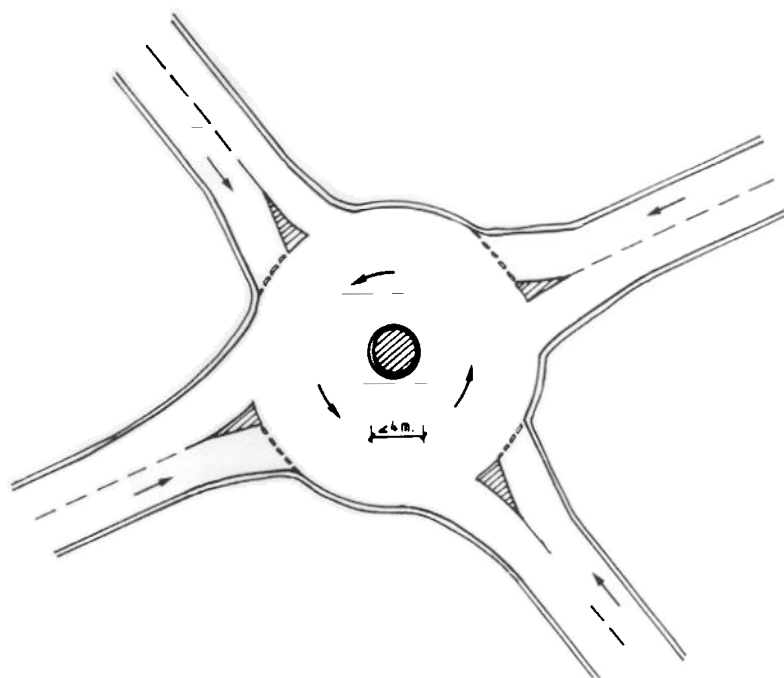
Una de las clasificaciones de mayor trascendencia para el estudio de las intersecciones giratorias es, como se ha visto, la que se realiza en función del sistema de prioridad para el que se diseñan. Ello da lugar a dos tipos fundamentales, las intersecciones giratorias con prioridad a la circulación anular y el resto, bien sean con prioridad a las entradas o con sistemas diferentes de prioridad.⁷

Con respecto a su forma y tamaño en planta, pueden distinguirse diversos tipos de intersecciones giratorias:

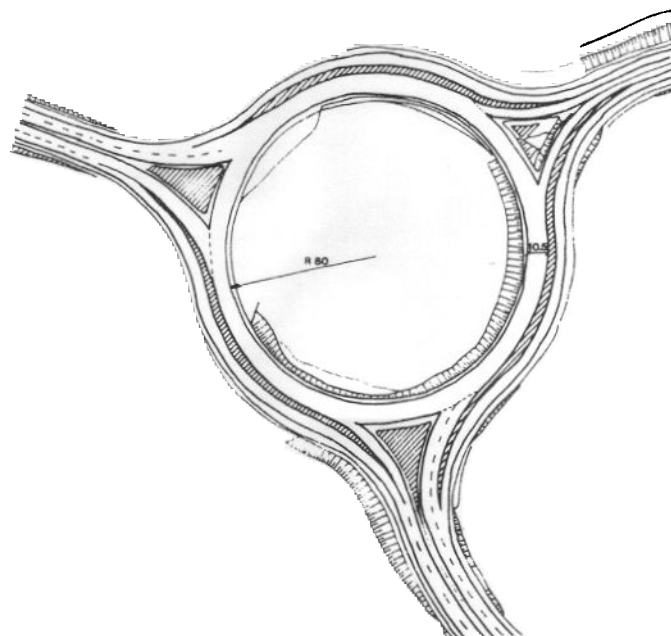
⁶ «Las intersecciones giratorias son las plazas e intersecciones que responden a las dos condiciones siguientes: Comportar un terrapién (islote) central, materialmente infranqueable, rodeado por una calzada de sentido único en la que desembocan diferentes vías y estar anunciado mediante una señalización específica», según establece un Decreto francés, de 6 de Septiembre de 1983 (CETUR, 1988). «Cualquier intersección más o menos circular de 3 o más vías, en la que el tráfico circula en el sentido contrario a las agujas del reloj alrededor de una isla central» (VAN MINEN, 1986).

⁷ Aunque hoy día predomina en todo el mundo el tipo de intersección giratoria con prioridad a la circulación anular, hasta hace pocos años, la mayoría de las glorietas funcionaban según la regla de prioridad a las entradas, lo cual tenía consecuencias geométricas importantes, que hicieron en muchos casos imposible su transformación al nuevo sistema de prioridad. A este tipo de glorietas, con prioridad a las entradas y que no se han reconvertido tras el cambio en el sistema de prioridad, se le denomina en la literatura especializada glorietas «convencionales». Este tipo de glorietas no sólo se mantienen en Inglaterra, sino que son corrientes, por ejemplo, en algunas regiones francesas, como l'Essonne (SLAMA, 1980). Glorietas con diferentes sistema de prioridad al del anillo, tanto con prioridad a las entradas, como con prioridades mixtas, incluidos «stop» internos, son habituales en algunas ciudades españolas, como Santander.

Miniglorietas



Gran intersección giratoria
(Rontegui, Bilbao, 80 m de radio)



Las denominadas **miniglorietas** o glorietas de pequeño diámetro⁸, a las que se dedica el capítulo sexto de estas recomendaciones, son frecuentes en áreas urbanas, en plazas de escasa superficie. Pueden proporcionar capacidades importantes de tráfico, pero exigen velocidades muy moderadas y presentan dificultades para la circulación de vehículos pesados, a no ser que cuenten con una calzada anular muy amplia.⁹

Las **grandes intersecciones giratorias** son, por el contrario, intersecciones con una isleta central de gran diámetro. Este tipo de intersecciones fueron de uso corriente en Gran Bretaña, hasta el cambio en el sistema de prioridad, y en otros países, como Australia, donde se utilizaron como modelo de intersección para el entronque de las grandes carreteras y autopistas con las redes urbanas, con diámetros entre 100 y 200 metros (HORMAN, 1983).

Las grandes intersecciones giratorias presentan el problema de inducir a altas velocidades de circulación, sin aumentar sustancialmente la capacidad y ocupando gran cantidad de suelo. Debido a ello, en la actualidad, su construcción es muy excepcional y suele responder a objetivos no meramente de tráfico.

Las **glorietas de tamaño medio**, o normales, definidas como un intermedio entre las dos anteriores, constituyen hoy día el tipo de intersección giratoria más empleado fuera de las áreas centrales urbanas.

Las denominadas **glorietas dobles** son un tipo de intersección giratoria formada por dos glorietas contiguas de forma que sus isletas de aproximación están unidas, en el tramo comprendido entre ellas, por bordillos o por tramos rectos de calzada.

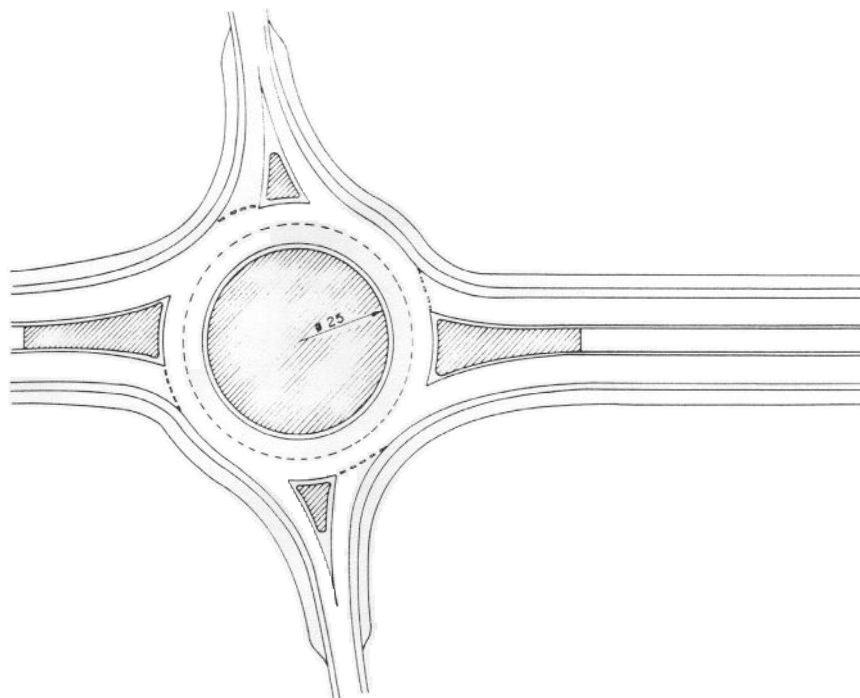
Este tipo de glorietas pueden ser de utilidad en determinadas condiciones geométricas (convergencia de vías en dos puntos próximos, unión de dos vías paralelas, etc).

Glorietas a distinto nivel, por su parte, son aquellas que se construyen directamente encima o debajo de una vía transversal. Son de utilidad para resolver las intersecciones de vías de circunvalación, sobre todo cuando éstas van en desmonte o elevadas, y en ellas deben cuidarse especialmente los cálculos de capacidad para evitar que la congestión de la glorieta se transmita a la vía principal o

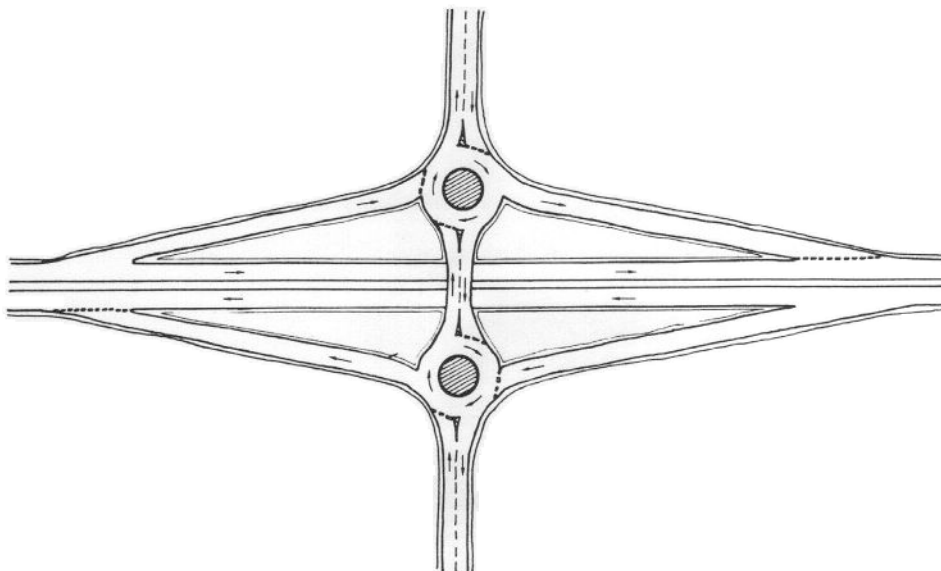
⁸ En Gran Bretaña, se consideran miniglorietas a aquellas en que la isleta central tiene de uno a cuatro metros de diámetro. (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B).

⁹ Para un diámetro de islote central de cuatro metros, los estudios ingleses exigen una anchura de calzada de doce metros, incluidos arcenes, para asegurar el giro de un vehículo-tipo articulado (CHRISTIE, 1981).

Glorieta normal



Glorieta doble desnivelada



autovía a la que sirve. También deben cuidarse las cuestiones de visibilidad. En España, y en concreto en la Comunidad de Madrid, hay actualmente en funcionamiento y en proyecto algunas glorietas a distinto nivel por su eficacia desde el punto de vista de tráfico y su superioridad formal o estética sobre otro tipo de soluciones en las intersecciones de las autovías con las calles urbanas.

Las **intersecciones anulares** son un tipo de intersección giratoria en las que existe una circulación doble, en los dos sentidos, a lo largo de la calzada anular y, generalmente, dispone de miniglorietas de tres ramales frente a las vías que confluyen en ella.

Este tipo de intersección giratoria exige complejos sistemas de prioridad, pero se ha mostrado eficaz para aumentar la capacidad de algunas glorietas modificando su estructura.¹⁰

Las **glorietas partidas**, las más corrientes en las carreteras españolas hasta hace unos años, no son propiamente intersecciones giratorias, puesto que en ellas gran parte del tráfico no circula por la calzada anular, sino que la atraviesa, y los vehículos que circulan por ella deben ceder paso a la corriente principal.

Finalmente otra posible clasificación de las intersecciones giratorias es entre semaforizadas y sin semaforizar.

Las **glorietas semaforizadas** no funcionan como intersecciones giratorias puras, a las que la propia geometría y el sistema de prioridad dota de un funcionamiento automático, y pierden por tanto las principales ventajas de este tipo de intersecciones.

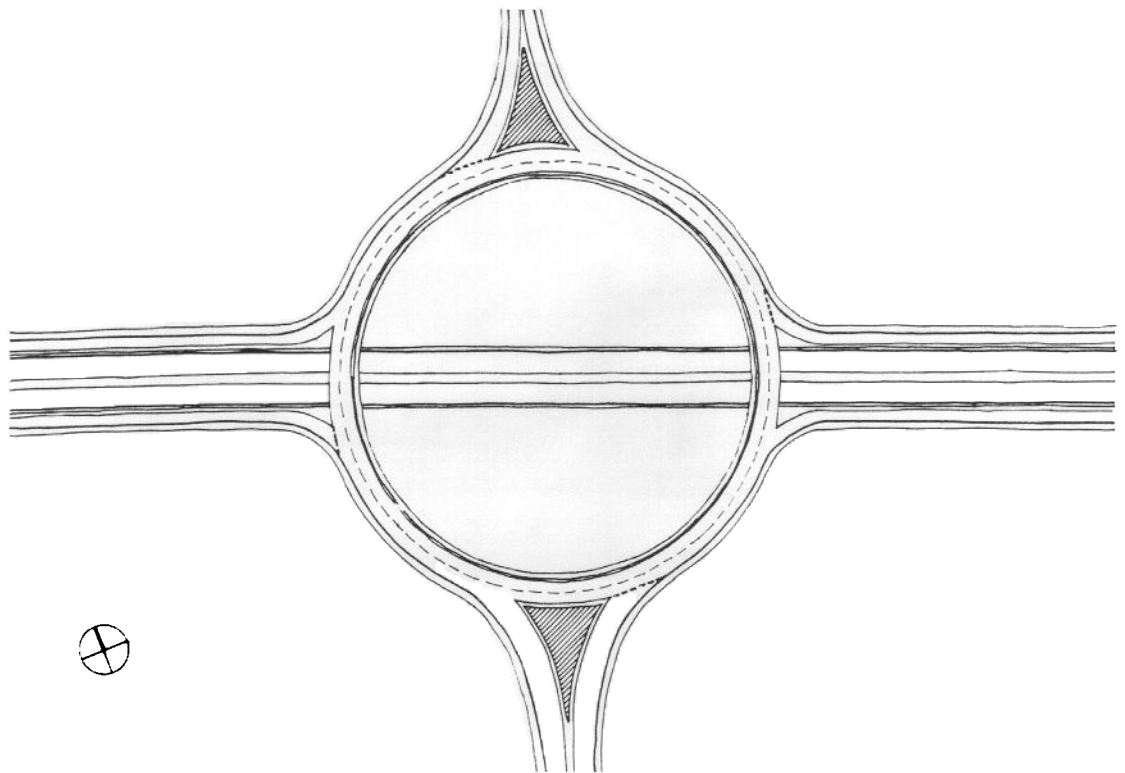
No obstante, la regulación semafórica puede ser interesante para solucionar problemas concretos de congestión en hora punta en glorietas normales. Ello puede mejorar el rendimiento en dichas horas puntas, volviendo posteriormente al funcionamiento automático sin regulación.¹¹

Hay que destacar, sin embargo, que el proyecto y diseño geométrico de intersecciones giratorias semaforizadas, se rigen por criterios muy diferentes a los utilizados en el proyecto de glorietas, en las que impera de forma permanente el régimen de prioridad a la circulación en el anillo, de manera que pueden considerarse como otra tipología de intersección.

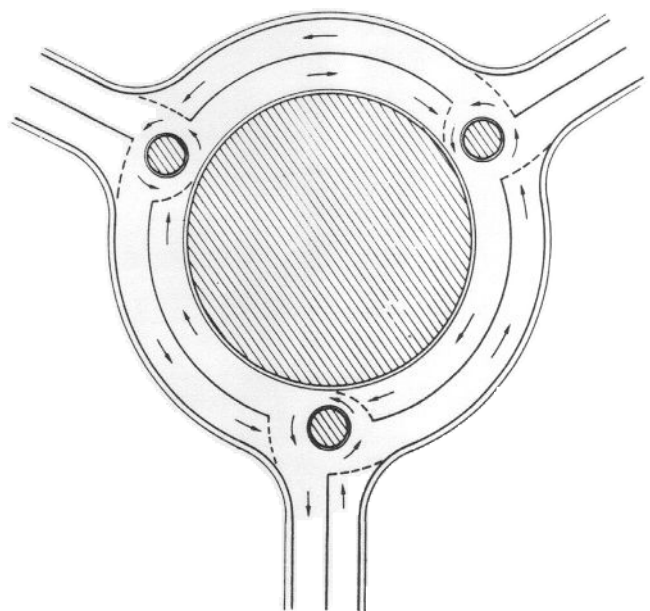
¹⁰ Sobre este tema, ver: MARLOW & BLACKMORE, 1973; SAWERS & BLACKMORE, 1973.

¹¹ La regulación semafórica en horas punta se ha utilizado con éxito en Gran Bretaña, en glorietas próximas a autovías y glorietas desniveladas, en las que las colas de espera llegaban a afectar a éstas y en momentos de gran descompensación en la distribución de los tráficos (tráfico pendular). Los aumentos de capacidad mediante semaforización en las experiencias aportadas eran del 30-40%. (SEMENS, 1982; SHAWALY, 1991)

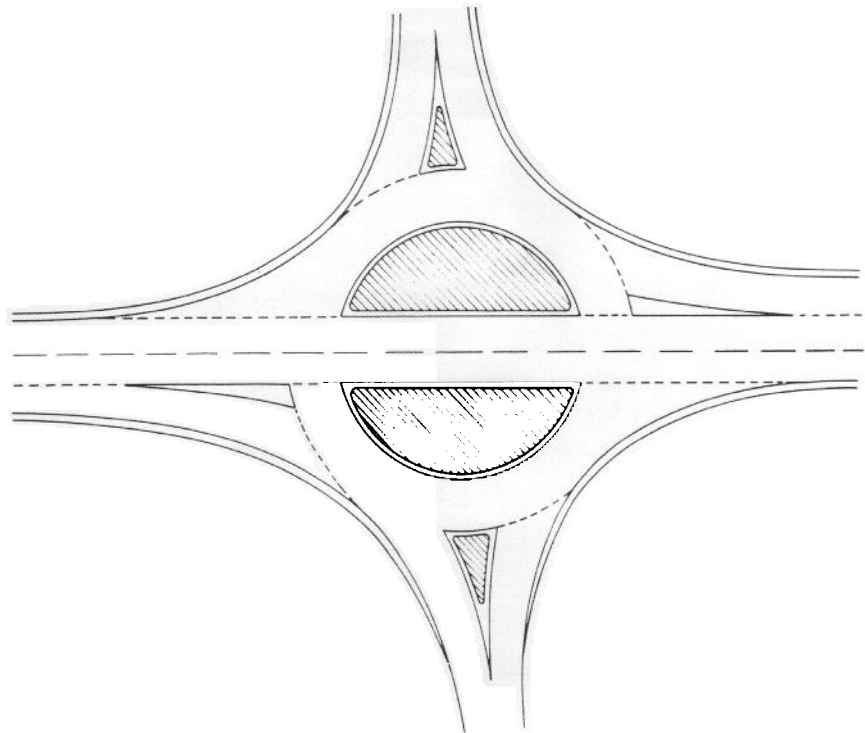
Glorieta desnivelada



Intersección anular



Glorieta partida



1.3. Definición de las intersecciones giratorias objeto de estas recomendaciones

De entre la amplia gama de intersecciones giratorias posibles, la de empleo más generalizado es la que se ha definido como glorieta de tamaño medio o normal. Es sobre este tipo de glorietas sobre el que recae la inmensa mayoría de las investigaciones y experimentos que realizan diversos países interesados en el tema y, por tanto, sobre la que existe un mayor conocimiento tanto empírico como teórico.

Por ello, estas recomendaciones se refieren específicamente a este tipo de glorietas que definiríamos como:

Intersecciones que se basan en la circulación de todos los vehículos por una calzada anular, en la que confluyen las diferentes vías, que discurre en torno a un islote central de diámetro mayor de 4 m. y que funcionan con prioridad a los vehículos de la calzada anular.

Aunque éste sea el tipo de glorieta objeto de estas normas y para el que se establecerán recomendaciones concretas, en todo momento tratará de aportarse aquella experiencia sobre otro tipo de glorietas que pudiera ser de interés para el lector.

En particular, por su interés para el entorno urbanizado por el que discurren buena parte de las carreteras de la Comunidad de Madrid, se ha incluido un apartado específico sobre **miniglorietas**, en el que se presenta una síntesis de la experiencia existente en la materia.

En cualquier caso, debe entenderse que, a partir de aquí, todas las observaciones y recomendaciones que se hagan sobre intersecciones giratorias o glorietas se refieren a las definidas más arriba, a no ser que se especifique otra cosa.

1.4. Utilidad de las intersecciones giratorias o glorietas

La generalización del uso de intersecciones giratorias o glorietas para resolver determinados tipos de intersecciones en numerosos países se debe fundamentalmente a sus ventajas frente a otro tipo de soluciones.

Conocer dichas ventajas, que derivan de la experiencia de su funcionamiento y se exponen en la mayoría de las publicaciones especializadas, además de constituir una forma de introducción al tema, resulta de gran interés ya que puede proporcionar al proyectista indicaciones y criterios que le ayuden a discernir los casos en que está más justificado su empleo o, por el contrario, los casos en que este puede resultar más problemático.

Tal vez, la principal ventaja de las glorietas es la variedad de objetivos para los que pueden ser de utilidad, es decir, el hecho de que las glorietas pueden ser ventajosas frente a otras soluciones, no sólo desde el punto de vista del tráfico, por ejemplo, sino desde perspectivas tan diferentes como la seguridad, los costos, el impacto ambiental, etc. Su competitividad reside, fundamentalmente, en las grandes prestaciones y posibilidades que permiten, dentro de un costo y una ocupación del suelo relativamente reducidos.

Tratamiento del tráfico

Para valorar las ventajas de las glorietas frente a otras intersecciones desde el punto de vista del tráfico, deben tenerse presentes sus prestaciones y, en primer lugar, el hecho de que se trata de un diseño que resuelve automáticamente todos los movimientos posibles en una intersección, incluidos los cambios de sentido en todas las vías y la rectificación de errores.

En segundo lugar, puede decirse que las glorietas permiten capacidades altas de tráfico sin regulación semafórica. Numerosas publicaciones de diversas procedencias y la experiencia concreta de la Comunidad de Madrid confirman la superioridad de las glorietas en capacidad frente al resto de las intersecciones a nivel, incluidas las semaforizadas.

Aunque, como se verá posteriormente, la definición y el cálculo de la capacidad en glorietas resulta compleja y una misma geometría puede dar lugar a distintas capacidades en función de la distribución de los tráficos, lo que dificulta las comparaciones, las glorietas han permitido solucionar en numerosas ocasiones los problemas de congestión y retrasos a que daban lugar las intersecciones a nivel existentes.¹²

Como referencia de los niveles de tráfico que pueden soportar algunas glorietas, las existentes en la Ronda Sur Aravaca-Pozuelo (M-503) de la Comunidad de Madrid tienen en la actualidad una IMD global (suma de todos los tráficos entrantes) en torno a los 30.000 vehículos y una de ellas, con dos carriles por entrada, supera en hora punta los 4.100 vehículos, mientras otra glorieta madrileña (situada en Villaviciosa de Odón, sobre la M-501) con un carril por sentido en cada acceso supera los 2.500 vehículos en hora punta. Por otra parte, existen referencias bibliográficas de otros países sobre glorietas con IMD superior a 35.000 vehículos, y más de 6.000 en hora punta.¹³

En tercer lugar, por su propio funcionamiento, y en comparación, por ejemplo, a las intersecciones semaforizadas, las glorietas tienen la ventaja de que reducen los tiempos de espera fuera de las horas punta. Ello resuelve el problema creado por la creciente tendencia a saltarse los semáforos, tendencia que se ha constatado en diversos países y que es fruto de la irritación que producen las esperas innecesarias cuando se abusa de la semaforización.

¹² Existe numerosa bibliografía extranjera sobre experiencias y conclusiones en este sentido, pero, tal vez sea más interesante informar que una de las más importantes glorietas construidas en Palma de Mallorca, la del «polígono-carretera de Sollen», se construyó en sustitución de una intersección semaforizada, que provocaba largas colas de espera. Estas desaparecieron con su puesta en funcionamiento en 1982 (dato obtenido de la Dirección Regional de Carreteras de Baleares). Por otra parte, en un estudio de Werner Brilon, de la Ruhr-Universität Bochum, Alemania, comparando sus rendimientos y costos, concluía que para una misma ocupación de superficie, y asegurando todos los movimientos, una glorieta es, como mínimo, tan eficiente como una intersección semaforizada y que, en sus aproximaciones, es incluso menos exigente en ocupación del suelo (BRILON, 1985). Estudios en Suecia y Suiza confirman, asimismo, la mayor capacidad de las glorietas frente a las intersecciones semaforizadas en casi todas las situaciones. (DAGERSTEN, 1992; HOEGLUND, 1991)

¹³ Los datos de Madrid se refieren a observaciones realizadas en 1993 (DE LA HOZ y POZUETA, 1995). Rontegui, una glorieta situada en las proximidades de Bilbao, tenía ya en 1989 una IMD de 27.000 vehículos. En cuanto a los datos de otros países, las grandes glorietas australianas soportaban tráficos superiores a los 35.000 vehículos/día a principios de los años 70 (HORMAN, 1983), mientras los experimentos ingleses conseguían capacidades horarias entre 6.200 y 6.600 vehículos con un diámetro de 35 metros (MARLOW & BLACKMORE, 1973).

En ese sentido y también por su propio funcionamiento, las glorietas se inscriben en la línea de las actuales tendencias «desreguladoras» en materia de tráfico, que pretenden dar mayores posibilidades al conductor para usar su propia iniciativa y así contribuir a formar un tipo de conductor más responsable y, a la larga, más respetuoso con las normas de la circulación¹⁴.

En cuarto lugar, las glorietas son un tipo de intersección especialmente adecuada como instrumento para la regulación del tráfico.

Concretamente, las glorietas resultan de gran utilidad para marcar la transición entre modos de tráfico, entre tipos de circulación, el interurbano y el urbano o periurbano, por ejemplo, ya que suponen una interrupción, con pérdida de prioridad, en el flujo laminar interurbano.

Son, por las mismas razones, también muy útiles cuando el objetivo es imponer un cierto control de la velocidad de circulación en una determinada vía¹⁵. La glorieta es «una forma quizás menos hostil de hacer reducir la velocidad» (VAN MINEN, 1986, 2).

La pérdida de prioridad y el ligero retraso que imponen a la circulación puede ser, por otra parte, utilizado para desanimar al tráfico de paso a través de ciertas áreas que desean preservarse del mismo, como las urbanizaciones residenciales, por ejemplo.¹⁶

En quinto lugar, las glorietas son el único tipo de intersección que resuelve satisfactoriamente un encuentro de más de 4 brazos.

En sexto lugar y frente a los enlaces, las glorietas permiten crear una mayor permeabilidad en la malla viaria de una zona, al no precisar distancias largas entre ellas, y lograr una buena soldadura con las redes secundarias.

Su capacidad para acomodar la velocidad de los vehículos al entorno urbano y estructurar la red viaria ha hecho que las glorietas se consideren como verdaderos «instrumentos de planificación urbanística» y no como simples elementos de regulación del tráfico. (DE ARAGAO, 1990)

¹⁴ Algunas encuestas y estudios realizados muestran claramente las preferencias de los usuarios por este tipo de intersecciones, sin esperas, frente a las semaforizadas (SETRA, 1983; VAN MINEN, 1986).

¹⁵ Sobre este tema, ver por ejemplo: RICHARDSON, 1982; JOERGENSEN, 1990; KLYNE, 1992.

¹⁶ La pérdida de tiempo que impone la geometría de una glorieta al paso de un vehículo ha sido estudiada en la Universidad de Southampton (MCDONALD, 1978), estimándola entre 10 y 28 segundos para diámetros de 40 metros. En Holanda, por su parte, las glorietas han sido promovidas como puertas de entrada a las áreas residenciales (VAN MINEN, 19886).

Facilidad de comprensión

Una de las más importantes ventajas de las glorietas frente a cualquier tipo de intersección es que todas ellas tienen la misma estructura y funcionan de igual modo.

Ello significa, que el conductor que ha conocido una glorieta, al identificar otra, conoce ya su funcionamiento, lo que le sitúa en unas inmejorables condiciones para cruzarla. Frente a otros tipos de intersecciones que no responden a un esquema común (canalizadas, enlaces, etc.), esta característica dota a las glorietas de mayor seguridad y fluidez.

Económicas

Las ventajas económicas de las glorietas son claras respecto a algunos tipos de intersecciones, mientras, respecto a otros, es difícil un pronunciamiento definitivo.

Respecto al tipo de intersección mediante enlaces a distinto nivel, tanto el costo de construcción como el de adquisición de suelo son inferiores en las glorietas.

En las intersecciones convencionales a nivel, la ocupación del suelo puede ser superior en el caso de las glorietas, aunque ello se traduce en mejores prestaciones desde el punto de vista del tráfico y, sobre todo, de la seguridad. Es importante señalar que, de imputarse los costos posteriores debidos a la accidentalidad y de confirmarse el menor gasto de combustible y tiempo en las intersecciones giratorias, podría establecerse también su superioridad económica respecto a las intersecciones a nivel convencionales¹⁷.

Para el caso de las intersecciones semaforizadas, el coste de construcción, sobre todo en lo referente a la adquisición del suelo, puede ser superior en las glorietas, aunque la instalación de los sistemas de control semafórico puede a veces resultar muy costoso. Por contra, las glorietas apenas provocan gastos de mantenimiento, mientras el control semafórico implica gastos y atención constantes.

¹⁷ De acuerdo con la guía del SETRA (SETRA, 1984B), en nueva construcción, el costo de una glorieta es similar al de una intersección plana clásica, mientras sobre calzada existente, el clásico es, normalmente, más económico. Existen algunos estudios sobre el consumo de combustible y los retrasos en tiempo que suponen cada tipo de intersección. Según ellos la glorieta sería menos costosa que las intersecciones a nivel convencionales. No obstante, los datos no se consideran todavía definitivos (MARTIN, 1974; GARDINER, 1986). Por otra parte, los costos por accidentes se han demostrado un 30% inferiores en glorietas con relación a otros tramos, en los estudios realizados en Gran Bretaña (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B).

Flexibilidad o ductilidad

Otro aspecto importante respecto a las ventajas de las soluciones en glorieta es su gran ductibilidad, el hecho de ser una solución «blanda», fácilmente modificable.

Más concretamente, las glorietas se valoran porque admiten la incorporación de nuevas vías a una estructura ya existente y porque, dada la reserva de suelo que suponen, pueden garantizar la construcción en el futuro de enlaces a distinto nivel para solucionar la intersección, en el caso de que los tráficos aumenten fuera de sus márgenes de capacidad.

Seguridad

Es uno de los temas donde existe una coincidencia más absoluta en los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en diversos países. Las glorietas resultan marcadamente más seguras para el automóvil que el resto de las intersecciones a nivel, mostrando reducciones de accidentes entre el 40 y el 70% tras su construcción, y porcentajes que se elevan hasta el 90% cuando se consideran únicamente los accidentes mortales¹⁸.

En el caso español y, concretamente madrileño, la escasa duración de las series de datos disponibles no permiten todavía confirmar los resultados de otros países en cuanto a la reducción del número global de accidentes al sustituir una intersección convencional por una glorieta. Sin embargo, sí existen datos suficientes para confirmar que la gravedad de los accidentes disminuye notablemente. Así, mientras el porcentaje de mortalidad en accidentes en intersecciones se situaba en las carreteras de la Comunidad de Madrid en el 14,6 % de los casos, en 1992, los accidentes mortales en glorietas apenas suponían un 7,5 % del total, lo que representa aproximadamente la mitad de los anteriores. (DE LA HOZ Y POZUETA, 1995)

La reducción en el número y la gravedad de los accidentes de automóvil que experimenta una intersección tras la construcción de una glorieta, se debe fundamentalmente:

- A la reducción de velocidad que acompaña a su funcionamiento.

¹⁸ Similares conclusiones se han obtenido en Gran Bretaña, Francia y Australia.

En Francia, en un estudio de 19 intersecciones, antes y después de la construcción de glorietas, realizado durante 4 años, resultó que el número medio de accidentes anuales por glorieta se redujo de 2,5 a 0,6, es decir, a la cuarta parte, y el de accidentes mortales de 0,22 a 0,013, es decir, a una dieciséisava parte (SETRA, 1983). En otro estudio sobre 522 glorietas del Oeste francés, su accidentalidad resultó ser dos veces y media inferior a la de las intersecciones semaforizadas (ALPHAND, 1991).

En cuanto a la gravedad, durante 1982, por ejemplo, en Gran Bretaña, el 0,7% de los accidentes en glorietas fueron mortales, frente al 1,5% en el resto de las intersecciones y el 3,1% en tramos sin intersección (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B).

En Seattle (USA), con el uso de los roundabouts en áreas residenciales, los accidentes cayeron en un 75% (RUTHEFORD, 1985).

En Australia, un estudio realizado durante un año antes y otro después de la instalación de glorietas en 51 intersecciones de Melbourne, muestra una reducción del 47% en el número de accidentes, de 140 anuales a 74 (DALEY, 1981). Asimismo, otro estudio en New South Wales (TUDGE, 1990) muestra una reducción global del 50% de accidentes en las intersecciones transformadas en glorietas y un 63% de reducción en los mortales. En Noruega, los análisis «antes y después» de accidentalidad en Roundabouts de pequeño diámetro, los de mayor accidentalidad según la experiencia inglesa, mostraron sin embargo una caída del 60% (JOANNESSEN, 1984).

En Suecia, hasta 1982, la accidentalidad comprobada en glorietas resultaba similar a la de otras intersecciones sin señalizar. No obstante, la gravedad de los accidentes era considerablemente más baja. (CEDERSUND, 1983)

- A la desaparición de ángulos próximos al recto en el encuentro entre corrientes de tráfico, siempre que las entradas tengan la geometría adecuada.
- A la sencillez de su funcionamiento.

En cuanto a la accidentalidad de otros tipos de vehículos y de peatones la literatura especializada supone la existencia de índices elevados, lo que ha dado a las glorietas fama de peligrosas para motocicletas, bicicletas, peatones, etc.

No obstante, dicha fama no parece corresponder exactamente a los resultados de los estudios realizados, cuyas cifras muestran reducciones de accidentalidad para peatones, y existen dudas sobre la validez de las afirmaciones generales sobre la peligrosidad de estas intersecciones para este tipo de tráfico¹⁹.

En el caso madrileño y aún cuando se ha procedido a un estudio detallado de la circulación de ciclistas y peatones en algunas glorietas (DE LA HOZ y POZUETA, 1994), no se dispone todavía de datos suficientes para estimar la peligrosidad potencial de las glorietas para este tipo de usuarios. En concreto, tras doce horas de observación de glorietas en horas punta, en las que circularon por ellas en torno a 25.000 automóviles, de los 73 ciclistas que las atravesaron sólo uno de ellos creó una situación de cierta inseguridad, al obligar a frenar a un automóvil mientras atravesaba una salida. No obstante, de los 73 ciclistas, al menos 15 atravesaron la glorieta de forma «irregular», con descenso de la bicicleta para atravesar las salidas (6 casos), circulación por el interior del anillo, cruzándolo (3 casos), etc.

Aunque la limitación de datos existentes no permite extraer conclusiones generales, el importante porcentaje de itinerarios o comportamientos «irregulares» observados parecen mostrar, por una parte, la peligrosidad potencial que los ciclistas confieren a las glorietas y, por otra, la necesidad de una educación vial para que las utilicen correctamente.

En cuanto a peatones, las cifras madrileñas indican que el porcentaje de accidentes en que estos se ven involucrados alcanza el 8,5%, frente al 6,4 y 4%, respectivamente, que indican las fuentes inglesas y francesas. No obstante, la influencia que en estas cifras puede tener

¹⁹ En un estudio sobre 84 glorietas y sus accidentes entre 1974 y 1979 en Gran Bretaña, los ciclistas están involucrados en el 3-16% de los accidentes y los motoristas entre el 30 y el 40%, lo que se traduce en un índice de accidentalidad para los «dos ruedas» de 10 a 15 veces superior al de los automóviles por cada 100 millones de vehículos. Los accidentes con peatones supusieron el 6,4% del total, pero se desconocen las cifras globales de tráfico peatonal (MAYCOCK, 1984).

En Francia, según un estudio del SETRA (SETRA, 1983), los peatones están involucrados en el 4% de los accidentes y los «dos ruedas» en el 28%, sin que avancen en este sentido comparaciones antes o después.

No obstante, estudios empíricos puntuales parecen contradecir esta primera impresión. Así, para el caso de los ciclistas, la guía de la NAASRA (NAASRA, 1986) cita un estudio del Victorian Country Roads Board, en el que se demostró una reducción del 45% en los accidentes con ciclistas tras la instalación de glorietas.

También para el caso los ciclistas, estudios daneses admiten una «ligera» reducción de la accidentalidad. (JOERGENSEN, 1990)

Respecto a los accidentes con peatones las investigaciones específicas señalan una reducción tras el empleo de glorietas en las intersecciones. Así, Daley (DALEY, 1981), señala una reducción de los accidentes con peatones en proporción de 6 a 4, en las glorietas de Melbourne. Por su parte Jordan (JORDAN, 1985), tras un estudio de 4 años sobre 36 glorietas de Melbourne, antes y después de su construcción, comprueba una reducción de un 12% en los accidentes con peatones y, lo que tal vez es más significativo, que dichos accidentes eran en un 75% imputables al peatón.

Según Johannessen (JOANNESSEN, 1984), las glorietas no crean especiales problemas de seguridad para los peatones o ciclistas en Noruega, y en Dinamarca, donde la proporción de ciclistas es muy elevada, las glorietas se consideran seguras para bicicletas.

la importancia del tráfico peatonal en cada glorieta, junto a los limitados datos españoles impiden extraer conclusiones definitivas.

De hecho, de acuerdo con las referencias extranjeras, lo que parece haberse producido es una sensible mejora en la seguridad de peatones y «dos ruedas» en las glorietas, debido a la creciente preocupación en el diseño por disminuir los accidentes en que se ven involucrados. Ello hace suponer que, de cumplirse las actuales recomendaciones para la protección de peatones y «dos ruedas» en las glorietas, su seguridad podrá ser superior a la del resto de las intersecciones²⁰.

En cuanto al tipo de accidentes más corrientes en las glorietas, las fuentes inglesas y francesas señalan que el mayor número se produce por pérdidas del control del vehículo a la entrada de la glorieta, 30 y 37% respectivamente, seguidos por los provocados por la no cesión de la prioridad, 20 y 24%. En el caso madrileño, el porcentaje de accidentes en glorietas por pérdida de control en la entrada se eleva al 51%, mientras que los provocados por la no cesión del paso suponen un 28,5%, cifras ambas claramente superiores a las francesas o inglesas.²¹

La elevada proporción de este tipo de accidentes, que se confirma también en Australia y los países nórdicos, muestra la importancia del comportamiento de los conductores en la entrada de las glorietas y, por tanto, la necesidad de un diseño y señalización muy cuidadosos²².

Paisajismo

Finalmente, una ventaja clara de las glorietas frente a otro tipo de intersecciones es que permiten un tratamiento paisajístico o monumental mediante la utilización de su espacio y, concretamente, de su isleta central.

Esta posibilidad es especialmente interesante en medios periurbanos, donde la solución de las intersecciones no puede guiarse exclusivamente por cuestiones de capacidad, sino que debe tener muy en cuenta que un cruce de vías-calle es un lugar significativo que estructura o simboliza al ambiente urbano.

²⁰ De hecho, las más recientes investigaciones desarrolladas en Holanda sobre glorietas con tratamientos específicos para bicicletas muestran reducciones de un 47% en el número de accidentes y del 71% en el de víctimas (VAN MINEN 1994). La amplitud de estas investigaciones (201 nuevas glorietas estudiadas antes y después) parecen conferir gran fiabilidad al estudio.

²¹ Sobre este tema, ver por ejemplo: MAYCOCK & HALL, 1984; SETRA, 1983; DE LA HOZ y POZUETA, 1995.

²² Dalley confirma el espectacular aumento relativo (de 2 a 31) y primacía de los accidentes por pérdida de control a la entrada, tras la construcción de glorietas en Melbourne (DALLEY, 1981) y Johannessen señala que la pérdida de control en la entrada supone el 27% de los accidentes en las glorietas suecas y el 20% en las danesas (JOHANNESSEN, 1984).

Debe señalarse no obstante, que estas posibilidades del espacio central de la glorieta, suelen limitarse a su efecto visual, monumental, etc., resultando inconveniente dotarle de acceso para peatones.

Limitaciones

Aún cuando, tras este repaso a las ventajas de la utilización de las glorietas, éstas aparezcan como una de las mejores y más sugestivas soluciones de que dispone el proyectista para resolver cierto tipo de intersecciones, conviene exponer también sus limitaciones.

Estas se concretan, fundamentalmente, desde el punto de vista del tráfico, en que las glorietas suponen la pérdida de prioridad de todas las vías que en ellas confluyen, imponen un cierto retraso a todos los conductores y no permiten el establecimiento de jerarquias viarias en su funcionamiento.

Ello desaconseja, naturalmente, el empleo de las glorietas en aquellas vías cuyo objetivo principal sea conseguir flujos de tráfico rápidos y sin interrupciones y las hacen poco recomendables en vías interurbanas.

Así mismo, las glorietas no permiten una regulación especial del transporte público y plantean el problema de la localización de las paradas de autobuses, que resultan inconvenientes tanto inmediatamente antes de una entrada como inmediatamente después.

Desde el punto de vista de los peatones, su principal inconveniente es que se traducen en un alargamiento de los recorridos a pié, ya que la traveía de la calzada anular está totalmente desaconsejada, y los itinerarios peatonales deben seguir una trayectoria circular más larga.

En zonas suburbanas el funcionamiento de las glorietas no se adapta bien a flujos de vehículos por emboladas, como los que resultan de la regulación semafórica, ya que el óptimo funcionamiento de una glorieta se produce cuando la entrada de vehículos se realiza individualmente o por grupos muy reducidos.

Finalmente, las glorietas dificultan la utilización de carriles reversibles en las vías confluyentes en ellas.



Rotonda en el cruce de las carreteras M-503 (38.300 vehiculos) y M-508 (15.400 vehiculos)

2. Criterios generales para implantación de glorietas

Del análisis de su propio funcionamiento y de la experiencia internacional al respecto, se deduce que las glorietas en tanto que solución específica a la intersección de dos o más vías de tráfico rodado resultan de mayor eficacia en unas condiciones que en otras; condiciones que hacen referencia al entorno o medio en el que se emplazan, al tipo de vías que en ellas confluyen, etc.

En este sentido, el objetivo de este apartado es ofrecer al proyectista una síntesis de las condiciones generales que resultan propicias para la implantación de glorietas, de cara a facilitarle unos cuantos criterios simples y fáciles de aplicar para que pueda decidir el tipo de intersección a emplear en su situación concreta.

2.1. Medio en el que se emplazan

De las ventajas señaladas más arriba, se deduce que las glorietas resultan especialmente adecuadas para resolver intersecciones en el **medio suburbano o periurbano**, un medio de transición entre la carretera y la calle, entre la circulación continua y la discontinua, entre las altas velocidades y las velocidades reducidas y donde los aspectos ambientales y formales resultan de gran importancia. La adecuación de la glorieta a las intersecciones en medios periurbanos se deduce, por otra parte, de la experiencia existente en prácticamente todos los países, donde la inmensa mayoría se sitúan en las afueras de las ciudades.

En concreto, se ha comprobado su eficacia en las intersecciones entre una carretera de circunvalación y los accesos a una ciudad, para regular la distribución tras la salida de una autopista, como punto final de carreteras en la red urbana, como elemento distribuidor a la entrada de un polígono industrial o de viviendas, etc.

En medio interurbano deben utilizarse con precaución, ya que suponen una interrupción brusca del régimen laminar de circulación en carretera, aumentan los tiempos de recorrido, impiden la prioridad de una carretera sobre otra, etc.

No obstante, se han utilizado con éxito en ciertas condiciones, concretamente, en la intersección de carreteras rurales de muy **variada velocidad específica**.

En medio urbano, las glorietas sin regulación semafórica y prioridad al anillo, pueden ser de utilidad y resultar eficaces. No obstante, la presencia de un tráfico peatonal importante puede restarles eficacia o exigir su semaforización. Se han empleado con cierta profusión para la intersección de calles locales en zonas residenciales o en la entrada a urbanizaciones.

2.2. Número y tipo de vías

Las glorietas se adaptan bien a la resolución de intersecciones de tres, cuatro y más brazos, siendo la única intersección que resuelve adecuadamente el problema de la confluencia de más de cuatro.

Las glorietas pueden adaptarse prácticamente a todo tipo de vías, siendo especialmente útiles en vías de dos carriles (uno por sentido).

Su utilización en vías de 4 carriles (2x2) es habitual, aunque en algunos países, Francia en concreto, se insiste en que deben usarse con precaución en carreteras interurbanas de 2x2. (SETRA, 1984B)

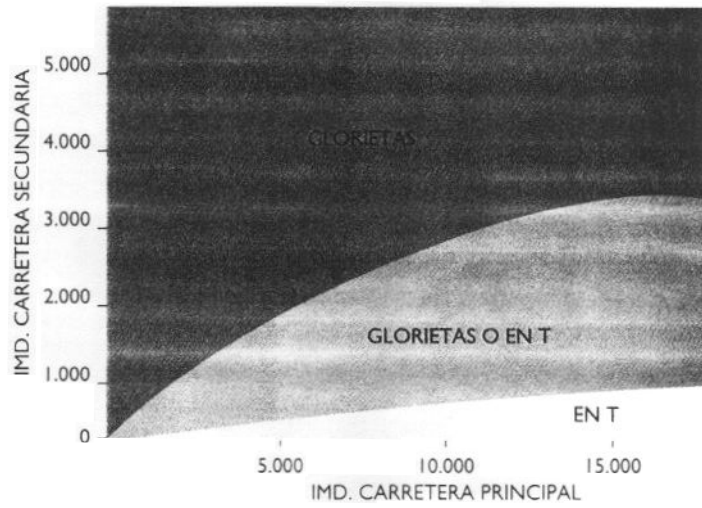
2.3. Condiciones del tráfico

Las glorietas resultan especialmente bien indicadas en aquellas intersecciones donde los giros, sobre todo a la izquierda, suponen un porcentaje importante de todos los movimientos.

Asimismo, se considera recomendable la utilización de glorietas en aquellas intersecciones donde existe un cierto equilibrio entre los tráfico procedentes de las distintas vías confluyentes. Las publicaciones francesas recomiendan, por ejemplo, que la desproporción entre el tráfico de dos vías para ser recomendable la construcción de una glorieta, no debe superar la relación de uno a diez (SETRA, 1984B). Este criterio parece razonable, ya que en casos de clara desproporción, la interrupción y demora que supondría la travesía de una glorieta para el tráfico de la vía principal, no se justificarían.

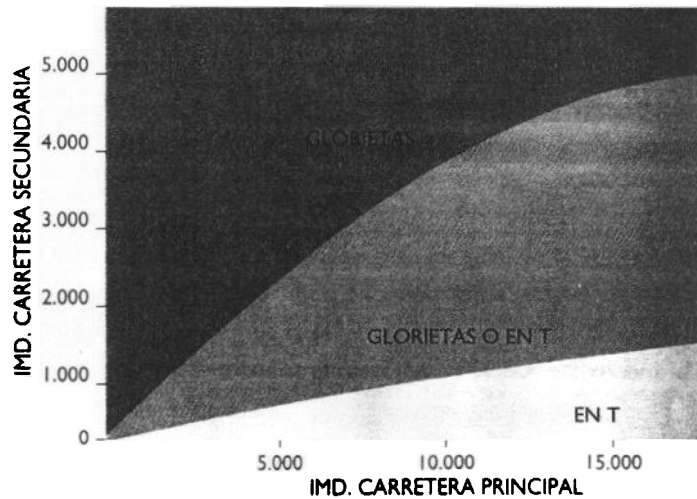
Algunas publicaciones ofrecen indicaciones precisas sobre los volúmenes de tráfico de las vías confluyentes que hacen recomendable el empleo de glorietas. Un resumen de las mismas

Intersecciones de 3 ramales en carreteras de 2 o 3 carriles. Campos de utilización de glorietas e intersecciones en T.



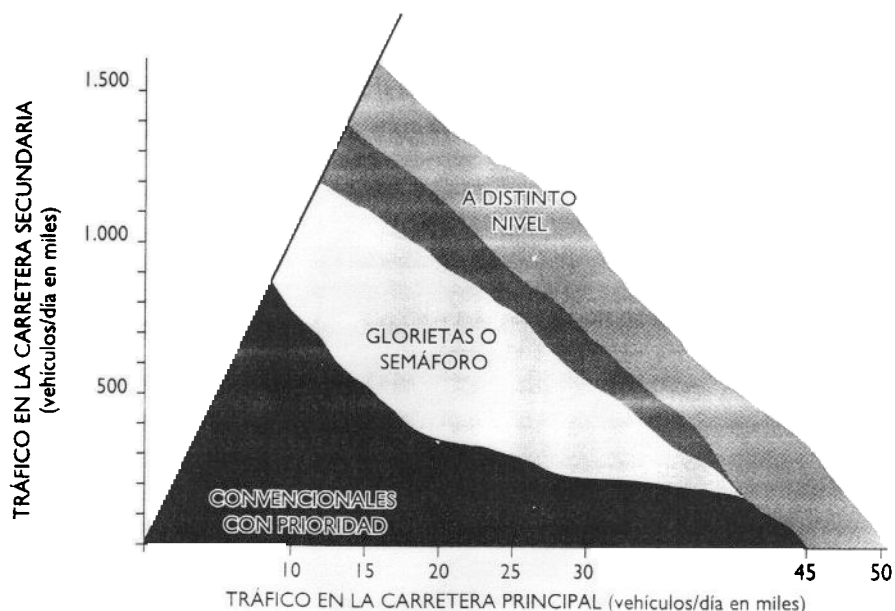
Fuente: SETRA, «Carrefours sur routes a 2 ou 3 voies». Note d'Information. SETRA, Bagneux, Francia 1989, pag. 3.

Intersecciones de 4 ramales en carreteras de 2 o 3 carriles. Campos de utilización de glorietas e intersecciones en T.



Fuente: SETRA, «Carrefours sur routes a 2 ou 3 voies». Note d'Information. SETRA, Bagneux, Francia 1989, pag. 3.

Tipo de intersección apropiada a diferentes tráficos



Fuente: I.H.H. and D.T.: «Road and Traffic in Urban Areas». HMSO, London, 1987, página 328.

puede verse en los gráficos adjuntos, reproducidos en el manual de la Comunidad de Madrid para el diseño de carreteras en áreas suburbanas (DE LA HOZ y POZUETA, 1991).

Otros manuales recomiendan la utilización de glorietas según la categoría de las vías confluyentes. Así, la guía australiana, de las posibles combinaciones entre las 4 categorías de vías que utiliza (arterias, subarterias, colectoras y locales), considera muy recomendables las glorietas para intersecciones entre dos vías locales o entre dos vías colectoras y las estima inapropiadas en los casos en que las vías confluyentes pertenezcan a categorías separadas por 2 ó más niveles, mientras para el resto de la situaciones indica la conveniencia de estudiarse cada caso en concreto. (NAASRA, 1986)

En el citado manual de la Comunidad de Madrid, las glorietas se recomiendan para las intersecciones de carreteras de primer nivel (el siguiente al de autopistas y autovías) en medios de baja o media densidad de urbanización, así como para las del segundo nivel en medios de baja densidad de urbanización.

En cuanto al tráfico peatonal, el funcionamiento de una glorieta es plenamente compatible con un cierto nivel de tráfico peatonal. No obstante, en condiciones próximas a la saturación o con altas intensidades de tráfico rodado, un tránsito elevado de peatones puede provocar una importante reducción de su eficacia y provocar retenciones que hagan necesaria, bien su semaforización, bien la construcción de pasos a distinto nivel para peatones. Por ello, la glorieta puede no ser recomendable con intensidades medias o altas de tráfico peatonal.¹

En resumen parece que, desde el punto de vista del tráfico y sin obras adicionales, la glorieta se adapta bien a intersecciones entre vías con volúmenes de tráfico rodado equilibrados, elevada proporción de giros a la izquierda entre ellas y escaso tráfico peatonal.

2.4. Condiciones topográficas

Como se ha visto, una de las grandes ventajas de las glorietas respecto a otras intersecciones es que todas funcionan de la misma forma y que, en consecuencia, los conductores aprenden a desenvolverse en ellas con gran rapidez. Ello hace que, una vez reconocida la proximidad de una glorieta, los conductores con experiencia sepan perfectamente como deben proceder.

También se ha señalado, cómo la mayoría de los accidentes en glorietas se producen por pérdida de control a la entrada que, en la mayoría de las ocasiones, responde a una velocidad de entrada excesiva.

Tanto el reconocimiento de la glorieta, como la reducción de la velocidad consiguiente dependen, en gran medida, de la buena percepción de la misma. Por todo ello, resulta de suma importancia que, independientemente de la señalización pertinente, los conductores tengan una buena percepción de la glorieta en su aproximación a la misma.

Ello significa, que los lugares más adecuados para la localización de glorietas son aquellos que resultan plenamente visibles desde sus alrededores y, muy concretamente, desde los ejes de las carreteras en su aproximación a ellas.

¹ No se han encontrado trabajos o investigaciones dirigidos a dilucidar qué volúmenes de tráfico peatonal, cruzando a nivel, pueden ser compatibles con un funcionamiento eficaz de las glorietas. De ahí lo ambiguo de la indicación. Teniendo en cuenta que la utilización de pasos «cebra» suele limitarse a volúmenes inferiores a 400-600 peatones por hora, con tráfico automóvil entre los 300 y 500 vehículos/hora (DE LA HOZ y POZUETA, 1991), necesitándose otro tipo de pasos para volúmenes superiores (semaforizados, a distinto nivel), podría considerarse que volúmenes horarios por encima de 100-200 peatones y 500 vehículos, en una entrada, constituirían ya una seria objeción para el funcionamiento eficaz de una glorieta convencional.



Via de Meaques (M-502)

En consecuencia, la situación en el fondo de una depresión o en una zona llana, en la que su forma puede destacar por su geometría, parece la condición ideal de emplazamiento de una glorieta.

La construcción de glorietas en un acuerdo vertical cóncavo, la más favorables desde el punto de vista de la perceptibilidad, puede sin embargo resultar desaconsejable desde el punto de vista de la seguridad, si las pendientes de las vías resultan excesivas y animan a altas velocidades de aproximación.

En cualquier caso, parece que deben desaconsejarse aquellos lugares que fuercen a trayectorias ascendentes de las aproximaciones y, en caso de resultar inevitable en algunas de las vías, es recomendable limitar la pendiente de aproximación a menos del 3% y utilizar parámetros amplios para los acuerdos verticales².

² En carreteras competencia de la Comunidad de Madrid, se han construido glorietas con pendientes en las aproximaciones netamente superiores al 3% aquí recomendado. Dichas glorietas han mejorado notablemente la seguridad de las intersecciones convencionales antes existentes y funcionan correctamente. De la misma manera, algunas glorietas de la Comunidad de Madrid se sitúan en cambios convexos de rasante, donde han logrado mejorar, también, la seguridad de las peligrosas intersecciones en cruz o en «T» previamente existentes. De hecho, los técnicos de la Comunidad de Madrid consideran que pueden ser aceptables mayores pendientes en las aproximaciones y estiman más conveniente localizar las glorietas en los cambios de rasante que en sus proximidades. En este último caso, subrayan, que debe cuidarse especialmente su diseño y acondicionamiento, si se quiere garantizar una buena perceptibilidad de las glorietas.



Variante de la M-616 en Alcobendas. Esta carretera conecta con la autovía de Burgos (glorieta inferior de la foto) y es una vía que se sitúa entre las antiguas áreas industriales y las zonas verdes y residenciales de reciente urbanización

3. Cálculo de la capacidad en glorietas

3.1. Concepto de capacidad en glorietas

En las intersecciones giratorias con prioridad al anillo, no se utiliza el concepto global de capacidad de la intersección. Esto es debido a que no existe una correspondencia unívoca entre la geometría de una glorieta y su capacidad, entendida ésta como número de vehículos que pueden pasar por ella en un tiempo determinado, sino que, dicha capacidad depende de la distribución de los tráficos en las diferentes entradas y de sus direcciones de salida.

En efecto, cualquiera puede entender que una misma glorieta tendrá una capacidad mucho mayor en el caso de que todos los vehículos que entren en ella salgan por la primera salida, es decir, realicen un simple giro a la derecha que, en el caso, en que lo hagan por la última. En el primer caso, no existirá ningún tipo de conflicto en la calzada anular, lo que hará que la capacidad de la glorieta sea prácticamente la suma de las capacidades de las entradas o de las salidas, mientras que, en el segundo, la calzada circular servirá de itinerario a grupos de vehículos con distintos orígenes y destinos, lo que disminuirá sustancialmente la capacidad calculada en el caso anterior.

Por tanto, a menos que se considere como capacidad de una glorieta, la capacidad de la misma cuando el 100% de los vehículos entrantes toman la primera salida a la derecha (sin duda la situación de mínimo conflicto y máxima capacidad), no parece de gran utilidad hablar de capacidad global en una glorieta.

El abandono del concepto de capacidad global de una glorieta se produjo tras el descubrimiento, ya mencionado, de que la calzada anular no se comportaba como una serie de tramos de trenzado, sino que, podía considerarse como una suma de intersecciones en «T», en las que los vehículos entrantes se **insertaban** directamente en el flujo circular, cuando se producía el hueco necesario para ello¹. A partir de su asimilación a varias intersecciones en «T», los cálculos de capacidad, antes basados en el sistema de trenzado, se reorientaron partiendo de las siguientes premisas:

En primer lugar, ya no se trataba de calcular la capacidad global de la glorieta, sino que, se pretendía calcular la capacidad en cada una de las intersecciones en «T», en que puede descomponerse.

A mediados de los años 50, en Gran Bretaña se utilizaba la llamada fórmula de Wardrop para calcular la capacidad en una glorieta. El método de trenzado

$$Q = 108w \frac{e+rw}{(1-p/3)(1-w/l)}$$

Donde: Q era la capacidad total de la sección del anillo en v/h.
w la anchura de la sección, en pies.
l la longitud de la sección, en pies.
e la media de la anchura de las entradas, en pies.
p la proporción de tráfico que se trenza sobre el total del tramo.

Para el caso de pequeñas glonetas, la fórmula sólo tomaba en consideración las características geométricas de la glorieta, abandonando la utilización de la variable de tráfico «p»

$$Q = k (e + A)$$

Donde: A es el área total del anillo en metros.
e es la suma de las anchuras de las entradas, en metros.
k es una constante.

En 1975, el Department of Transport recomendaba para glonetas convencionales la siguiente fórmula, en la que también desaparece la proporción del tráfico que se trenza y en la que la capacidad de una entrada depende exclusivamente de los parámetros geométricos de la gloneta:

$$Q = 160w(1+e/w)/(1+w/l)$$

con todas las magnitudes en metros y el resultado en v/h.
Con la introducción de la regla de la prioridad al anillo, numerosos autores demostraron la inadecuación de las fórmulas utilizadas y se procedió a investigar en otras direcciones.
Sobre la evolución del cálculo de la capacidad en glonetas ver: MCDONALD, 1987; KIMBER, 1980; SETRA, 1984; TROUBECK, 1984; TODD, 1991; TODD, 1989; TODD 1988.

En segundo lugar, en cada una de las intersecciones en «T», en que se descompone la glorieta, existen dos magnitudes de tráfico interrelacionadas: por una parte, el tráfico que circula por el anillo, por otra, el tráfico entrante. Relación que se supone inversa, ya que resulta evidente que, a medida que aumenta el tráfico circulante por el anillo, la capacidad de entrada de vehículos en cada intersección debe disminuir, si no se varían las características geométricas de la intersección y se mantiene la prioridad al tráfico anular.²

Todo ello lleva a sustituir el concepto global de capacidad de una glorieta, por el concepto de **capacidad de una entrada** y a admitir que ésta no deriva exclusivamente de sus características geométricas sino, en gran medida, del tráfico circulante por la calzada anular de la glorieta.

Por tanto, hoy día, cuando se trata de valorar la capacidad de una glorieta, el concepto e instrumento de medida no es un parámetro global o único, sino la capacidad de cada una de las entradas.

3.2. Métodos de cálculo de la capacidad de una entrada³

De acuerdo con lo indicado, los métodos de cálculo de la capacidad de una entrada se basan en la obtención de una fórmula o sistema de ábacos que represente la relación inversa existente entre el tráfico que discurre por la calzada anular y el máximo que podría incorporarse en una entrada.

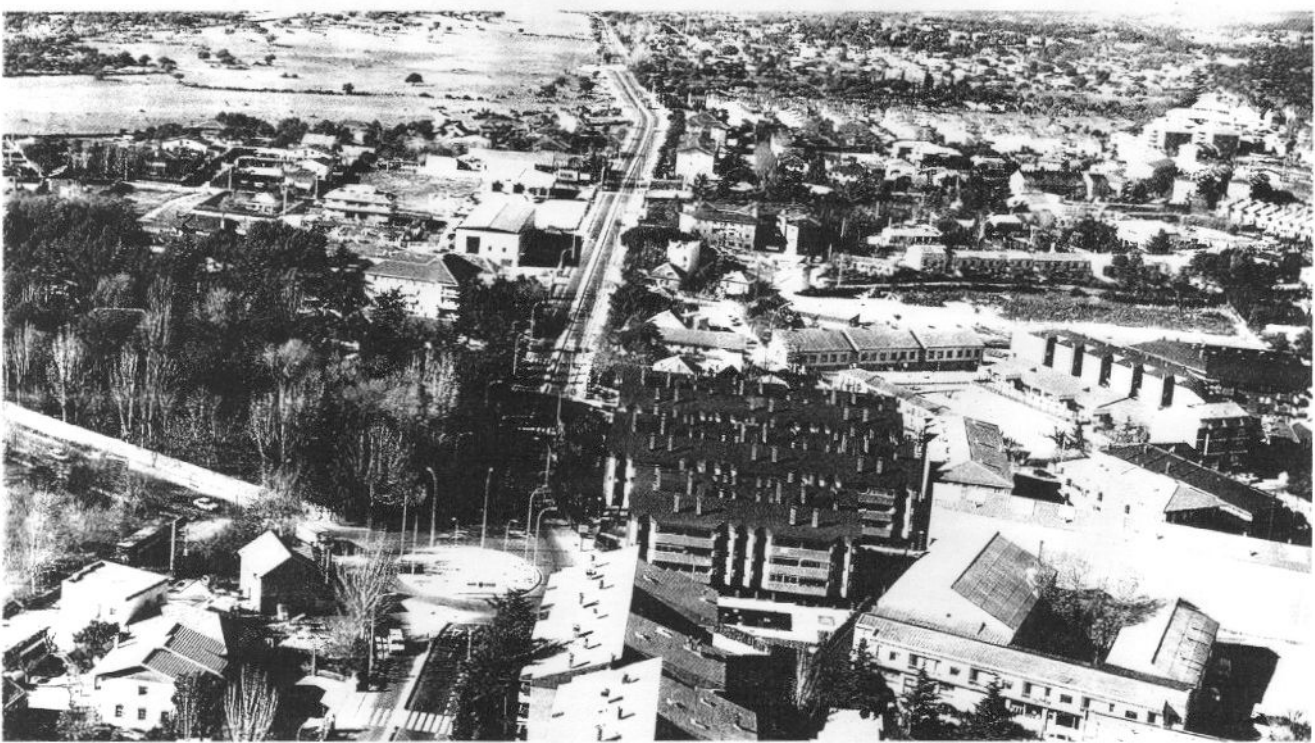
Existen básicamente dos tipos de métodos, los que tratan de establecer los parámetros de esta relación de forma empírica y los que intentan hacerlo a través de distintos modelos teóricos de tipo probabilístico.

3.2.1. Los métodos empíricos

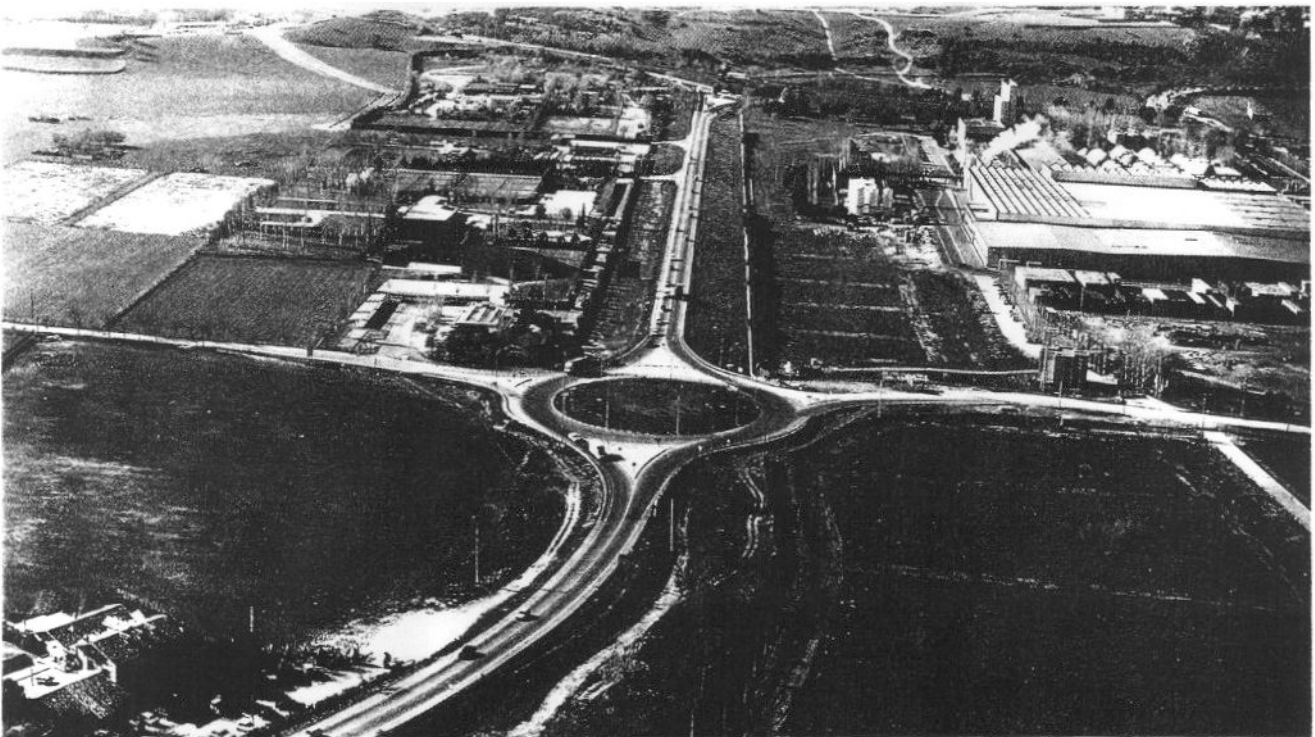
Se han seleccionado para su exposición los métodos inglés y francés. El primero, por tratarse del método probablemente más afinado de los existentes, dada la larga experiencia e investigación inglesa. El segundo, por su sencillez y porque la proximidad cultural entre España y Francia parece sugerir una buena adaptación a las condiciones españolas. No obstante, existen muchos otros métodos

² Existen numerosos estudios sobre las interacciones entre vehículos en las glorietas. Además de los incluidos en los manuales generales, pueden ser de interés las investigaciones australianas (TROUTBECK, 1990; SULLIVAN, 1991) o británicas (HUNT, 1989).

³ Para una visión general de los diferentes métodos de cálculo de la capacidad en glorietas ver: CETUR, 1988; LOUAGH, 1984; HAKKERT, 1991; CHUNG, 1992.



Travesía de la M-505 (IMD de 14.200 vehículos) en Galapagar. En primer plano el cruce con la M-510 (IMD de 7.600 vehículos)



Glorieta en la M-100 cerca de la autovía de Burgos. Su construcción ha resuelto un «punto negro» provocado por los accesos al polígono industrial en una carretera que tiene una IMD de 26.000 vehículos.

de cálculo de capacidad en glorietas, que se emplean en otros países europeos y en Australia⁴.

3.2.1.1. El método del TRRL⁵

Gran Bretaña, el país de mayor tradición en la utilización de intersecciones giratorias y el «Transport Road and Research Laboratory», la institución de mayor producción investigadora en ese campo, emplean como base para el cálculo de la capacidad de las entradas en glorietas un método empírico.

Dicho método parte de la hipótesis de que la relación entre los dos tráficos, el que circula por el anillo y el entrante, es una relación lineal o cuasi lineal, del tipo:

$$Q_e = k (F - f_c \times Q_c)$$

donde: Q_e es la capacidad de una entrada, en v/h.

Q_c es el tráfico que circula por el anillo, en v/h.

k , F y f_c son parámetros dependientes de las características geométricas de la entrada y de la glorieta.

Para la determinación de las constantes k , F y f_c , se parte de conteos de tráfico en un número importante de glorietas en condiciones de saturación y de la elaboración de rectas de regresión que den la correspondencia entre la geometría y las constantes.

El calibrado de las constantes de la fórmula anterior que se utiliza en la actualidad es el siguiente:

$$k = 1 - 0,00347 (\Phi - 30) - 0,978 (1/r - 0,05)$$

$$F = 303 x_2$$

$$f_c = 0,210 t (1 + 0,2 x_2)$$

$$t = 1 + 0,5/(1+M)$$

$$M = \exp (D-60)/10$$

$$x = v + (e-v)/(1+25)$$

$$S = 1,6 (e-v)/l'$$

donde: e es el ancho de la entrada, en metros.

v es la mitad de la anchura de la vía de aproximación, en metros.

l' es la longitud media efectiva del abocinamiento en la entrada, en metros.

S es la agudeza del abocinamiento.

D es el diámetro del círculo inscrito, en metros.

Φ es el ángulo de entrada, en grados sexagesimales.

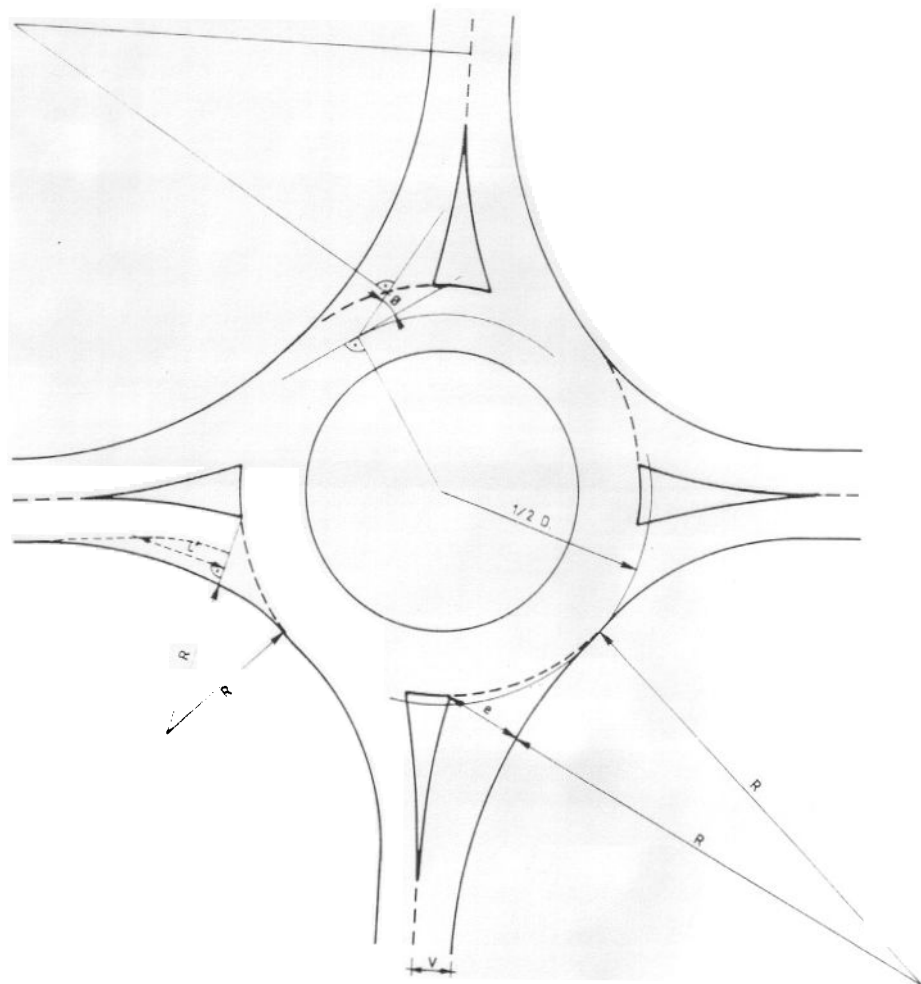
r es el radio de la entrada, en metros.

(Ver la definición de estos parámetros en el esquema adjunto)

⁴ Información sobre estos métodos puede encontrarse en: BRILON, 1990, para Alemania; JIAN-AN TAN, 1991 y VAN AREM, 1992, para Holanda; TAN, 1991 y SIMON, 1991, para Suiza; TROUBECK, 1990, para Australia, etc.

⁵ La fórmula inglesa que se expone figura como «la mejor ecuación predictiva para la capacidad de cualquier glorieta, excepto los que poseen una calzada separada», en el apéndice I de la publicación TA 23/81 del Department of Transport (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1981). Dicha fórmula proviene del trabajo de unificación de las existentes, para las convencionales y para las de prioridad al anillo, realizado por Kimber en 1980 (KIMBER, 1980).

Definición de los parámetros geométricos de la fórmula inglesa de capacidad



Para aplicar, por tanto, las fórmulas inglesas al cálculo de la capacidad de las entradas a glorietas es preciso disponer de la matriz origen-destino de tráficos en la intersección (para calcular Q_c) y de la definición geométrica de la glorieta.

Finalmente, conviene indicar, que existe una variante de la fórmula británica expuesta, que sería de aplicación únicamente para las glorietas desniveladas, es decir, para aquellas situadas sobre o debajo de una carretera principal, que discurre a distinto nivel.

La fórmula es:

$$Q_e = 1,11F - 1,40 f_c Q_c$$

y en ella la significación de las variables es la misma que en la convencional⁶.

3.2.1.2. El método del CETUR-86⁷

Al otro lado del Canal de La Mancha, en Francia, donde la experiencia de funcionamiento de glorietas es importante, así como la investigación y publicaciones sobre ellas, se utiliza un método para el cálculo de la capacidad de las entradas a las glorietas, de concepción similar al inglés, pero con algunas variaciones.

El cálculo concreto de la capacidad de una entrada se realiza, como en el caso inglés, mediante una fórmula que pone en relación el llamado tráfico molesto, es decir, aquel que al circular por la calzada anular a la izquierda de una entrada dificulta la incorporación de los vehículos situados en ésta, con la capacidad de la entrada.

Las novedades con respecto al método británico son que considera fija la capacidad máxima de una entrada, 1.500 v/h, es decir, la capacidad de un carril a velocidad reducida, pero sin interferencias, y que una parte de los vehículos que abandonan la calzada circular en la anterior salida (en torno a un 20%) son considerados también como tráfico molesto, en la medida en que, su decisión de salir y no pasar por delante de la entrada, no es percibida por el conductor entrante con el tiempo suficiente para decidirse a iniciar la maniobra de acceso.

En definitiva la fórmula simplificada, para el caso de entrada y calzada anular de un solo carril, es la siguiente:

$$Q_e = 1.500 - 5/6 (Q_c + 0,2Q_s)$$

donde: Q_e es la capacidad de una entrada.

Q_c es el tráfico que circula por la calzada anular, delante de la entrada.

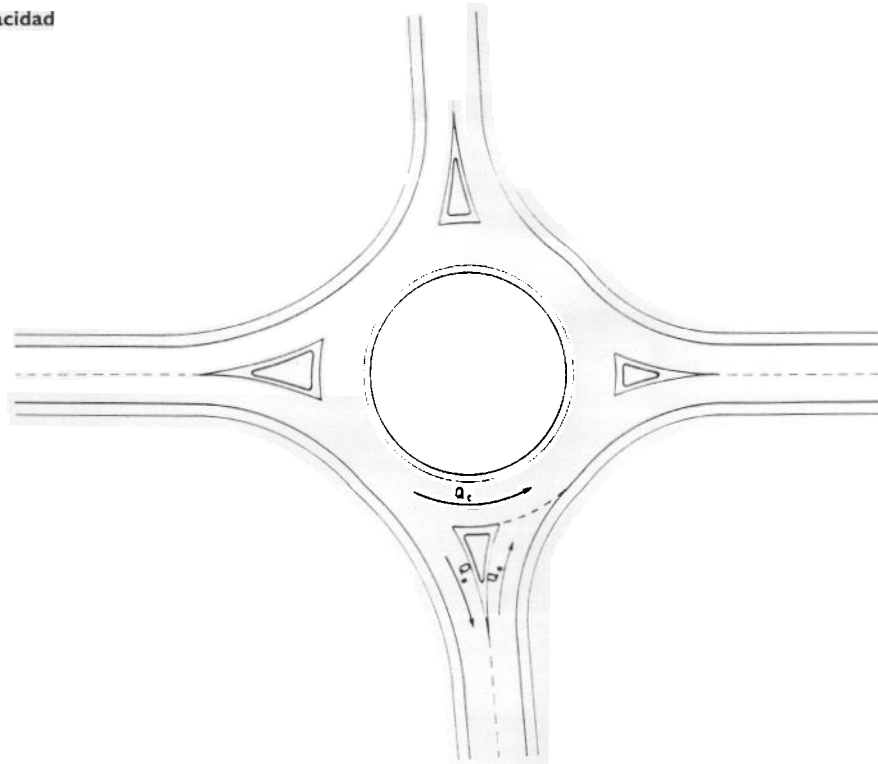
Q_s es el tráfico que sale por el mismo brazo

(todos los tráficos en vehículos ligeros por hora).

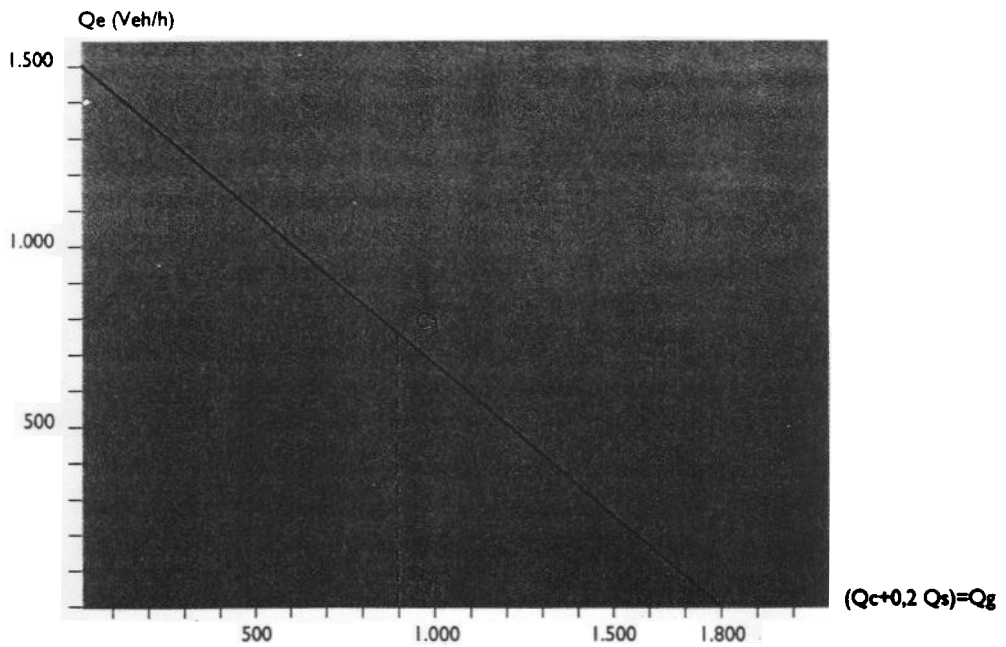
⁶ Esta fórmula, que es igualmente empírica, se justifica por la distinta visibilidad que existe en las glorietas desniveladas (debido a los pilares cuando se sitúa debajo y a la pendiente ascendente, en el caso contrario), la mayor distancia entre la entrada y la salida de un mismo brazo (los correspondientes a los accesos a la carretera desnivelada), etc. (SIEMENS, 1982)

⁷ Se expone aquí el método elaborado por el CETUR en 1986 (CETUR, 1988), por su gran sencillez de aplicación. Dicho método constituye, en realidad, una modificación del gráfico del SETRA, conocido como la regla de los 1500: tráfico molesto + tráfico entrante = 1500 v/h (SETRA, 1984).

Esquema de los tráficos que definen la capacidad de una entrada (CETUR '86).



Gráfica de la fórmula de capacidad del CETUR '86.



Como puede observarse, esta fórmula es de una gran sencillez y en ella no intervienen las características geométricas concretas de la glorieta.

Para el cálculo de capacidades de entradas a glorietas que no cumplan las simplificaciones de la fórmula (un sólo carril en la entrada y en el anillo), se proponen una serie de correcciones:

En el caso de glorietas urbanas de pequeño diámetro (10 a 30 m.), se considera que una anchura media del anillo de 8m., no engendra una circulación anular en dos filas, aunque favorece la entrada forzada de aquellos vehículos que simplemente giran a la derecha. Por ello, en estos casos, debe utilizarse un tráfico molesto del 90% del real, es decir, multiplicar el segundo sumando de la fórmula por 0,9.

Para las de diámetro superior, una anchura media del anillo de 8 m. permite la formación de dos filas de circulación anular. En esos casos, debe utilizarse como tráfico molesto un 70% del real, es decir, debe multiplicarse el segundo sumando de la fórmula por 0,7.

En cuanto a la influencia de la anchura de la entrada, se supone que con una anchura de anillo que permita la doble circulación, una entrada de dos carriles aumenta la capacidad de la misma en torno a un 40%. De manera que en estos casos, debe multiplicarse ésta por 1,4 para obtener la capacidad real.

En principio, el correcto funcionamiento de las entradas de dos carriles y, el aumento de capacidad indicado por el CETUR, parecería exigir anchuras de dos carriles en anillo y salidas. Así parece indicarlo el citado estudio mediante tomas de video en glorietas de la Comunidad de Madrid, en hora punta, en las que se detectaron comportamientos irregulares (arranques con fuerte aceleración en la línea de ceda el paso, etc) y cierto aumento de peligrosidad (problemas para acomodarse a las salidas de un sólo carril), en algunas glorietas con dos carriles de entrada y uno de salida, en las que predominaba una dirección del tráfico, con entrada y salida de la mayoría de los automóviles por los mismos ramales.

Sin embargo, la Comunidad de Madrid ha desdoblado a dos carriles las entradas a algunas glorietas congestionadas, manteniendo las salidas de un solo carril, consiguiendo con ello una sensible

reducción de la congestión y sin que con ello, en opinión de los técnicos, haya aumentado su peligrosidad.

Asimismo, relativo a la capacidad por doble anchura del anillo, debe señalarse que de la experiencia madrileña se deduce que la circulación en paralelo por un anillo de dos carriles sólo se produce por entrada simultánea de dos vehículos desde una misma entrada (de dos carriles, necesariamente). Resulta prácticamente insignificante el porcentaje de vehículos que acceden al anillo en una entrada, cuando ya circula por el carril interior del anillo otro vehículo. Este tipo de incorporaciones sólo se producen cuando el vehículo entrante va a abandonar la glorieta en la salida más próxima, es decir, cuando prácticamente no existe posibilidad de cruce de trayectorias con el que circula por el anillo y cuando el tramo de circulación en paralelo es muy reducido.

En las observaciones realizadas en glorietas de la Comunidad de Madrid, en las doce horas de circulación analizadas, con más de 25.000 vehículos atravesando las glorietas, únicamente se han detectado 26 entradas en anillos de dos carriles, cuando ya un vehículo circulaba por el carril interior. De ellas, en 19, el vehículo entrante abandonó la glorieta en la salida más próxima y, de las siete restantes, tres fueron causa de un incidente.

La escasa importancia cuantitativa de este tipo de entradas, su significativo índice de peligrosidad, así como los incidentes detectados por la utilización del anillo como tramo de adelantamiento en glorietas con entradas y salidas de un solo carril, pero con anillo de dos carriles, parecen demostrar claramente que la construcción de anillos de dos carriles en glorietas con entradas y salidas de un sólo carril es prácticamente inoperante a efectos de capacidad y aumenta la peligrosidad de la intersección.

3.2.2. Los métodos probabilísticos

Los métodos probabilísticos se basan, en general, en el análisis de las posibilidades de incorporación de vehículos a un flujo de circulación normal a su dirección, de distribución temporal aleatoria.⁸

En el método probabilístico de Harders, por ejemplo, para la valoración de esta posibilidad de incorporación se utilizan dos umbrales:

⁸ La base teórica de estos métodos se encuentra en los trabajos de Harders, Sieloch, Tanner y McDonald-Armitage, que dieron origen a cuatro fórmulas, que responden a distintas combinaciones de las distribuciones probabilísticas (exponencial negativa y de «regular random»), con el tipo de intervalos a considerar (modelo discreto o modelo fluido). Para el método de Harders, ver NOELLE, 1985, para el de Sieloch, ver RETZKO y TONKE, 1979 y para los últimos, ver TANNER, 1962 y McDONALD y ARMITAGE, 1978. Estos trabajos son también la base del cálculo de capacidades en las intersecciones a nivel que propone el manual norteamericano de capacidad (TRB, 1985).

- El llamado **intervalo crítico**, que se define como el intervalo mínimo que debe producirse entre dos vehículos consecutivos del flujo principal para que el vehículo en espera de entrada se introduzca en él.
- El **intervalo complementario**, que es el tiempo que tarda un vehículo situado en segundo lugar en la línea de ceda el paso, para colocarse sobre dicha línea en condiciones de poder iniciar la maniobra de incorporación.

Los intervalos críticos y complementarios se establecen mediante la observación del comportamiento de los conductores.

Una vez establecidos dichos intervalos, el método se reduce al diseño de los ábacos que resultan de aplicar un modelo probabilístico a la distribución del flujo de vehículos en la corriente principal de tráfico.

Estos métodos teóricos y probabilísticos se emplean en varios países para el cálculo de la capacidad de entrada a las glorietas, dando resultados muy próximos a los tráficos reales en condiciones de saturación. Suecia, Australia y algunas regiones de Francia utilizan distintas variantes de estos métodos.⁹

3.2.3. Cálculo de esperas y longitud de colas

La mayoría de los métodos elaborados para el cálculo de la capacidad de la entrada a una glorieta, suelen calcular también la duración y longitud de las colas de espera que pueden formarse en distintas condiciones de saturación. De hecho, exceptuando el método inglés, el resto de los métodos expuestos así lo hacen.

No obstante, teniendo en cuenta las dificultades de optar por uno de los métodos existentes, se remite a los interesados a la bibliografía sobre el tema, que figura al final de este documento.

3.2.4. Programas de ordenador

Existen hoy día comercializados diversos programas de ordenador cuyo objetivo es el estudio de la capacidad de las entradas en las glorietas y la previsión de las demoras en los casos de saturación.

⁹ Una exposición del método sueco figura en LOUAH, 1984. Para el método australiano ver NAASRA, 1985. Para el caso francés y concretamente para la CETE de Aix en Provence, ver NOELLE, 1985. Y CETUR, 1988.

En general, dichos programas de ordenador funcionan de forma que al facilitarles los datos previstos de geometría y tráfico, dan como resultado el nivel de saturación de cada entrada, los tiempos de espera y, en su caso, la longitud de las colas de espera.

Desde el punto de vista del diseño, por tanto, sirven para comprobar si la capacidad de una glorieta ya diseñada es suficiente para los tráficos previstos. En caso de que no lo sea, se procede a una modificación de la geometría y a una nueva utilización del programa, procediendo por aproximaciones sucesivas hasta llegar a las condiciones de capacidad requeridas.

Entre los más conocidos, los diseñados en Inglaterra se basan en modelos que recogen los resultados del funcionamiento de las glorietas en Gran Bretaña, es decir, parten de una base empírica, mientras que los desarrollados en Francia, parten de una base probabilística.

Entre los ingleses, el más conocido es el ARCADY-2 que, basado en datos empíricos y alimentado mediante los datos geométricos de la fórmula inglesa y la matriz origen-destino de tráficos, proporciona la longitud de las colas probables que se forman en las entradas y la duración de las esperas, ofreciendo los resultados mediante tabulaciones y salidas gráficas¹⁰.

Entre los franceses destacan los denominados MUGET y GIRABASE, ambos en lenguaje Basic y válidos para sistemas operativos CP/M y MS/DOS, al igual que el británico. (CETUR, 1985)

El primero, elaborado y distribuido por la C.E.T.E. Méditerranée, se basa en el método de Harders y requiere como datos, el número de carriles en el anillo, número de entradas, tiempo de inserción (3 casos estándar), tráfico en el anillo y tráfico en la entrada. Proporciona los tráficos máximos en el anillo, en la entrada, la probabilidad de formación de colas y el número máximo de vehículos en espera.

El denominado GIRABASE, elaborado y distribuido por la C.E.T.E. de l'Ouest y utilizable sólo para glorietas de más de 15 m. de radio, se basa en el método de Siegloch y requiere como datos: número de entradas, matriz origen-destino de tráficos en hora punta, número de carriles de entrada, anchura de los islotes separadores y anchura

¹⁰ Sobre el ARCADY-2, ver por ejemplo: HOLLIS, 1980; SEMMENS, 1985; WILLUMSEN, 1988; SUTCLIFFE, 1990; WEBB, 1993.

del anillo. Proporciona el coeficiente de reserva de capacidad en cada entrada, tiempo medio perdido en cada entrada y longitud máxima de la cola de espera.

Existen, en la actualidad, muchos otros programas de ordenador que ayudan al cálculo de la capacidad de las entradas a glorietas e, incluso, al diseño completo de ésta¹¹.

3.3. Mediciones de la capacidad en glorietas madrileñas

Ya en 1989, se realizó un estudio de la capacidad de la entrada de Boadilla, en condiciones de saturación, en la glorieta del mismo nombre, situada sobre la carretera M-503, ronda Sur Aravaca-Pozuelo, competencia de la Comunidad de Madrid¹².

El estudio de la capacidad de esta glorieta, realizado mediante el aforo de los tráficos entrante, saliente y molesto, reveló que el volumen observado de tráfico entrante en el período punta (852 vehículos) resultaba un 40% superior al teórico calculado mediante la fórmula del CETUR (599 vehículos) y un 50% mayor que el correspondiente a la fórmula inglesa del TRRL (563 vehículos).

Por su parte, en el estudio realizado en 1993 sobre doce glorietas situadas en carreteras de la Comunidad de Madrid (DE LA HOZ y POZUETA, 1995), la comparación entre las intensidades reales aforadas y las teóricas obtenidas mediante la aplicación de la fórmula del CETUR arrojó similares diferencias. Concretamente, en dos de las glorietas analizadas, la intensidad real resultó ser un 46 y un 31% superior a la capacidad teórica calculada mediante la fórmula francesa.

Aunque estas mediciones no ofrecen base suficiente para proponer una corrección contrastada de las fórmulas francesa o inglesa que las adapte a las características españolas, todo parece indicar, que la capacidad real de las entradas a glorietas en las condiciones de circulación españolas es netamente superior a la que proporcionan las fórmulas empíricas francesa o inglesa.

La mayor capacidad observada en las entradas a glorietas españolas, en ambos estudios, podría derivar de diferencias en el intervalo necesario para acceder al anillo, que resulta necesario en cada país.

¹¹ Entre ellos el holandés «EXPLORER (Verkenner)» (VAN, AREM 1992), los australianos «MODELO» (CHEUNG, 1992) y «SIDRA» (AKCELIK, 1991) o el inglés «ROBOSIN» (IRANI, 1993).

¹² Este estudio se presenta como Anexo a estas recomendaciones.

En efecto, tanto las fórmulas empíricas como las probabilísticas, en Inglaterra y Francia, remiten a la necesidad de un intervalo crítico o «gap», entre dos vehículos circulando por el anillo, en torno a los cuatro segundos, para que otro pueda acceder al mismo desde la línea de Ceda el Paso. Por su parte, publicaciones americanas tan prestigiadas como el «Highway Capacity Manual», lo considera de 5 segundos para las intersecciones en «T».

Pués bien, en las observaciones realizadas en glorietas de la Comunidad de Madrid, en 1993, se ha comprobado que porcentajes significativos de vehículos acceden al anillo bajo intervalos de tiempo sensiblemente inferiores a cuatro segundos¹³. También, en las observaciones realizadas en 1989, incluidas como anexo a estas recomendaciones, se comprobó la entrada a la glorieta de un porcentaje importante de automóviles con intervalos de 3.5-3.6 segundos.

Estos datos sobre el comportamiento de los conductores en la línea de Ceda el Paso de las glorietas madrileñas parecen confirmar que el intervalo crítico que realmente opera en España para decidir a un conductor a acceder a la calzada anular de una glorieta es significativamente inferior a los usuales en Francia o Inglaterra, lo que explicaría la diferencia entre las intensidades registradas en las entradas y las capacidades calculadas mediante fórmulas extranjeras. Esta circunstancia podría deberse a la idiosincrasia y hábitos de los conductores madrileños, acostumbrados tal vez a un tipo de conducción más «nerviosa». No obstante, la confirmación de una conclusión en este sentido precisaría de estudios más detallados, de los que todavía no se dispone.

3.4. Recomendaciones sobre capacidad

Como se ha visto, el cálculo de la capacidad de una glorieta, o de una de sus entradas, no resulta nada sencillo. De hecho, existen diferentes aproximaciones al tema que desembocan en ábacos o fórmulas, también diferentes.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que, en todos los métodos existentes influye de alguna forma el comportamiento de los conductores (obviamente en los métodos empíricos y, a través de la determinación de los intervalos, en los probabilísticos), lo que no

¹³ Concretamente, en el estudio de 1993 (DE LA HOZ y POZUETA, 1995), se observó que: a) Con intervalos por encima de los 4 segundos, la práctica totalidad de los vehículos ligeros situados en la línea de Ceda el Paso acceden al anillo sin incidencias. Este mismo intervalo se comprueba suficiente para algunas furgonetas. b) Los autobuses y vehículos pesados comienzan a acceder a partir de intervalos de 5 o más segundos. c) Un cierto porcentaje de vehículos ligeros, difícil de precisar cuantitativamente, pero en todo caso significativo, accede al anillo con intervalos comprendidos entre 3 y 4 segundos, sin incidencias notables. d) Un pequeño porcentaje de vehículos ligeros accede a la glorieta con intervalos entre los 2 y 3 segundos, en general, de forma apurada y provocando algún incidente. e) No se observan entradas con intervalos inferiores a los dos segundos.

hace recomendable la importación de fórmulas de otros países, sin alguna contrastación¹⁴.

Sin embargo, tal como se ha visto, los estudios existentes en España sobre la capacidad de las entradas a glorietas no permiten todavía proponer fórmulas alternativas a las extranjeras, aunque sí parecen coincidir en que habrían de corregirse al alza los resultados de éstas para adaptarlos al entorno español.

No obstante, la coincidencia que en cuanto a órdenes de magnitud se observa en la mayoría de los métodos extranjeros en uso y el hecho de que, en todo caso, la aplicación de éstos supondría contar con una reserva de capacidad sobre la teórica, animan a recomendar al proyectista español un procedimiento que le permita orientarse en esta cuestión, utilizando con cierta prudencia los métodos extranjeros.

El procedimiento a seguir para garantizar la capacidad adecuada en un proyecto de glorieta sería el siguiente:

En primer lugar, se obtendrían o estimarían los tráfico en torno a cada entrada (Q_c , el que circula por el anillo delante de la entrada, Q_e , tráfico entrante, y Q_s , tráfico saliente) para el año horizonte de proyecto.

En segundo lugar, se comprobaría si con el tráfico molesto esperado ($Q_c + 0.2Q_s$) y aplicando la fórmula francesa, del CETUR:

$$Q_e = 1.500 - 5/6 (Q_c + 0,2 Q_s)$$

(donde todos los tráfico se miden en vehículos ligeros por hora, según la equivalencia de 1 vehículo pesado = 2 ligeros y un vehículos de «dos ruedas» = a 0,5 vehículos ligeros)¹⁵ resulta una capacidad en la entrada, Q_e , superior al tráfico de entrada previsto. Si dicha capacidad es superior al tráfico previsto, podría adoptarse una geometría de glorieta con accesos y anillo de un solo carril.

En el caso de que la capacidad hallada mediante la fórmula francesa, fuera inferior al tráfico previsto, debería procederse a recalcularla ampliando la anchura de entradas, salidas y anillo, hasta llegar a una capacidad suficiente para el tráfico previsto.

¹⁴ El comportamiento de los conductores en las glorietas depende de su conocimiento del funcionamiento de las mismas, de manera que, cuanto más habituado está un conductor a las glorietas, más fácilmente las atraviesa. La influencia de este factor de «hábito» en el funcionamiento de las glorietas se ha demostrado, por ejemplo, en Francia, al comprobar que la capacidad real de las glorietas era bastante más reducida que la que se deducía de las fórmulas inglesas empíricas, que responden a unos conductores muy habituados a este tipo de intersecciones (LOUAH, 1984). No obstante, la experiencia española muestra que, aún con una experiencia de pocos años en la circulación a través de glorietas, los conductores pueden usarlas muy eficazmente. Ello parece indicar la existencia de otros factores y no sólo la experiencia en la facilidad de utilización de las glorietas (DE LA HOZ y POZUETA, 1995). Estudios americanos, por su parte, subrayan cómo las glorietas («roundabouts», «rotary») funcionan bien en Europa y Australia, pero no en Norteamérica, debido a la tradición y condiciones locales, así como a la familiaridad con este tipo de intersecciones. (ITE, 1992)

¹⁵ Tanto en esta fórmula, CETUR-86, como en todas las mencionadas, la capacidad y los tráfico se miden en vehículos ligeros por hora, lo que implica convertir a estas unidades otros tipos de vehículos que utilicen la intersección según la composición del tráfico en la misma. En los métodos francés e inglés se utiliza la equivalencia de vehículo pesado = 2 vehículos ligeros y los vehículos de «dos ruedas» se hacen equivalentes a 0,5, en el caso del francés. Estas son las equivalencias que se adoptan también en estas recomendaciones.

Una vez establecidos mediante este método el número de carriles de la calzada anular, las entradas y las salidas, se procedería al diseño preciso de la glorieta de acuerdo con las recomendaciones geométricas.

Establecida la geometría concreta de la glorieta, podría procederse a una comprobación cautelar de la capacidad de cada entrada mediante otro de los métodos disponibles.

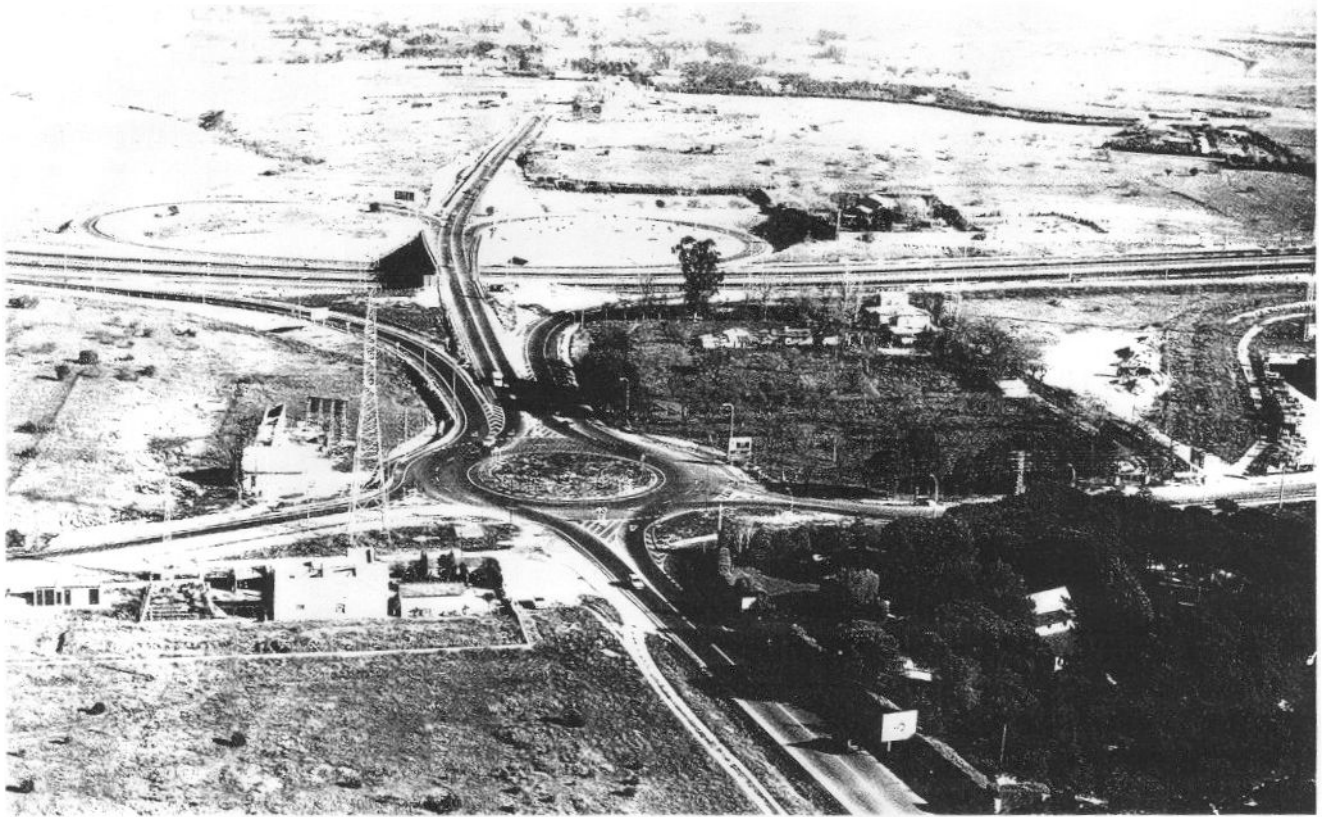
Con este procedimiento parece poder asegurarse que la geometría garantice la capacidad necesarias y una cierta reserva de la misma.

En definitiva, se propone que todos los proyectos de glorietas presentados ante la Comunidad de Madrid, demuestren que, al menos, mediante dos de los métodos más conocidos, se comprueba que la solución adoptada garantiza la capacidad necesaria en las entradas para los tráficos previstos.

Debe indicarse que, el método francés, del CETUR-86, propuesto para la determinación de la anchura del anillo y las entradas no especifica la ganancia de capacidad que se obtiene mediante una calzada anular o una entrada de 3 carriles, aunque admite que se produce (CETUR, 1988). En consecuencia y para el caso en que fuera necesario proceder a la consideración de entradas o anillo de más de 2 carriles, deberían utilizarse otros métodos, como la fórmula inglesa, procediéndose por aproximaciones sucesivas.

Finalmente, conviene señalar que, una forma eficaz de aumentar considerablemente la capacidad real de una glorieta, es dotarla de ramales de giro directo a la derecha, situados fuera de la calzada anular. Dichos ramales permiten reducir el tráfico que circula por la calzada anular y pueden tener una gran capacidad.

De acuerdo con las guías existentes, debe considerarse la utilización de este tipo de ramales especiales, cuando el tráfico de giro a la derecha en una entrada suponga el 50% del total o sea superior a los 300 v/h en hora punta.



Glorieta de unión de las carreteras M-100 y M-103 al comienzo de la travesía de Algete. Su construcción ha ordenado mejor las circulaciones disminuyendo la accidentalidad de manera significativa

4. Recomendaciones geométricas

4.1. Consideraciones de método

La definición geométrica final de una glorieta depende de los objetivos que se persigan con su construcción (estrictamente de tráfico, monumentales, etc) y de las características, tanto de las vías y su tráfico, como del entorno en que se inscribe.

Ello hace que, en general, deba adoptarse una aproximación multicriterio para determinar los parámetros geométricos más adecuados a una intersección giratoria, que tenga en cuenta dichos objetivos y factores.

Dicha aproximación resulta, sin embargo, de gran complejidad y dificulta la exposición de algunas reglas sencillas que permitan al proyectista contar con unas referencias mínimas de diseño, posteriormente contrastables y matizables con otras exigencias de la intersección.

En esa línea, las recomendaciones geométricas que se presentan a continuación, se han elaborado teniendo en cuenta dos factores fundamentales. Por una parte, el factor capacidad, que se traduce en intentar que el diseño garantice, en todo momento, un funcionamiento fluido de la glorieta con los tráficos previstos. Por otra parte, el factor seguridad, que prima las geometrias que garantizan bajos índices de accidentalidad.

Capacidad y seguridad constituyen la base por tanto de estas recomendaciones geométricas que podrán matizarse en función de otras consideraciones.

El método de exposición adoptado en estas recomendaciones consiste en descomponer las glorietas en sus elementos característicos, analizar su función y proporcionar orientaciones formales o geométricas para cada uno de ellos. Esta aproximación es coherente con la experiencia contrastada de que la eficacia de las glorietas se debe, dentro de su estructura de intersección giratoria, al buen diseño de cada elemento por separado, tal como ya se ha puesto de relieve en lo referente a capacidad.

Para cada elemento de la glorieta, se ha intentado elaborar una o varias recomendaciones finales que sirvan de guía a la labor de proyectista. Previamente a ello, sin embargo, se exponen los

argumentos y conclusiones principales que la bibliografía especializada o la experiencia española señalan en cuestiones de geometría. Algunos de ellos se recogen en las recomendaciones, mientras otros, aún pudiendo ser de gran interés, no se recogen, bien por su falta de contrastación, bien por no adecuarse a las condiciones españolas.

4.2. Percepción y visibilidad en glorietas

Ya se ha señalado, en otro lugar de este trabajo (ver apartado 2.4), la importancia que tiene la percepción de la glorieta para su correcto funcionamiento y se han hecho algunas recomendaciones al respecto.

Conviene, sin embargo insistir, en la incidencia que la perceptibilidad puede tener en el índice de accidentalidad de una glorieta. Baste para ello recordar que los accidentes más frecuentes en glorietas (30% del total en Inglaterra, 37% en Francia, etc) son los que se producen por pérdidas de control en la entrada, debidas generalmente a la excesiva velocidad con que los vehículos llegan a la intersección.

Una de las posibles causas de esta excesiva velocidad puede ser la inadecuada percepción que el conductor tiene de la glorieta y, en consecuencia, en su falta de conciencia del tipo de intersección que va a afrontar y de la reducción de velocidad que le exige.

En el caso madrileño, el análisis de accidentes muestra que las pérdidas de control en las entradas suponen el 51% de los accidentes en glorietas, un porcentaje sustancialmente mayor que el de otros países, y que todos los mortales son de este tipo. (DE LA HOZ y POZUETA, 1995)

De ahí que, la consecución de una buena percepción de la intersección deba figurar entre los objetivos principales de la localización y diseño concretos de cada glorieta.

En este sentido, una buena percepción exige la existencia de unos niveles mínimos de visibilidad en las aproximaciones a la glorieta, que permitan a los conductores un reconocimiento visual de la intersección giratoria. Ello requiere la existencia de un área despejada de obstáculos visuales que haga factible dicha visibilidad.

La guía francesa recomienda, a este respecto, mantener despejada un área con vértice en un punto de la carretera entrante, situado a dos metros de su borde derecho y a una distancia de la línea de ceda el paso igual a la de parada, limitada por la izquierda por una tangente desde ese punto a la calzada anular, a dos metros de su borde exterior (ver esquema adjunto)¹.

Pero, además, esta percepción lejana debe ir acompañada de una disposición geométrica que permita al conductor que llega a la línea de «ceda el paso» tener una visión clara de la intersección. Una buena visibilidad en las entradas de las glorietas es la garantía para que el conductor entrante pueda efectuar la maniobra de incorporación con la máxima tranquilidad y seguridad.

Para ello es imprescindible que la calzada anular y la entrada anterior a aquella en que se encuentra el vehículo entrante sean visibles en una longitud tal, que garantice la inocuidad de la aparición de otro vehículo en el momento de iniciar el primero la maniobra de entrada. Existe una gran coincidencia en la bibliografía especializada en exigir en las entradas una visibilidad mínima hacia la izquierda de 50 metros o hasta la entrada anterior².

Por su parte, la visibilidad hacia la derecha o hacia delante, de menor importancia en el funcionamiento de la glorieta, suele abordarse en relación con la distancia de parada. No obstante y con objeto de no hacer intervenir demasiados parámetros diferentes en su geometría, y habida cuenta de que el espacio de visibilidad hacia la derecha o hacia el frente en una entrada coincide con el de visibilidad hacia la izquierda en la entrada siguiente, las guías recomiendan la utilización de la misma distancia de visibilidad que la definida hacia la izquierda, es decir, 50 metros para la medida de ambas visibilidades.

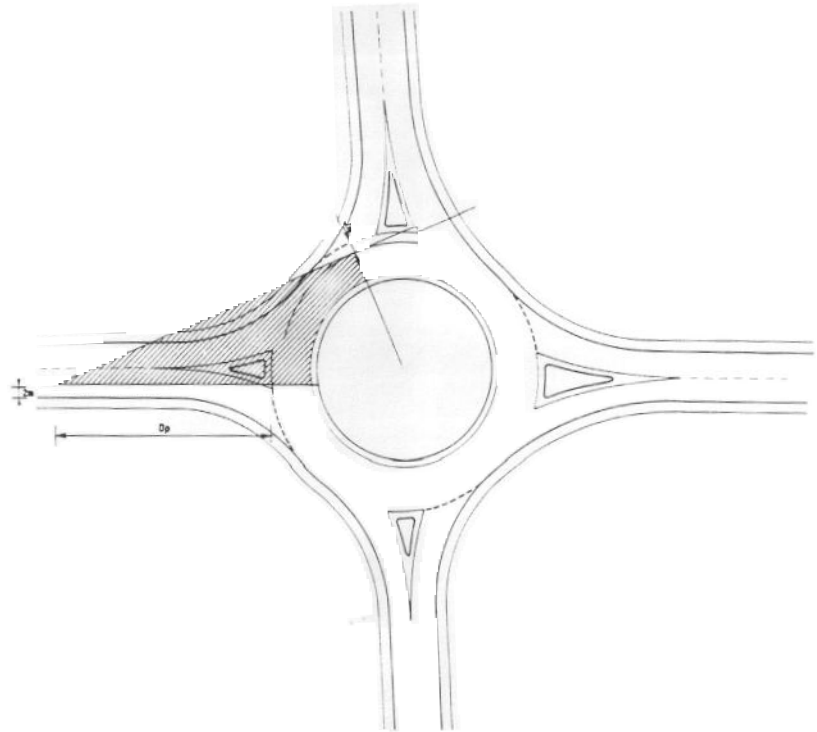
En cuanto a la distancia de visibilidad de los pasos de peatones suele exigirse la de parada, salvo desde la línea de ceda el paso a la entrada de la calzada anular, desde la que se exige la visión de toda la anchura del paso de peatones de la siguiente salida o de cualquier otro situado a menos de 50 metros.

Para que el cumplimiento de todas estas exigencias de visibilidad sea operativo es importante vigilar que ésta no quede anulada o reducida por algunos elementos constructivos, como bombeos, isletas, señales, etc., que puedan interrumpir la visual del conductor.

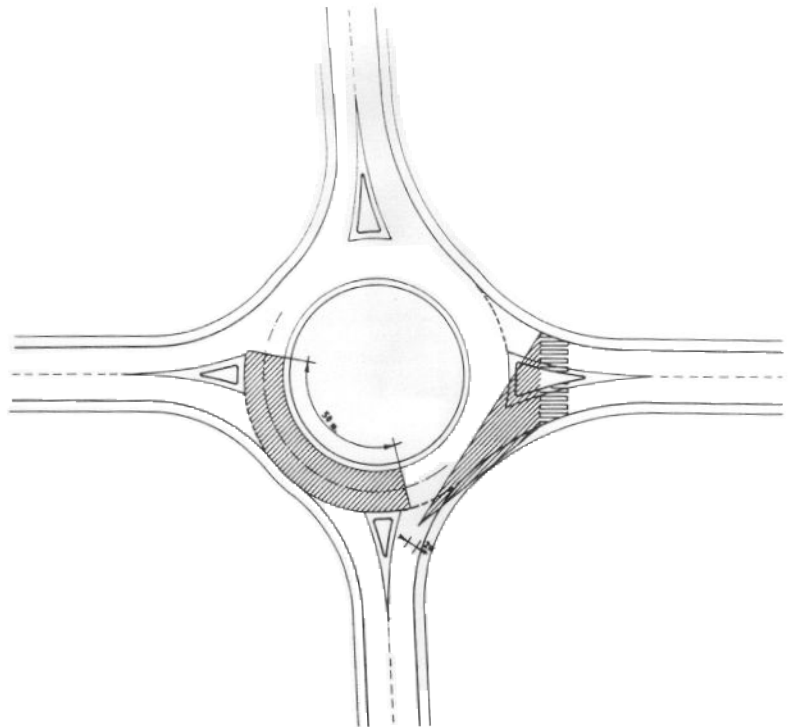
¹ Las publicaciones referenciadas como CETUR, 1988; SETRA, 1984B y DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B son las referencias bibliográficas principales de este capítulo. Con objeto de no interrumpir el texto continuamente con citas a estas publicaciones, se harán referencias a ellas en el texto como las guías francesas y británicas o con denominaciones similares. Otros países han publicado guías oficiales u oficiosas para el diseño de glonetas. Para Holanda ver ERNE, 1988 y CROW, 1993. Para Escocia ver: DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1993. Para Australia ver: NAASRA, 1985 y AUSTRALIA, 1993. Para Finlandia ver: JORMALAINEN, 1990. Para un análisis de la evolución de estas guías o para la comparación de contenidos, ver: ALPHAND, 1991; TROUTBECK, 1992 o WORTHINGTON, 1992.

² Esta distancia, en torno a los 50 m, se deduce de la aplicación de los intervalos críticos a las exigencias de visibilidad. Es decir, si la teoría que subyace a todas las fórmulas de capacidad en glonetas se basa en la aceptación de que los conductores en la línea de ceda el paso se incorporan a la comente anular cuando el intervalo de tiempo entre dos vehículos consecutivos en ésta es superior a un cierto lapso de tiempo, es lógico que el funcionamiento de una glorieta exija la visibilidad de la distancia equivalente a dicho lapso de tiempo. Si se supone un intervalo crítico de 4 segundos y una velocidad de 40 Km/h, la distancia de visibilidad necesaria para que pueda ser «visible» dicho intervalo sería de unos 44 metros, mientras que si se eleva la velocidad a 50 km/h, dicha distancia sería de 55 metros. De ahí, la distancia intermedia genérica de 50 metros.

Límite mínimo de la zona libre de obstáculos visuales hacia la izquierda en entradas.



Visibilidad mínima hacia la izquierda en entradas y visibilidad de pasos de peatones.



En cuanto a la conveniencia de que el conjunto de la calzada circular sea visible desde todas las entradas, no hay consenso en la bibliografía consultada, existiendo ejemplos en España y en el extranjero de tratamientos de la isleta central que lo impiden³.

Los argumentos a favor de mantener una visibilidad prácticamente total en las glorietas se basan en la importancia que una buena percepción y comprensión de la intersección tiene sobre la seguridad de la misma. Desde otras perspectivas se señala, sin embargo, que mientras se mantengan los límites mínimos de visibilidad (los 50 metros señalados), el resto carece de importancia e, incluso, la ocultación de la parte de la glorieta que no necesita estrictamente ser vista, puede contribuir a evitar distracciones innecesarias y a reducir el deslumbramiento nocturno.

No obstante, en condiciones como las españolas, con escasa experiencia en la circulación en glorietas parece conveniente extremar las medidas que contribuyan a hacer fácilmente perceptible el conjunto de la intersección y, por tanto, su funcionamiento.

En todas las aproximaciones a una glorieta, se recomienda la existencia de una zona despejada de obstáculos que garantice a un conductor situado a la distancia de parada de la línea de ceda el paso y a dos metros del borde derecho de la calzada la visión del área definida por su trayectoria y una línea a su izquierda que, saliendo de este punto, sea tangente a la calzada anular a dos metros de su borde exterior.

Se recomienda que desde todas las entradas a una glorieta se garantice la visibilidad de los conductores hasta la entrada anterior, o a una distancia de 50 metros hacia la izquierda, medidos sobre el eje de la calzada anular. Igual visibilidad se recomienda hacia la derecha o en el sentido de la marcha en la calzada circular.

Desde todas las entradas a la glorieta, se asegurará que los conductores situados en la línea de ceda el paso tengan una visión completa de toda la anchura de los pasos de peatones situados en la próxima salida o a una distancia menor de 50 metros.

³ La Comunidad de Madrid ha construido en la Ronda Sur Aravaca-Pozuelo (M-503) varias glorietas con el islote central sobreelevado, lo mismo que puede observarse en algunas de las realizadas en la nueva ciudad inglesa de Milton Keynes. Sin embargo, algunos autores (HORMAN, 1983) desaconsejan la sobreelevación de la isleta central como consecuencia de la experiencia negativa de Australia.

4.3. Islote central

Dos son las cuestiones básicas que se plantean en cuanto a la geometría del islote central en las glorietas. Por una parte, su forma y, por otra, su tamaño.

Teniendo en cuenta que la forma del islote es la que define el anillo de circulación y que los cambios de curvatura pueden producir inestabilidad en la trayectoria de los vehículos, suele tenderse a isletas de forma circular o, a lo sumo, a formas elipsoidales de baja excentricidad⁴.

En cuanto al tamaño, conviene recordar las desventajas de los islotes pequeños y de los grandes.

Los islotes pequeños suponen radios de giro también pequeños, pero permiten trayectorias casi tangenciales de los vehículos que salen por el ramal opuesto, lo que incita a velocidades altas, reduciéndose, así, las condiciones de seguridad en la glorieta⁵.

Por su parte, los islotes grandes, además de requerir un mayor consumo de suelo, favorecen velocidades mayores en el anillo, al disponer de mayores radios de giro, sin aumentar la capacidad de la intersección, lo cual significa aumento del costo y reducción de la seguridad⁶.

En definitiva, la tendencia generalizada en todo el mundo⁷ es a la construcción de glorietas de tamaño medio, donde el radio mínimo y máximo del islote se fijan con el objetivo de conseguir una geometría adecuada de las entradas y evitar los excesos de velocidad por trayectorias tangenciales.

Así, por ejemplo, la guía francesa indica que los radios entre 20 y 30 metros son, en general, suficientes para glorietas interurbanas y que estos podrían reducirse en áreas urbanas o periurbanas, desaconsejando los superiores a 50 metros.

Esa misma guía plantea la posibilidad de poner en relación el radio del islote central con la anchura de las isletas deflectoras, que suelen disponerse en las entradas. Dicha relación puede establecerse, ya que las isletas situadas en las entradas desplazan éstas hacia la derecha con el riesgo de que las trayectorias de entrada resulten

⁴ En el análisis de la accidentalidad de glorietas de la Comunidad de Madrid, de las seis que concentraron mayor número de accidentes, 3 eran elipsoidales, con excentricidades en torno a 0,6. (DE LA HOZ, 1994)

⁵ Tras el establecimiento de la prioridad al anillo en Gran Bretaña y el definitivo abandono de la teoría del trenzado, que fomentaba las grandes glorietas, se tendió al diseño de glorietas de diámetros pequeños que, proporcionando una alta capacidad ocupaban reducidas superficies de suelo. Dicha tendencia se vio pronto puesta en cuestión por los resultados de investigaciones empíricas que mostraban un índice de accidentalidad muy superior en las glorietas pequeñas que en las convencionales (GREEN, 1980; MAYCOCK 1984). Otras publicaciones no británicas confirman la mayor accidentalidad de las glorietas de pequeño diámetro (SETRA, 1983; VAN MINEN, 1986).

⁶ Como se ha visto, el aumento del radio no se traduce necesariamente en un aumento de la capacidad, ya que ésta depende más de la geometría de las entradas y de la anchura de la calzada anular, que del radio (ver capítulo 3 de estas recomendaciones). Por otra parte, la similar accidentalidad de las glorietas suecas con la de otros tipos de intersecciones sin semaforizar comprobada hasta 1982, que constituye una notable excepción a la experiencia del resto de los países, coincidente en mostrar sistemáticamente una menor accidentalidad de las glorietas, podría deberse al hecho de que las glorietas construidas hasta esa fecha en Suecia eran de diámetros considerablemente mayores que las de otros países, situándose en torno a los 50 metros de diámetro (CEDERSUND, 1983).

⁷ La tendencia a las glorietas de tamaño medio es, hoy en día, común a Gran Bretaña, Francia, Australia, Suecia, etc. y se comprueba en toda la bibliografía. Ello no obsta a que, en determinadas circunstancias, la opción por las glorietas de pequeño diámetro y miniglorietas se considere adecuada y se potencie, como ocurre en algunos países nórdicos en carreteras de escaso tráfico (JOHAN-NENSEN, 1984; SEM, 1991; TRAFIKNAEMINDEN, 1993).

tangentes al islote central, si este no es suficientemente grande. Por ello, dicha publicación establece la regla general de que el radio del islote central debería ser superior a vez y media la anchura de la mayor isleta de entrada⁸.

La guía inglesa, por su parte, señala que el menor diámetro del círculo inscrito (una de las variables que intervienen en la fórmula de capacidad del TRRL y que puede asimilarse al diámetro del círculo definido por el islote más la calzada anular) viene determinado por los radios de giro y por la trayectoria de las ruedas del vehículo de proyecto, un trailer articulado, y resulta ser de 28 metros. Asimismo, y en línea con las argumentaciones anteriores sobre la necesidad de evitar entradas tangenciales, añade, que para asegurar una adecuada flexión en las entradas, el citado diámetro no podría ser inferior a 40 metros. (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B)

Otras publicaciones sugieren que el radio debe asegurar una distancia mínima entre entradas, que garantice el tiempo suficiente a los entrantes para saber si los que llegan por su izquierda saldrán o no antes de que ellos entren, lo que supondría distancias entre entradas en torno a los 50 metros y radios del islote central entre 20 y 23 metros⁹.

Por su parte, la Dirección General de Carreteras recomienda radios mínimos de giro de 25, 35 y 45 metros para ramales con velocidades específicas de 30, 35 y 40 km/h respectivamente. Aunque dichos radios no sean de automática aplicación al diseño de glorietas, ya que en ellas las trayectorias de los vehículos no se producen con radios iguales a los del islote, sino algo mayores, salvo en los casos de movimientos de cambios de sentido, constituyen una referencia que subraya la conveniencia de unos radios de cierta entidad. (MOPU, 1987)

En consecuencia con todo lo anterior:

Se recomiendan islotes de forma circular y radios comprendidos entre 15 y los 30 metros. Excepcionalmente se admiten islotes elipsoidales, siempre con excentricidad entre 3/4 y 1.¹⁰

⁸ Dado que las anchuras propuestas para las isletas de entrada son de 12, 15 y 20 m, para velocidades de las carreteras de 60, 80, y 100 Km/h, respectivamente, ello se traduce en radios del islote de 18, 23 y 30 metros (SETRA, 1984B).

⁹ Así lo recomienda A. Avent, del Brisbane City Council (AVENT, 1979), que también recomienda como comprobación de un buen diseño, que la trayectoria de cualquier vehículo en la glorietta, medida a dos metros del borde exterior de la calzada anular, no pueda tener un radio de giro superior a los 100 metros. Ello garantizará una velocidad inferior a 50 km/h.

¹⁰ En la primera edición de estas Recomendaciones, se sugerían radios del islote central entre los 12 y los 30 metros, en consonancia con la experiencia internacional. Sin embargo, la experiencia recogida por los servicios técnicos de la Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid, desde 1989, indica que, con radios inferiores a 15 metros, resulta imposible cumplir conjuntamente el resto de las recomendaciones geométricas (como la distancia entre entradas y salidas, etc.). Dado que el objetivo de estas Recomendaciones es, sobre todo, lograr glorietas seguras, se ha procedido a elevar el radio mínimo al umbral que permite el cumplimiento de todo el resto de recomendaciones geométricas.

4.4. Calzada anular o anillo

4.4.1. Anchura

La anchura de la calzada central viene condicionada fundamentalmente por dos cuestiones. Por una parte, por la necesidad de garantizar el sobreecho de la huella de la trayectoria de los vehículos articulados, al que suele añadirse un margen de seguridad y, por otra parte, por cuestiones de capacidad.

La primera cuestión no puede traducirse en el establecimiento de una anchura de calzada mínima, ya que el sobreecho depende del radio de giro, es decir, en definitiva del radio del islote central, de forma que, a radios menores corresponderían sobreechos mayores a añadir a la anchura del carril.

Desde ese punto de vista, la Dirección General de Carreteras (MOPU, 1987) recomienda que para un radio de quince metros y un bajo porcentaje de pesados, la anchura mínima de un ramal de un solo carril, debería ser de 4,80, que se elevaría a 5,10 para más de un 10% de pesados, cifras a las que habrían que sumar 0,30 metros si el carril dispone de bordillos a un solo lado o 0,50 si es a ambos lados¹¹.

Por su parte, la guía francesa recomienda anchos entre cinco y seis metros para un solo carril, ocho para el caso de dos carriles y 10-11 metros para tres carriles.

En cuanto al número de carriles, ya se ha visto en el capítulo sobre capacidad, que la decisión depende fundamentalmente de la demanda de tráfico y que un segundo carril en la calzada anular puede aumentar en torno a un 40% la capacidad de una entrada.

Debe recordarse, no obstante, la escasa o nula ganancia de capacidad que se produce en una glorieta, construyendo una calzada anular de dos carriles, si las entradas son de un solo carril. En efecto, la experiencia de la Comunidad de Madrid y la de otros países muestra que en este tipo de glorietas no llegan a formarse dos vías de circulación en el anillo, produciéndose sólo algunas incorporaciones a éste mientras un vehículo circula por él, cuando el movimiento que pretende el vehículo entrante es un simple giro a la derecha, por lo que la glorieta funciona prácticamente como si

¹¹ Las anchuras recomendadas para este tipo de ramales disminuyen en función del radio de giro o del número de carriles. Para casos de radios de islotes muy reducidos, las exigencias de anchura son mayores pudiendo exigir anchuras para un carril considerables. Así, para un diámetro de islote central de 4 m, los estudios ingleses exigen una anchura de calzada de 12 metros, para asegurar el giro del vehículo tipo articulado (CHRISTIE, 1981).

dispusiera de un sólo carril en el anillo. Asimismo, se ha comprobado que este tipo de entradas aumentan en un porcentaje significativo de los casos la inseguridad del funcionamiento de la glorieta.

De ahí que, puesto que la experiencia parece indicar que la formación de una doble fila de circulación en la calzada anular depende básicamente de que esta doble fila se forme ya en las entradas, una de las reglas prácticas de la guía inglesa para determinar el ancho de dicha calzada sea recomendarla igual o un 20% superior a la anchura de la entrada más amplia. Regla que, en términos generales y supuesto un buen dimensionamiento de las entradas, garantiza la capacidad y la seguridad de circulación en el anillo.

Se recomienda una anchura constante entre 5 y 6 metros para la calzada anular de un sólo carril de circulación y de 8 a 10 metros para la calzada de doble carril, a determinar en función del radio del islote central.

El número de carriles se determinará en función de la anchura de entradas y salidas y de la capacidad necesaria.

Se recomienda que el número de carriles en el anillo sea similar al número de carriles de la entrada más ancha.

4.4.2. Peralte

En general, en las glorietas no es necesario disponer un peralte, entendido como forma de mejorar la seguridad del vehículo en el giro, debido a las bajas velocidades en que operan. Cuando éste se dispone, su construcción tiene por objeto generalmente mejorar el drenaje de la calzada anular.

Con este fin, la mayoría de las publicaciones coinciden en señalar la conveniencia de disponer una pendiente transversal a la calzada anular dirigida hacia el exterior de ésta¹².

Esta disposición en contraperalte se recomienda porque:

- Impide el encharcamiento de la glorieta.

¹² Las guías francesas, por ejemplo, recomiendan una pendiente del 2,5% hacia el exterior. La guía inglesa se muestra más cauta ya que considera incómoda y que «debe ser eliminada» la pendiente hacia el exterior, admitiéndola sólo en glorietas con velocidades bajas y recomendándola entre el 2 y el 2,5%. A. Avenit, del Brisbane City Council, recomienda pendientes hacia el exterior del 2,5 al 3% (AVEN, 1979).

- Facilita el mantenimiento del drenaje, al situarse este en el exterior de la calzada anular, de más fácil accesibilidad.
- Mejora la visibilidad de la calzada anular y, en general, de la glorieta, para los vehículos que se aproximan.
- Permite dar una mejor solución a los encuentros entre la calzada anular y los ramales de entrada o salida, evitando la formación de limatesas, que dan lugar a extraños movimientos de los vehículos, aumentando la incomodidad, la inseguridad y el riesgo de accidentes.

El más importante de los inconvenientes de esta disposición es que hace incómoda la circulación, al aumentar ligeramente el par de vuelco, aunque, dadas las bajas velocidades de circulación, esto no supone un aumento sensible del riesgo. No obstante, a pesar de este inconveniente, se juzgan mayores las ventajas y la mayoría de las glorietas se construyen con una ligera pendiente hacia el exterior¹³.

En los casos de calzada anular de varios carriles la guía inglesa propone disponer dos tipos de peralte, uno hacia el interior, en la franja interior, y otro hacia el exterior en el resto (2/3 hacia el interior y 1/3 hacia el exterior).

Por otra parte y para tratar de evitar la formación de charcos en el borde exterior de la calzada anular, suele recomendarse un perfil longitudinal de ésta con una ligera pendiente en cualquier sentido (0,5-0,67% en la guía inglesa).

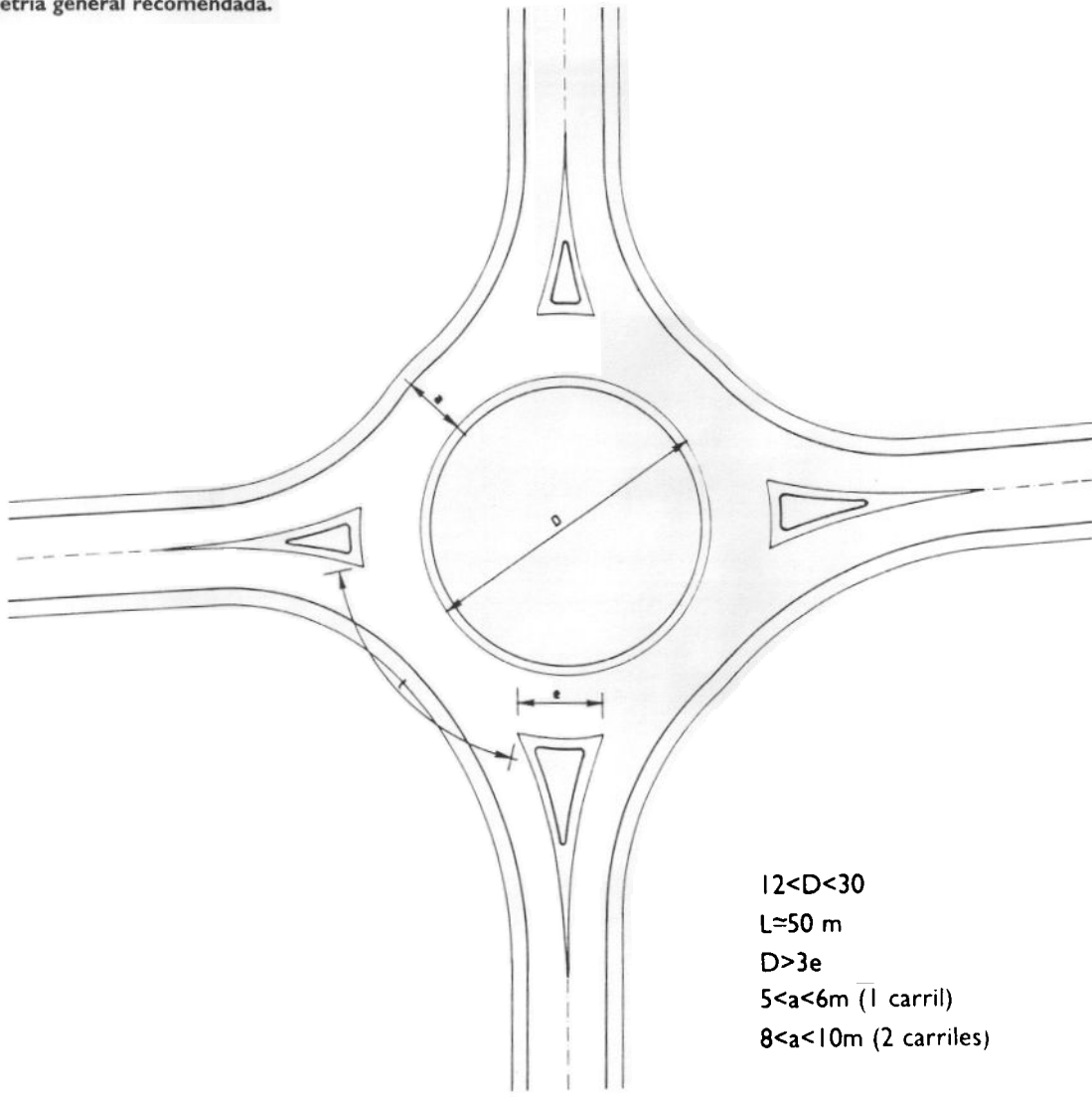
En consecuencia con lo anterior:

Para calzadas de un sólo carril de circulación, se recomienda disponer un peralte hacia el exterior de la calzada anular. Su valor será tal que permita un fácil acuerdo con el peralte de los ramales de acceso, sin exceder en ningún caso del 3% de pendiente.

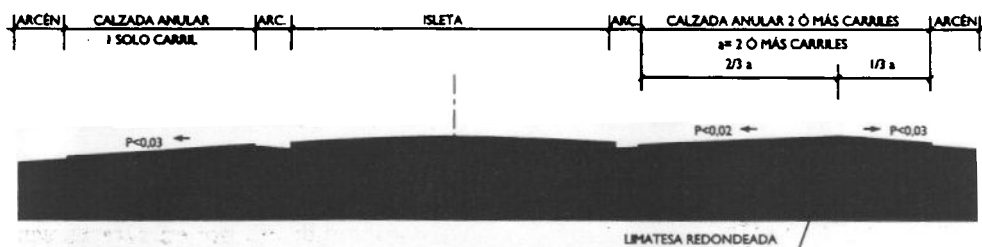
En el caso de dos o más carriles se recomienda disponer un peralte hacia el interior, con un máximo del 2% de pendiente, en los 2/3 interiores de la calzada anular y en el tercio restante un peralte similar al del párrafo anterior.

¹³ En Mallorca, una de las provincias españolas con mayor y más duradera experiencia en glorietas, éstas se construyen con la calzada anular peraltada hacia el interior, hacia el islote central, lo cual no parece haber afectado a su funcionamiento.

Resumen de la geometría general recomendada.



Sección transversal recomendada en calzada anular (1 y 2 o más carriles)



Se cuidarán las posibles limatesas, suavizándolas mediante curvas circulares.

4.4.3. Perfil longitudinal

La situación ideal de funcionamiento de una glorieta, tanto desde el punto de vista de la seguridad, como de la capacidad, es que descansa sobre una plataforma continua de terreno llano.

En general, cualquier modificación de esta disposición ideal se traduce en reducciones de visibilidad, cambios de pendiente o limatesas en la calzada anular o en su unión con los ramales, que hacen más insegura la conducción.

En general, las guías y publicaciones existentes sobre el tema, permiten un margen del 3% en cuanto a la pendiente del perfil longitudinal.

Se recomienda un perfil longitudinal horizontal para la calzada anular, con pendiente inferior al 3%. Deben tratar de evitarse los cambios frecuentes de pendiente en la calzada anular.

4.5. Ramales de entrada y salida a la glorieta

4.5.1. Número y disposición de los ramales

Un lugar común a la literatura sobre intersecciones giratorias es que estas pueden resolver intersecciones con tres, cuatro o más brazos.

A este respecto, debe subrayarse, que ni la capacidad, ni la seguridad dependen del número de brazos, sino, fundamentalmente, de la disposición concreta de cada entrada. No obstante, debe considerarse que, conforme aumenta el número de brazos, aumenta también la complejidad de la información que deben conocer los conductores sobre las salidas, lo que puede, complicar su travesía.

En cuanto a la distancia entre brazos, tampoco las condiciones de seguridad de una glorieta parecen venir determinadas por ella, aunque sí por la visibilidad entre ellos. De forma que, como ya se ha

señalado, suele exigirse una visibilidad mínima en una entrada que alcance a la entrada anterior o a 50 metros de desarrollo de la calzada anular hacia la izquierda.

Respecto a la distancia entre un ramal de entrada y el siguiente de salida, la cuestión es diferente, ya que en ese tramo se produce un cruce de vehículos (los entrantes y los que saldrán en la próxima salida), que tendrá lugar según un ángulo, tanto más peligroso, cuanto menor sea la distancia en cuestión. Para asegurar un ángulo de baja peligrosidad suele recomendarse una distancia mínima en torno a los 20 metros.

Una vez establecida esta distancia mínima, y si se tiene en cuenta la anchura de la isleta y de las entradas y salidas, la distancia entre entradas queda prácticamente determinada.

Un punto en el que coinciden plenamente todos los estudiosos del tema es que la mejor disposición de los brazos de una glorieta es una localización equidistante, ya que una secuencia repetida y rítmica de entradas y salidas, favorece la comprensión de la glorieta y facilita una conducción sin sobresaltos.

En cuanto a la posibilidad de disponer accesos directos desde una glorieta a un recinto de actividad (centro comercial, factoría industrial, etc), no se considera, en general, recomendable. La posibilidad de que obstáculos existentes en el interior del recinto (tanto fijos como móviles) puedan entorpecer la entrada de vehículos, obligándoles a permanecer en el anillo, con la consiguiente probabilidad de provocar incidentes, los hace poco recomendables¹⁴. No obstante, pueden disponerse este tipo de ramales cuando el diseño y la organización del recinto al que acceden garantice la seguridad del funcionamiento de la glorieta.

En consecuencia:

Se recomienda una disposición equidistante de los brazos de las glorietas y una separación entre una entrada y la salida más próxima que no sea inferior a 20 metros, medidos sobre el borde exterior de la calzada anular, entre puntas de isletas.

¹⁴ En las observaciones realizadas en glorietas de la Comunidad de Madrid, se comprobó la frecuencia con que los vehículos que acceden a recintos directamente desde el anillo provocaban incidentes. (DE LA HOZ y POZUETA, 1995)

4.5.2. Dirección del eje de los ramales

Una de las reglas de buen funcionamiento de las glorietas es que sean percibidas y comprendidas por el conductor antes de abordar la línea de «Ceda del Paso», de forma que éste sea consciente de la pérdida de prioridad de la carretera por la que circula, sea cual sea la categoría de la misma, y proceda a la reducción de velocidad consecuente.

Y una de las señales más claras y directas de que una carretera está llegando a un punto en que la prioridad puede no corresponder al conductor es que en la alineación de la carretera aparezca un obstáculo insalvable. Es decir, en este caso, el islote central de la glorieta.

También suele ser recomendable evitar que una entrada y una salida se encuentren alineadas, ya que esta disposición podría dar la sensación de continuidad de la vía y «ocultar» la existencia de la intersección.

Por ello:

Se recomienda que la alineación de los ejes de las carreteras confluyentes en una glorieta pase por el centro del islote central de la misma y, de no ser así, que la parte mayor del islote central resulte situada a la derecha del eje de las carreteras en su aproximación a la glorieta.

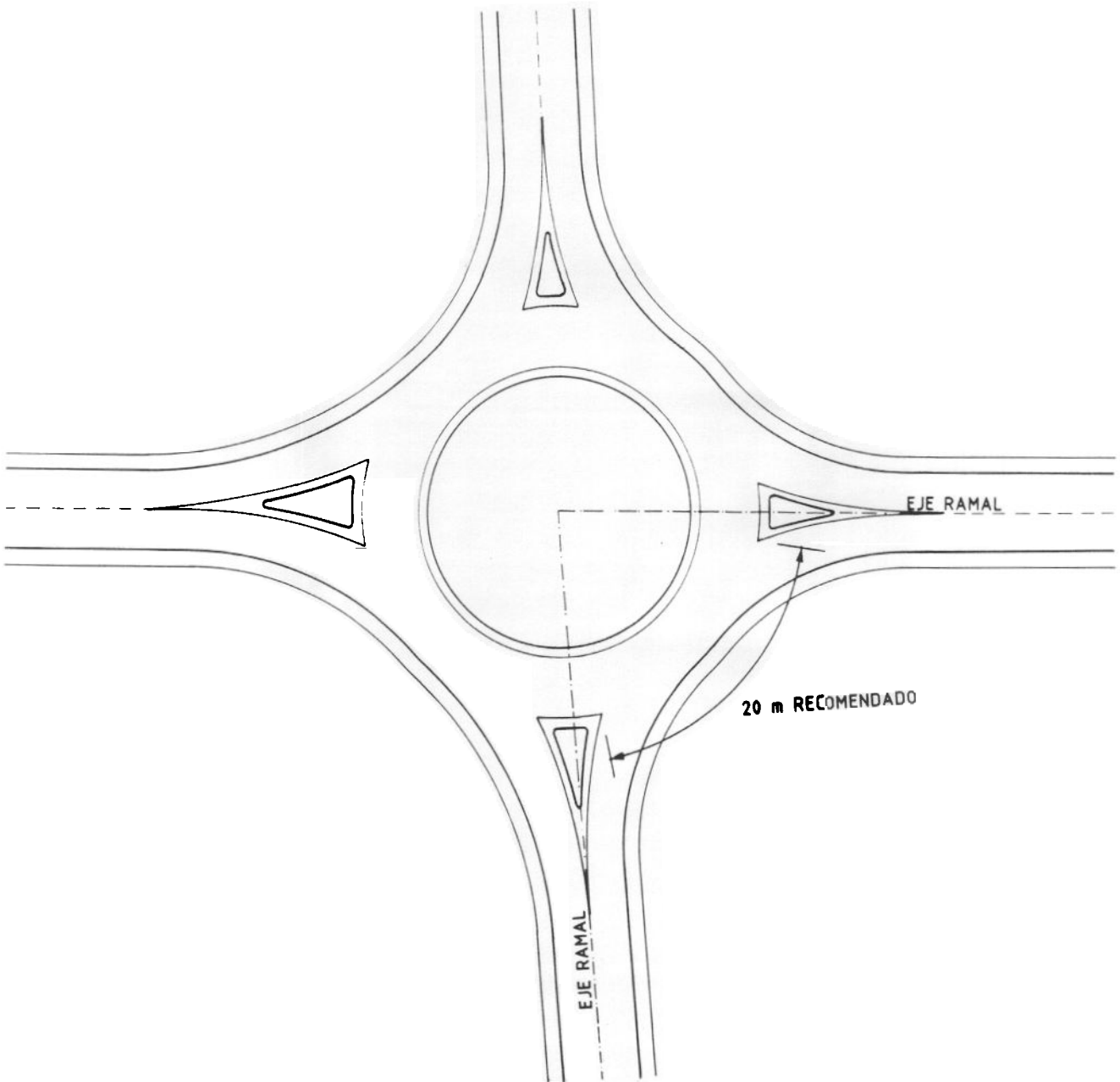
4.5.3. Geometría de las entradas

La geometría de las entradas constituye, probablemente, la característica más importante de cara a las condiciones de seguridad y capacidad de una glorieta, ya que, como se ha visto, la mayoría de los accidentes se producen por pérdidas de control en las entradas y la anchura y otras características de éstas inciden notablemente en el cálculo de su capacidad máxima.

Las funciones principales de la geometría de una entrada son: conducir a los vehículos entrantes a la línea de ceda el paso a una velocidad adecuada, dotarles de la visibilidad necesaria y orientarlos hacia la calzada anular en un ángulo que garantice la mayor fluidez y seguridad en la maniobra de entrada (LAYA, 1988).

**COLECCIÓN DE PLANOS DE CAMINOS
BIBLIOTECA**

Disposición de los ejes de los ramales y
separación entre entradas



El **ángulo de entrada** es, tal vez, el parámetro de mayor importancia en la disposición de una entrada¹⁵. Para un buen funcionamiento de la intersección, conviene que el ángulo no sea ni demasiado grande, ni demasiado pequeño.

No debe ser demasiado grande, porque no fomentaría la reducción de la velocidad, facilitaría accidentes graves (en ángulo próximo al recto) y el acceso a la calzada anular implicaría una maniobra incómoda.

Tampoco demasiado pequeño, porque ello supondría una incorporación próxima a la tangencial, que favorece las altas velocidades de incorporación, al mismo tiempo que, dificulta la visibilidad hacia la izquierda, obligando al conductor a un giro casi completo de la cabeza.

En consecuencia, suelen recomendarse ángulos de incorporación medios. La guía francesa del SETRA los sitúa entre 40° y 60°, mientras la inglesa los acota entre 20° y 60°, considerando 30° como el mejor¹⁶.

Para lograr este ángulo de entrada, debe canalizarse el flujo de los vehículos entrantes mediante una curva hacia la derecha que les conduzca a la posición de incorporación requerida. Esta **flexión en la entrada** se consigue generalmente mediante una curva de tipo circular cuyo objetivo es, en realidad, doble. Por una parte, conseguir la angulación requerida y, por otra, fomentar la reducción de velocidad al límite establecido.

Con objeto de asegurar una reducción significativa de la velocidad en la entrada, los **radios de curvatura** de la flexión del ramal de incorporación a la glorieta deben ser reducidos.

Un criterio propuesto por Aven es que el radio de la curva de entrada se aproxime al del anillo. Por su parte, la guía inglesa lo acota entre 10 y 100 metros, recomendándolo en torno a 20 metros, mientras las publicaciones francesas lo recomiendan entre 15 y 30 metros¹⁷.

Para dotar de mayor claridad y seguridad a esta flexión suele procederse a la construcción de **isletas de entrada** a las glorietas.

¹⁵ Se entiende por ángulo de entrada el que forman, el eje de la entrada en la línea de ceda el paso y la tangente al eje de la calzada circular en el punto en que ésta es interceptada por el anterior (ver esquema en apartado 3.2.1.1)

¹⁶ El hecho de que el ángulo de entrada ideal recomendado por los británicos, 30 grados, no esté dentro del intervalo sugerido por los franceses, no se debe a una contradicción entre ambas guías, sino al hecho de que la medición del ángulo de entrada es diferente en el caso francés y los resultados son numéricamente mayores (el ángulo se mide entre el eje de la entrada en la línea de ceda el paso y la tangente al borde exterior de la calzada anular en ese mismo punto, en el caso francés).

¹⁷ La diferencia en el acotamiento del radio entre las recomendaciones inglesas y francesas es debida a que las primeras consiguen la flexión en la entrada únicamente mediante esta curva, mientras que las francesas desvían previamente la entrada unos 10° respecto al eje de la carretera. Para conseguir una misma angulación y una entrada no tangencial al islote central, el método inglés admitiría radios muy superiores, de ahí el intervalo de 10 a 100 metros, que reducen por cuestiones de seguridad.

Además de canalizar la entrada, dichas isletas cumplen funciones suplementarias como, por ejemplo, advertir al conductor de la proximidad de la intersección. asegurar una mínima distancia entre la salida y la entrada de un brazo, lo que facilita para un vehículo en espera de entrar a la glorieta una percepción más clara del tráfico que, circulando por el anillo, lo abandonará en la salida anterior (ver en apartado 3, su incidencia en los cálculos de capacidad), servir de soporte a la señalización vertical, facilitar un refugio para el cruce de peatones, etc.

Todas estas funciones hacen que sea conveniente establecer algunas condiciones geométricas de las mismas que las garanticen.

Así, para advertir al conductor de la presencia de la intersección, conviene que la isleta de entrada se inicie con cierta anticipación, es decir, tenga una longitud mínima, y marque un cambio en la alineación de la vía (las publicaciones francesas recomiendan longitudes entre 10 y 60 metros)¹⁸.

En cuanto a su anchura, suele establecerse un mínimo en la línea de ceda el paso, ligado a la conveniencia de separar entrada y salida, para mejor percibir el tráfico saliente (entre 10 y 20 metros), y otro mínimo allí donde es atravesada por pasos de peatones, donde se le requiere anchura suficiente para dar refugio a un cochecito de niño, es decir unos 2 metros.

Respecto a su forma, la guía del CETUR recomienda que esta se inicie formando un ángulo de 10% respecto al eje de la carretera.

Debido al escaso radio de giro, es conveniente que la **anchura de los carriles de la entrada** sean algo más amplia que lo habitual (en torno a los 4 metros).

La experiencia de observaciones del funcionamiento de glorietas en la Comunidad de Madrid muestra, sin embargo, la importancia de que la anchura real practicable de las entradas en la línea de Ceda el Paso no permita la formación de más filas de espera que el número de carriles previsto.

En efecto, se ha observado en varias glorietas que, en condiciones de congestión de una entrada, los conductores tienden a formar en la línea de Ceda el Paso cuantas filas sean físicamente posibles. Estas

¹⁸ La experiencia de la Comunidad de Madrid parece mostrar la conveniencia de promover la construcción de isletas de cierta longitud, que guíen a los conductores con tiempo suficiente para que adapten su velocidad y forma de conducir al tipo de intersección a que hacen frente.

situaciones, que en casos de diseño generoso de la entrada han llevado a observar la espera de cuatro vehículos en paralelo en entradas de dos carriles, producen siempre un aumento de la peligrosidad, si el número de carriles del anillo es inferior al número de vehículos que acceden en paralelo. La conducción forzada a que obliga la reducción del número de filas para adecuarse a las del anillo es muy a menudo causa de incidentes, no suponiendo sino un mínimo incremento a efectos de capacidad.

Por ello, parece conveniente que la anchura proyectada para cada entrada quede definida físicamente en la obra, sin que queden posibilidades en los arcones o en el sobreancho de los carriles para que se formen más líneas de espera que carriles.

Con objeto, fundamentalmente, de aumentar la capacidad de las entradas, en anillos con mayor número de carriles, puede procederse a crear un **abocinamiento** en las mismas, es decir, a ampliar su anchura de forma que den cabida a más de una fila de vehículos. Dicho abocinamiento, que permite según la fórmula del CETUR aumentos de capacidad importantes (en torno al 40%), no precisa ser muy largo, ya que su único objetivo es permitir la formación de más de una fila de vehículos sobre la línea de «ceda el paso». Habitualmente, según la experiencia inglesa, la longitud de tres vehículos puede ser suficiente en medio periurbano (unos 15 metros), debiendo aumentarse ésta en medios rurales hasta unos 25 metros¹⁹.

En cuanto a los **acuerdos entre las entradas y la calzada circular** es conveniente que sean tangentes. En el caso de que la distancia entre el final de la curva de una entrada y el principio de la siguiente de salida sea pequeña, conviene unirlos por un tramo recto o, incluso, por una curva con centro en el exterior de la glorieta, para evitar la multiplicación de los cambios de curvatura.

Debe señalarse, finalmente, que deben evitarse los accesos parásitos al anillo (gasolineras, parking, etc.) que introducen un factor de confusión y riesgo o, en todo caso, ser tratados como entradas. Asimismo, debe evitarse los accesos directos a los ramales de entrada y salida de las glorietas que, sobre todo en las salidas, suponen un potencial de riesgo elevado.

¹⁹ Para el caso de glorietas situadas sobre vías interurbanas de 2x2 carriles, la guía francesa del SETRA, recomienda la reducción a uno de los dos carriles de entrada con objeto de reducir la velocidad, elevada en este tipo de vías, aunque después se proceda a un abocinamiento final.

En resumen, se recomienda:

La construcción de isletas que canalicen el tráfico de entrada a las glorietas. Las dimensiones mínimas o recomendables para estas isletas serían:

- **Anchura mínima, medida sobre la línea externa de la calzada circular, 12 metros**
- **Anchura mínima en paso de peatones, 2 metros**
- **Angulo de la isleta en su arranque con el eje de la carretera, entre 5° y 10°.**
- **Longitud mínima de la isleta, 15 metros, longitud recomendable, 30 metros.**

El ángulo de entrada a la calzada circular debería estar comprendido entre los 20° y los 60°.

El radio de giro de la flexión de entrada se debería situar entre los 15 y 25 metros.

La anchura de los carriles de entrada debería ser de 4 metros, como mínimo.

Se recomienda que la formalización de las entradas impida físicamente la formación en la linera de Ceda el Paso de más filas de espera que el número de carriles previsto.

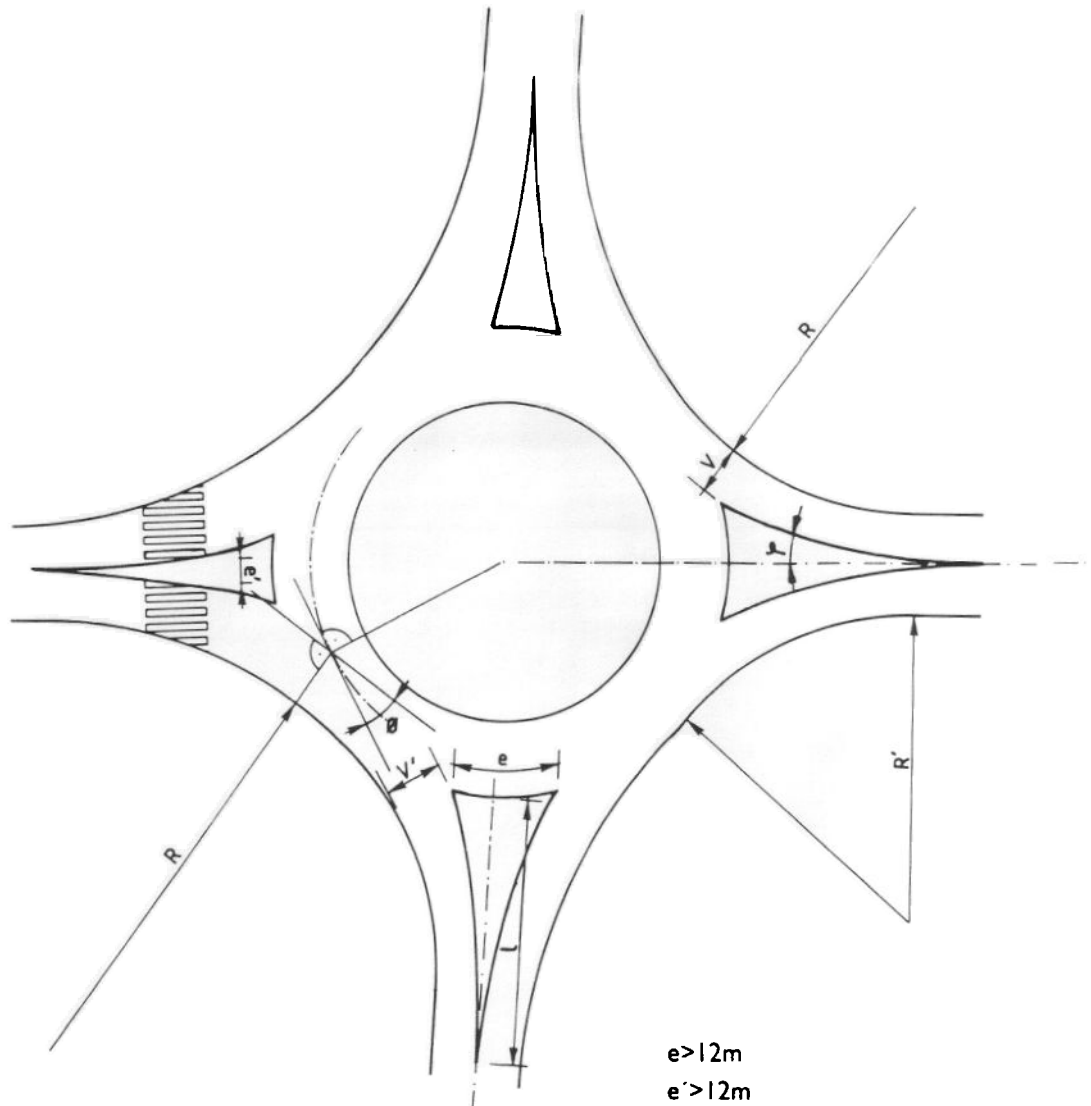
4.5.4. Geometría de las salidas

A la inversa de las entradas, la geometría de las salidas debe tener como objetivo principal facilitar a los vehículos el abandono de la calzada circular y aumentar su velocidad hasta la recomendada en la carretera en que se integran.

Por ello, no es necesario diseñar flexiones artificiales en las salidas, ni reducir los radios de las mismas, sino, al contrario, utilizar radios amplios que faciliten la fluidez del tráfico.²⁰ Únicamente, en los casos de tráfico peatonal importante se recomienda reducir los radios de giro en las salidas. Las guías francesas e inglesas coinciden en considerar radios de más de 40 metros y, en todo caso, nunca inferiores a los 20 metros.

²⁰ En las tomas de video realizadas en glorietas madrileñas se ha comprobado el escaso respeto que los conductores muestran frente a las geometrías «artificiales» de las salidas, observándose como los vehículos utilizan los arcones, cuando son físicamente accesibles, para seguir las trayectorias más directas y cómodas (DE LA HOZ y POZUETA, 1995)

Geometría de entradas y salidas. Dimensiones recomendadas.



- $e > 12\text{m}$
- $e' > 12\text{m}$
- $5 < \phi < 10^\circ$
- $l > 10\text{m}$
- $15 < R < 25\text{m}$
- $20 < R' < 10\text{m}$
- $20^\circ < \theta < 60^\circ$
- $V = 4\text{m}$ (por carril)
- $V' = 5\text{m}$ (un carril)
- $V' = 9\text{m}$ (dos carriles)

También en la línea de facilitar el abandono de la calzada circular, los carriles de las salidas tienden a diseñarse más anchos que los de las entradas, reduciéndose paulatinamente a la anchura del carril tipo de la carretera. Son habituales anchuras de 5 metros para una carril de salida y 8-9 para dos.²¹

Se recomienda utilizar curvas de radio entre 25 y 100 metros para las salidas de las glorietas.

La anchura de los carriles de salida recomendables sería de 5 metros para carreteras de un carril por sentido, que podría reducirse a 4,5 metros, cuando se trate de carretera de dos carriles por sentido. Estas anchuras deberán mantenerse todo a lo largo de la isleta deflectora.

4.6. Vías directas de giro a la derecha

Una de las formas de mejorar el rendimiento de las glorietas es la construcción de ramales directos de giro a la derecha, que unen una entrada con la siguiente salida, a la que se incorporan los vehículos que realizan el movimiento cediendo la prioridad.

Este tipo de elementos tienen como función facilitar la realización de los giros a la derecha, evitando su paso por la calzada anular de la glorieta y, con ello, descongestionando la calzada anular y los accesos a la misma²².

Su construcción se justifica cuando el porcentaje de giros es importante y se presentan problemas de capacidad en la glorieta (la guía inglesa los recomiendan cuando el porcentaje de giros sea superior al 50% o el tráfico mayor de 300 v/h).

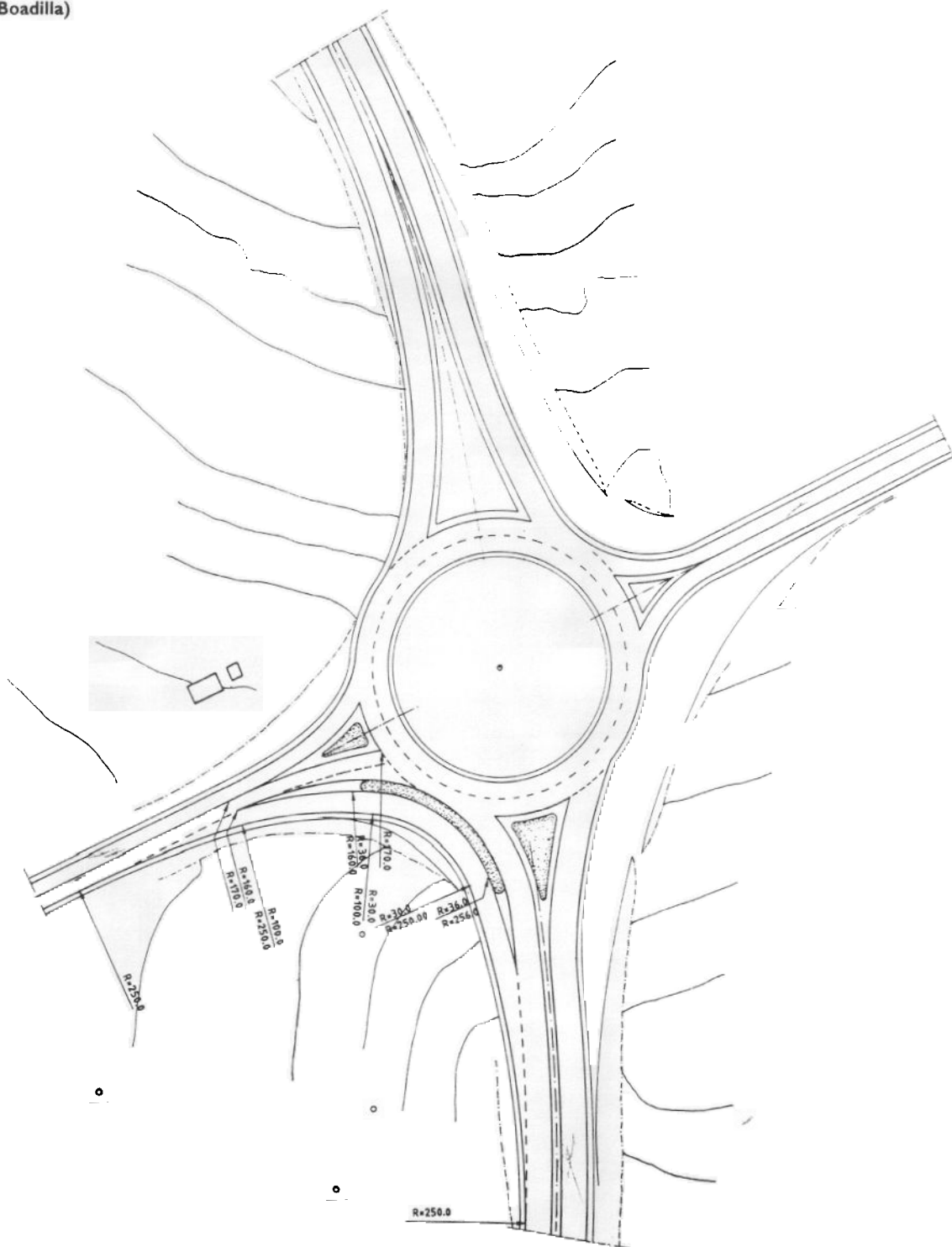
La capacidad de un carril de giro a la derecha puede ser muy elevada. En Gran Bretaña se han comprobado capacidades de 1.300 v/h, frecuentemente. En la glorieta de Rontegui, próxima a Bilbao, en un ramal directo de giro a la derecha, de dirección Guecho-Ugaldebieta, se han aforado tráficos en hora punta de la mañana de 2.006 vehículos.

De acuerdo con las publicaciones francesas e inglesas, estos carriles especiales pueden delimitarse dentro de la propia calzada anular de

²¹ La guía inglesa, recomienda que la salida se haga con un carril más que la carretera en la que desemboca, unos 7,5 m. de anchura para una salida a una carretera normal y 10-11 m. para salida a una de 2 x 2 carriles. Esta sobreanchura se reduciría según un bisel de 1:15 - 1:20.

²² Una de las 4 glorietas construidas por la Comunidad de Madrid en la Ronda Sur Aravaca-Pozuelo (M-503), la denominada «Radio Madrid», dispone de ramales giro directo a la derecha en los cuatro accesos. Por su parte, en la glorieta llamada de Boadilla, que presentaba problemas de saturación en la hora punta de la mañana y formación de colas en la entrada de Boadilla, se construyó en 1990 un ramal de giro directo a la derecha para ampliar la capacidad, que ha mejorado sustancialmente la situación.

Ejemplo de vía directa de giro a la derecha
(intersección de Boadilla)



la glorieta, de los que les separaría una banda de señalización. Sin embargo se ha comprobado que esta separación es menos efectiva y se recomienda construirlos independientemente de la calzada circular, de la que estarán separados al menos por una isleta.

Los problemas principales que plantean este tipo de ramales son:

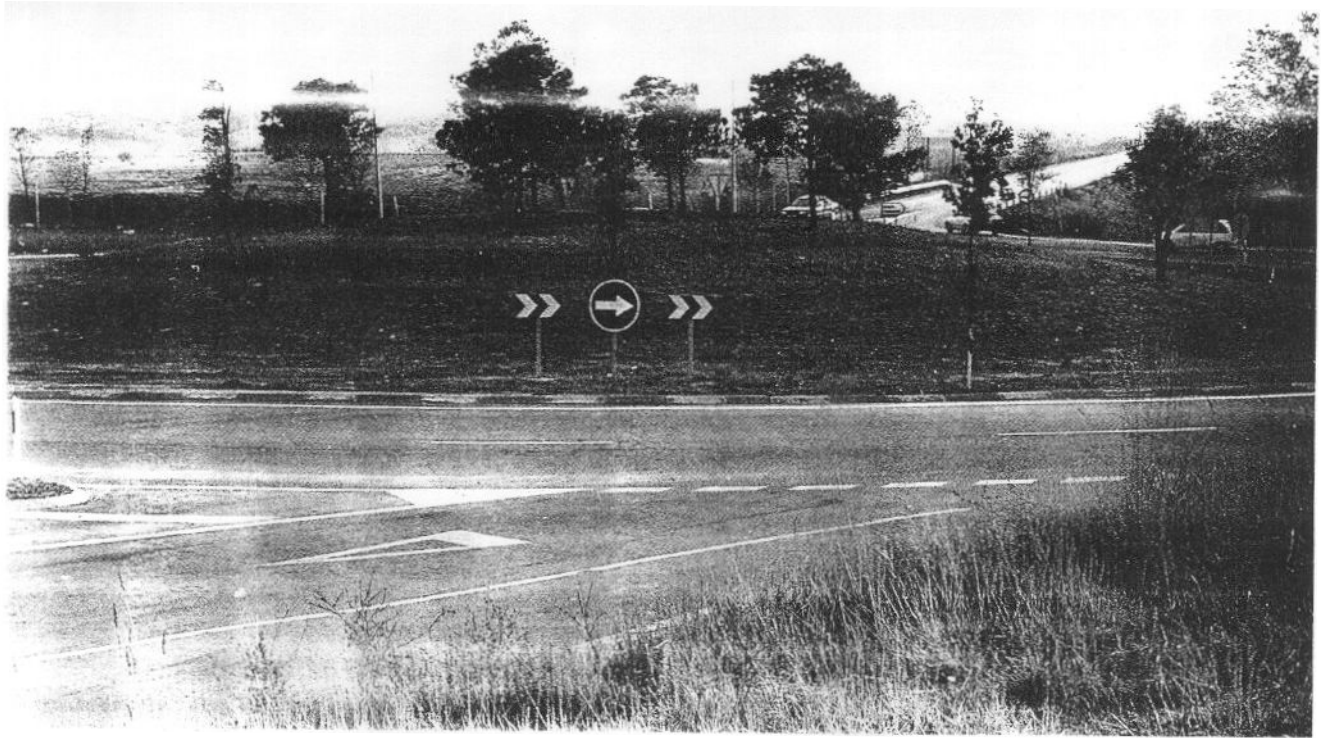
- Conflictos en su incorporación al ramal de salida, en un punto en que los vehículos salientes aumentan su velocidad. De ahí la recomendación de carriles de aceleración o la alternativa inglesa de recomendar que su incorporación se produzca antes de los 50 metros para evitar velocidades excesivas.²³
- Pueden causar problemas o complicar los pasos de peatones.
- Requieren una señalización compleja, a menudo, de difícil comprensión.

Por todo ello:

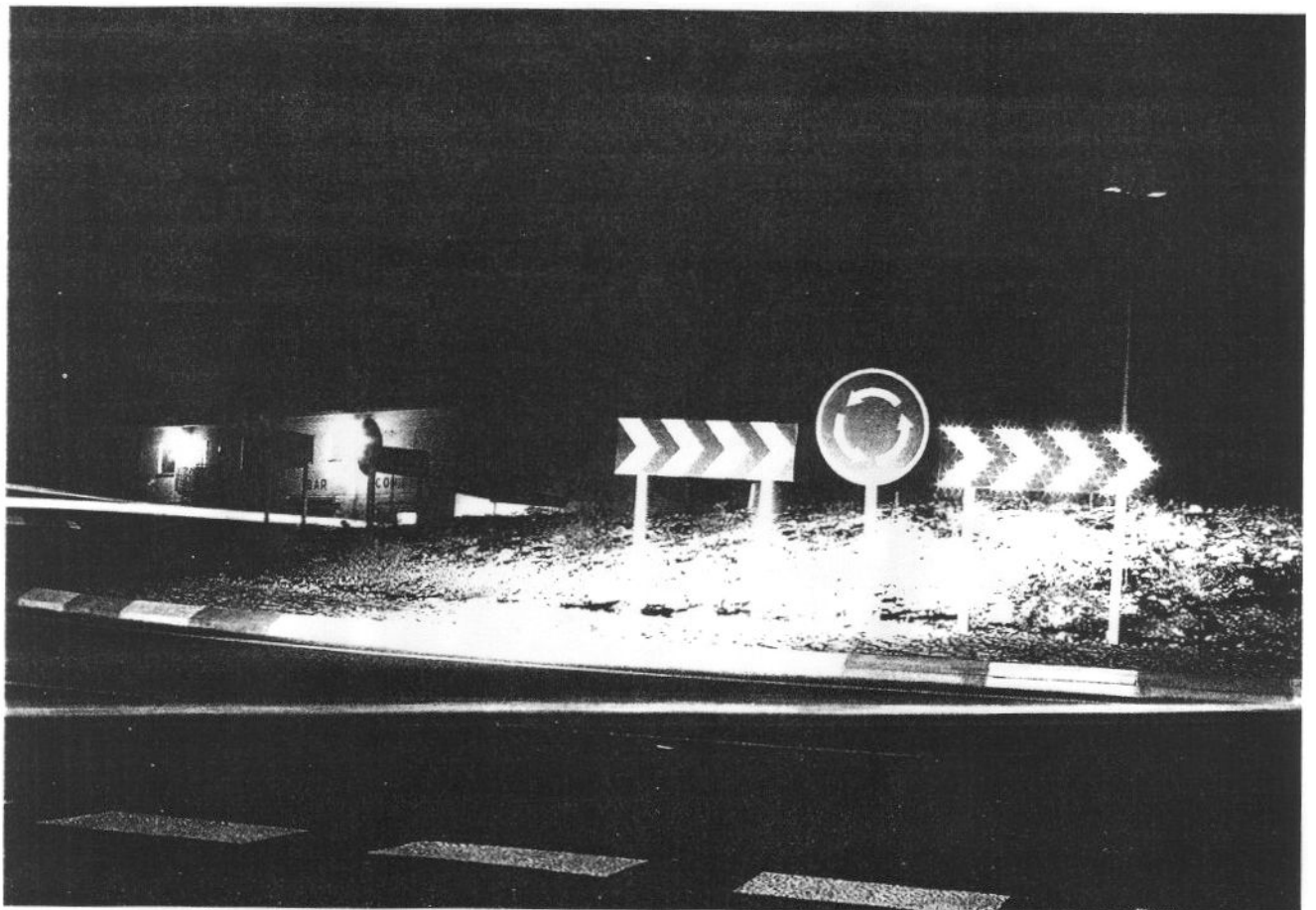
Se recomienda disponer de ramales directos de giro a la derecha, cuando el tráfico previsto en ellos sea al menos de 300 v/h, en hora punta, o suponga más del 50% del total entrante por la vía considerada.

Se recomienda separar físicamente los ramales de giro directo a la derecha de la calzada anular en todo su desarrollo, mediante isletas de 5 metros de anchura y, en todo caso, nunca de inferior a 2 metros.

²³ En el estudio sobre doce glorietas de la Comunidad de Madrid (DE LA HOZ y POZUETA, 1995), en un vial directo de giro a la derecha, en la glorieta nº 3, se aprecian retenciones con una intensidad de 800 vehículos/hora, debido a la escasa longitud de su incorporación a la salida de la glorieta.



Tritamiento del islote en la carretera M-503



Señalización luminosa nocturna. Señalización del islote alimentada con energía solar. Glorieta situada en el Puerto de la Cruz Verde

5. Recomendaciones sobre acondicionamiento

5.1. Tratamiento del tráfico peatonal

La presencia de peatones es un dato clave para el diseño de cualquier intersección.

Ya se ha indicado en otra parte, que es opinión generalizada que las glorietas normales, las que funcionan automáticamente, sin más regulación que los «ceda el paso» en las entradas, son difícilmente compatibles con un tráfico peatonal intenso.

Ello es así, porque la agilidad de su funcionamiento se basa, precisamente, en la habilidad de los conductores para insertarse o salirse de la corriente circular aprovechando pequeños intervalos libres. Esta agilidad se perdería, en gran medida, si los conductores tuvieran que atender simultáneamente a un intenso tráfico peatonal que atravesara los ramales de entrada y salida.

También se ha comentado, la diversidad de opiniones existente sobre la seguridad de los peatones en las glorietas, cuestión en la que las glorietas parecen tener una fama contradictoria con sus cifras de accidentalidad (ver apartado 1.4).

En todo caso, ambas cuestiones subrayan la importancia de abordar desde un principio el tema del tráfico peatonal y, en su caso, resolverlo adecuadamente.

Por ello, previamente al diseño de la glorieta es preciso conocer o estimar el tráfico peatonal a que estará sometida y decidir si el volumen previsto es compatible con un funcionamiento fluido de la misma.

Una vez decidida la construcción de la glorieta, debe procederse a establecer unos criterios eficaces para el tratamiento del tráfico peatonal, que garanticen su seguridad.

Para ello debe tenerse presente que las glorietas resultan incómodas en general al peatón, más que a ningún otro tipo de tráfico, porque le obligan a realizar un rodeo, alargando sensiblemente la longitud de sus recorridos, al estarle vedada la travesía del anillo por razones obvias de seguridad.

Este hecho, sin embargo, fomenta, a menudo, la aceptación del riesgo de la travesía de anillo e islote a cambio de una reducción del recorrido.

Para combatir estas tendencias, una buena ordenación del tráfico peatonal debe ser capaz de asegurar que los peatones acepten circular por los itinerarios más adecuados a su seguridad.

Para ello, se consideran necesarias varias premisas.

En primer lugar, que dichos itinerarios peatonales enlacen lo más directamente posible los puntos de cruce de las calzadas, puntos clave de todo el sistema de seguridad peatonal.

En segundo lugar, que dichos itinerarios existan, es decir, estén diferenciados y puedan ser identificados sin ninguna duda por los peatones, lo que supone delimitar o destacar senderos, puntos de cruce, etc.

En tercer lugar que dichos itinerarios sean cómodos y atractivos para los peatones. Mejor aún, que dichos itinerarios sean los más cómodos y atractivos de los posibles.

Para decidir el esquema de itinerarios peatonales, tal vez el primer paso deba ser la localización de los puntos de cruce de las calzadas.

Desde el punto de vista del peatón y con objeto de acortar sus recorridos, la situación ideal de los puntos de cruce de las calzadas es en la misma línea exterior de la calzada circular, es decir, en la línea de «ceda el paso».

Sin embargo, esta disposición puede plantear problemas en las salidas y, en menor medida, en las entradas. En las salidas, porque el paso de peatones obligaría a los automóviles salientes a mantenerse dentro de la calzada circular, aumentando el riesgo de accidentes y pudiendo bloquear la citada calzada. En las entradas, cuando existen abocinamientos, alargaría la travesía de la calzada aumentando el riesgo.

En caso de que los pasos no se situaran en el borde de la glorieta, sino retirados de esta al final del abocinamiento, tendrían la desventaja de implicar mayores recorridos y se enfrentarían a

mayores velocidades en las salidas. Por el contrario, las travesías de las calzadas serían más cortas.

Para la señalización de los cruces de calzada lo más común es utilizar pasos cebra, con preseñalización para los automovilistas, y disponer de una isleta refugio intermedia de, al menos, 2 metros de anchura, considerándose conveniente dotarlos de iluminación nocturna.

También, es frecuente disponer pasos de peatones tipo «pelicano», es decir, descomponiendo la travesía de un ramal en dos travesías separadas, una de la entrada y otra de la salida, conectadas por medio de una senda sobre la isleta deflector. (THOMPSON, 1990)

Para la señalización de los itinerarios pueden utilizarse pinturas, pavimentos, etc., siendo de gran ayuda la jardinería para delimitar el sendero y desaconsejar su abandono. En áreas urbanas, llega a vallarse la calzada circular para evitar que sea atravesada por los peatones.

Finalmente, debe procurarse hacer atractivo el itinerario, mediante distintos elementos, como cubiertas, por ejemplo, que protejan de la lluvia y el sol, mobiliario, etc.

Cuando en una glorieta el tráfico peatonal aumenta hasta tal punto que limita notablemente su funcionamiento o eleva su accidentalidad, puede optarse por dos soluciones, la semaforización o la construcción de pasos elevados o subterráneos para los peatones.

En general suele optarse por la semaforización, que puede ser de las accionadas por el peatón y, sólo en casos excepcionales, por la construcción de pasos a distinto nivel. La experiencia muestra que la semaforización de una glorieta soluciona con mucha eficacia los problemas de funcionamiento que se producen con tráfico peatonal importante. (HUNT, 1990)

5.2. Tratamiento del tráfico de vehículos «dos ruedas»¹

Ya se ha indicado que una de las críticas más comunes que se hacen a las glorietas es el mayor índice de accidentalidad de vehículos de dos ruedas que presentan frente a otras intersecciones.

¹ Se entiende genericamente por «dos ruedas», las bicicletas y los ciclomotores de menos de 50 cc de capacidad y comportamiento asimilable.

Esta accidentalidad sería función de varios factores, entre los que el SETRA cita:

- La diferencia de velocidades entre bicicletas y ciclomotores y vehículos automóviles.
- La mayor o menor intensidad del tráfico entrante en la glorieta.
- La complejidad de las trayectorias de las «dos ruedas» en la calzada anular.
- El desconocimiento o la falta de cumplimiento de las reglas de prioridad por parte de este tipo de vehículos.

Sin embargo, en la guía australiana del NAASRA, se citan estudios que muestran reducciones de hasta un 45% en los accidentes de bicicletas tras la construcción de glorietas.

Por su parte, el estudio de Jordan sobre el caso australiano (JORDAN, 1985) señala que de los 65 accidentes con bicicletas habidos en 4 años en las 36 glorietas estudiadas, el 75% se produjeron al colisionar un automóvil entrando en la glorieta, con una bicicleta circulando por el anillo. Lo que a primera vista significa que gran parte de los accidentes se producen por falta de cesión de la prioridad por parte de los automóviles a las bicicletas en las glorietas.

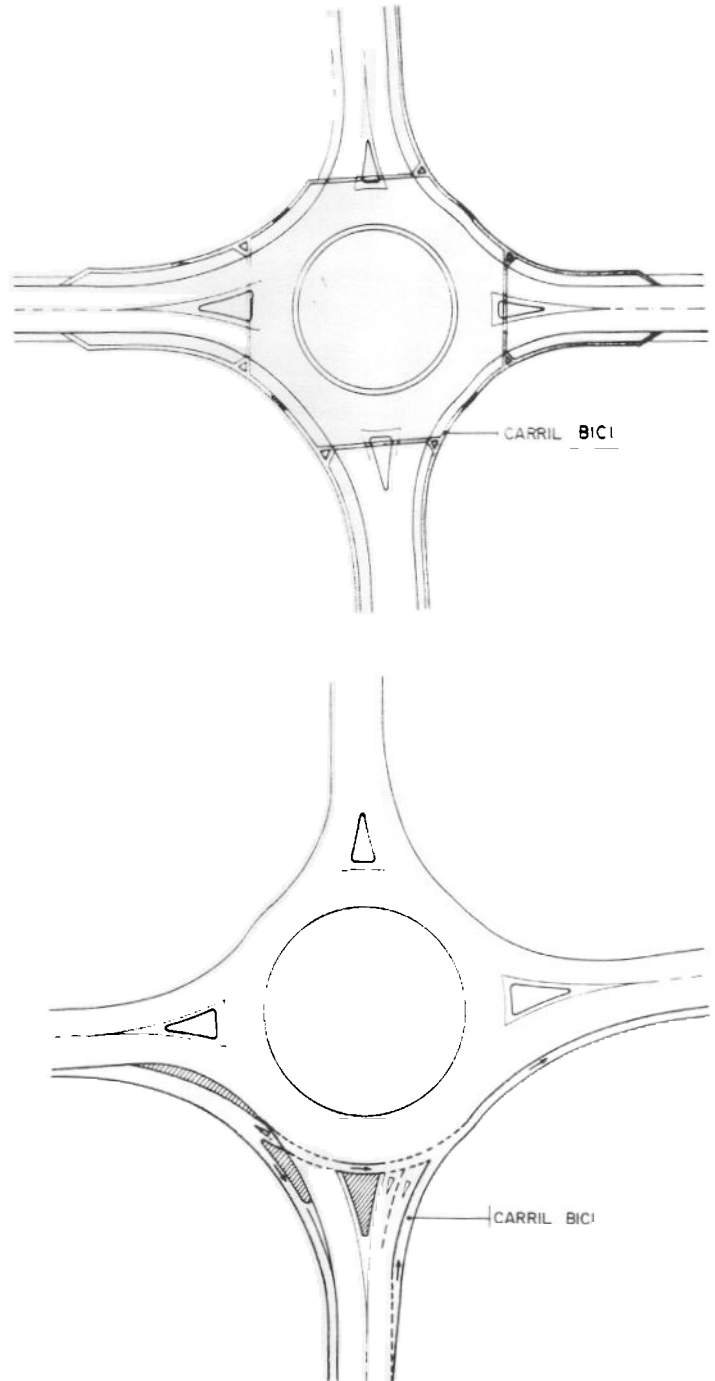
En definitiva, no parece comprobado con rigor el grado de peligrosidad de las glorietas respecto a las bicicletas, siendo necesario desarrollar investigaciones más sistemáticas al respecto².

Desde distintas fuentes, sin embargo, se coincide en que una de las principales causas de la accidentalidad de las bicicletas en las intersecciones giratorias es el incumplimiento de las normas de su funcionamiento; incumplimiento que, no obstante, puede responder a una objetiva dificultad de percepción de este tipo de vehículos en una glorieta.

Por todo ello, en los casos en que una glorieta cuenta con un tráfico de dos ruedas significativo, existen dos opciones principales para aumentar su seguridad. Por un lado, tratar de aumentar la prudencia de los conductores mediante una señalización específica y evitando

² Ver: ALLOT AND LOMAX, 1991; VAN MINEN, 1989 y 1992.

Esquema de carriles especiales de bicicletas
(según Layfield y Maycock, TRRL).



Señalización

De acuerdo con lo expuesto en otros apartados, para el buen funcionamiento de una glorieta es necesario que los conductores estén advertidos de la línea de «ceda el paso» a la velocidad requerida y conozcan el tipo de intersección que van a atravesar.

Para cumplir con los dos objetivos debe contribuir todo el diseño de la glorieta, de manera que, por ejemplo, su propia forma sea visible y permita la comprensión de su funcionamiento, mientras la geometría de las salidas y del anillo obliguen a reducir la velocidad a la deseable.

Además, y a pesar de que un óptimo diseño es, probablemente, la mayor garantía de seguridad para una glorieta, es necesario complementar con una señalización específica de la glorieta y sus

objetivos de dicha señalización serían los ya citados de la comprensión y la velocidad, a los que habría de añadirse el objetivo de advertir sobre las direcciones de las salidas.

En cuanto a la parte de la señalización vertical y horizontal, tanto de la glorieta en sí, como de los ramales de acceso, es común a la de las intersecciones y debe seguirse de las recomendaciones vigentes en esta materia, siendo necesaria la implementación de una señalización específica para algunos problemas de intersecciones giratorias.

Señalización vertical

Señales de prescripción³ El principal objetivo de la señalización de prescripción en una glorieta es indicar con claridad la existencia de una intersección giratoria, lo que implica, de acuerdo al artículo 103 del Reglamento General de Circulación, que el conductor que se acerque a la glorieta deberá ceder el paso a los vehículos que circulen por el anillo y que, en consecuencia, su itinerario perderá la prioridad⁴.

En la actualidad, el cumplimiento de este objetivo se logra principalmente con la colocación de la señal P-4, «intersección con prioridad giratoria», que advierte del «peligro por la proximidad de

una intersección donde la circulación se efectúa de forma giratoria en el sentido de las flechas».

Esta señal debería colocarse en los ramales de entrada a las glorietas a una distancia igual como mínimo a la de parada, siempre y cuando fuera mayor de 150 m.

En cuanto al resto de señales de prescripción, normalmente se utilizan las de limitación de la velocidad en las aproximaciones, para las cuales se utilizan las comunes a todas las intersecciones, las de «prohibido adelantar», a 200 metros de la calzada circular, las de «ceda el paso» en la entrada de la calzada circular, las de «paso obligatorio» en el inicio de la isleta deflectora y las de «intersección de sentido giratorio obligatorio» y «sentido obligatorio» para indicar el sentido de circulación en el anillo. Estas últimas van situadas sobre el islote central, directamente enfrente de las entradas.

Señales de preseñalización y dirección Una de las garantías para el funcionamiento seguro y fluido de una intersección de tipo giratorio es que los conductores que la abordan sepan previamente cual de las salidas de la glorieta deben tomar para continuar en la dirección deseada. De no darse un conocimiento previo del itinerario a seguir en la glorieta, pueden producirse actitudes dubitativas de los conductores, reducciones de velocidad imprevistas, incluso paradas en el anillo, etc., con el consiguiente perjuicio para el funcionamiento de la intersección y el aumento del riesgo de accidentes.

Por estas razones, es habitual en todos los países utilizar un sistema de preseñalización direccional de la glorieta que se dispone en las aproximaciones, y que se completa mediante señales de orientación y localización en las isletas deflectoras y con señales de confirmación de itinerario en los ramales de salida.

El sistema de preseñalización mayoritariamente utilizado es del tipo cartel-croquis, habitualmente de grandes dimensiones, que se sitúa entre 100 y 200 metros antes de la glorieta. Este panel, el S-200 en el Reglamento General de Circulación, además de informar sobre la salida a tomar, tiene la ventaja de recordarle al conductor, la forma de circular de la intersección que va a abordar y que normalmente ya le ha sido señalizada anteriormente mediante la señal P-4.

Respecto a las señales de dirección en las isletas deflectoras y las de confirmación de itinerario, debe tenerse muy en cuenta en su disposición la importancia que tiene una buena visibilidad en la glorieta y, muy especialmente, en las entradas.

Recomendaciones sobre señalización El sistema de señalización de glorietas que se considera recomendable para España se expone en el esquema adjunto y está constituido por las siguientes señales, además de las necesarias para limitar la velocidad, que se dispondrán de acuerdo a la reglamentación vigente y a la geometría de la glorieta:

Señal P-4, en todas las aproximaciones a una distancia de 200 metros del borde de la glorieta. En los casos de vías de 2 x 2 carriles se situarán dos señales P-4, una sobre el arcén derecho y otra en la mediana. Estas señales se acompañarán de las de adelantamiento prohibido, R-305, a ambos lados de la vía.

Panel de preseñalización de glorieta, S-200, con indicación de todas las direcciones de salida, a 100 metros del P-4, en dirección a la glorieta. Este panel puede completarse disponiendo debajo el texto «Usted no tiene la prioridad».

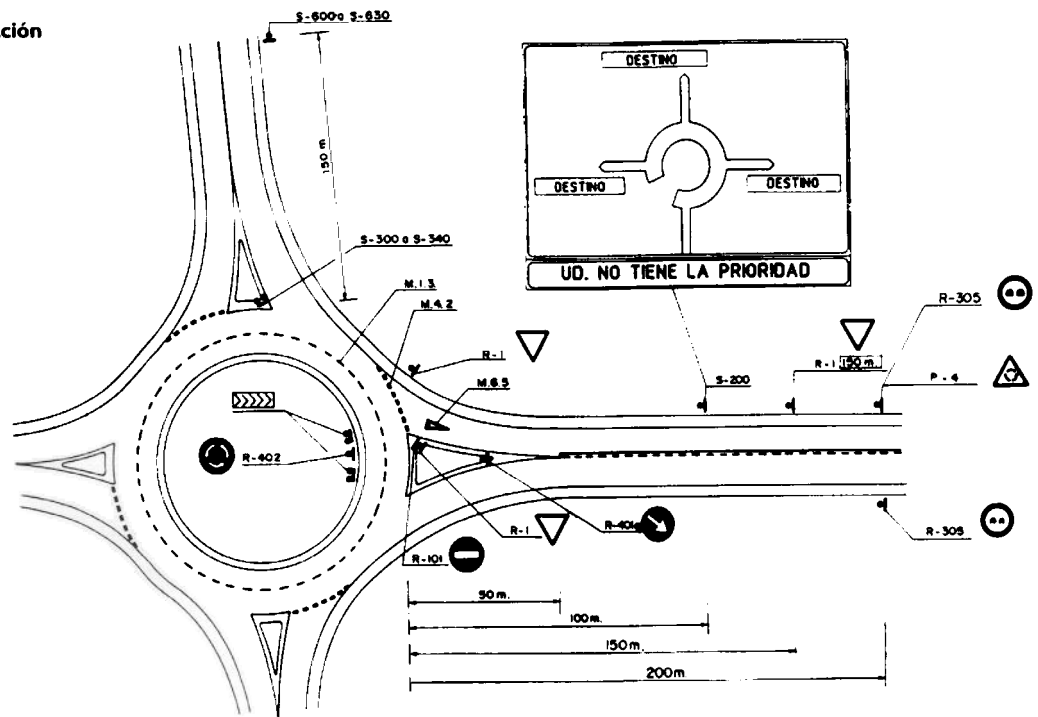
Señal 401a «paso obligatorio», al inicio de las isletas deflectoras en todas las aproximaciones.

Señal R-1 «ceda el paso», en el encuentro de cada uno de los ramales de entrada con la calzada circular. En las entradas de 2 o más carriles, se situarán dos señales R-1, una a cada lado de la entrada. Esta señal, junto a la leyenda «150 m» se situarán a la distancia indicada de la calzada anular.

Señal R-101, «entrada prohibida», que puede montarse en el revés de la R-1, para impedir la entrada de vehículos en las vías en sentido equivocado. Esta señal puede montarse en el revés de la R-1, para minimizar los apoyos de las señales en la intersección.

Señal R-402, «intersección de sentido giratorio obligatorio», en el islote central y frente a todas las entradas, para

Disposición y tipo de señalización



mostrar el sentido de circulación en el anillo. Esta señal se acompañará de una señal tipo «sargento» a cada lado.

Señales S-300 o S-310, de orientación-dirección, en todas las isletas deflectoras para indicar la dirección de la salida. Se dispondrán elevadas sobre postes de 2 m. de altura.

Señales S-600 al S-630, de confirmación de itinerario en las salidas al final de las isletas deflectoras.⁵

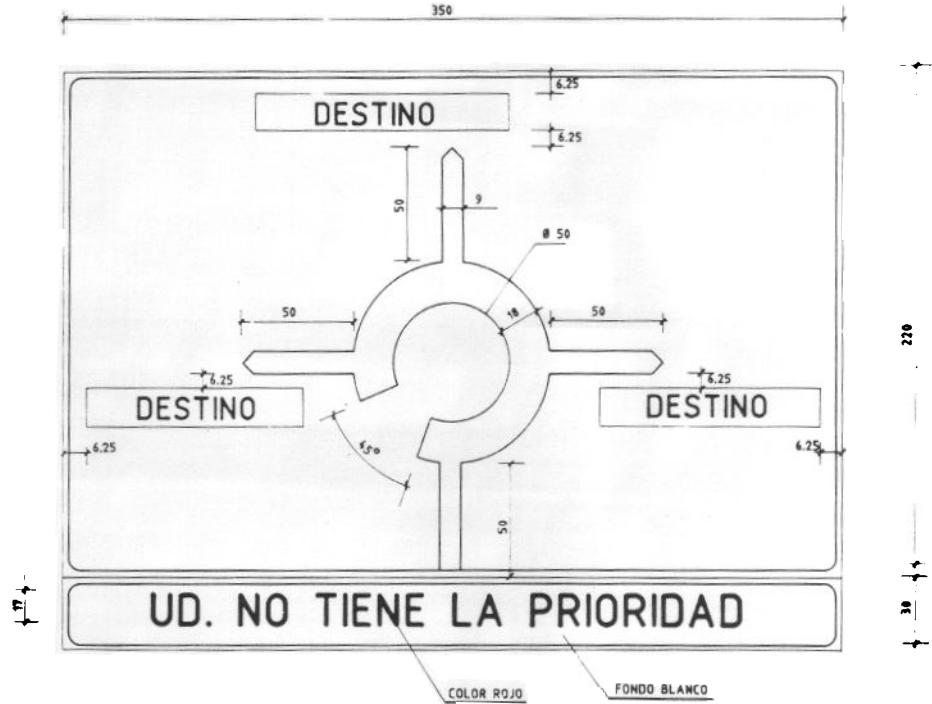
5.3.2. Señalización horizontal

La señalización horizontal en una glorieta debe realizarse siguiendo las normas vigentes para marcas viales en todo lo referente a las vías afluentes, a las isletas de las entradas o al islote central⁶. No obstante, conviene hacer algunas consideraciones con objeto de que ésta contribuya al máximo a los objetivos de seguridad y funcionamiento de la intersección.

⁵ Con independencia de esta señalización, y con objeto de advertir a los conductores de la próxima puesta en funcionamiento de una glorieta, la Comunidad de Madrid acostumbra colocar un cartel anunciador, situado a 500 metros de la glorieta, con el texto «Atención. Nueva glorieta en construcción a 500 m»

⁶ Ver el apartado 8.2. «Marcas viales», de la Instrucción de Carreteras (MOPU, 1987).

Dimensiones del cartel-croquis



Ramales de acceso La señalización de los ramales de acceso es de gran importancia ya que puede contribuir a la percepción lejana de la glorieta, resaltando su geometría. Por ello, y además de la señalización del eje de la carretera con sus marcas específicas, suele pintarse una línea de borde, en la parte derecha, con la anchura que le corresponda según el tipo de vía, que se inicia en el punto donde comienza la señalización de la isleta deflectora. Esta, a su vez, deberá marcarse con lo especificado en la Instrucción de Carreteras para la categoría de la vía.

En el encuentro de los ramales de entrada con la calzada anular, y con objeto de plasmar el sistema de prioridad, se dispone una línea de «ceda el paso» en toda su anchura, así como la marca vial de idéntico significado (M-4.2 y M-6.5, respectivamente). Aunque, en la actualidad, estas marcas no son estrictamente necesarias, parece conveniente mantenerlas para subrayar la peligrosidad de la entrada.

Señalización de la calzada anular Suele disponerse una línea de borde, con la anchura correspondiente a su categoría; en el borde interior de la calzada anular, así como en el exterior, a excepción de las entradas y salidas.

En los casos de calzada con dos carriles, se recomienda marcar la separación de estos para delimitar el itinerario de cada fila de vehículos (M-1.3).

En general, no se recomienda utilizar otro tipo de señales o marcas en la calzada anular (flechas, etc.)⁷.

Balizamiento Tanto las guías francesas como la británica, aconsejan la disposición de «ojos de gato», en la marca que define el borde izquierdo de la isleta deflectora en las entradas, para aumentar la percepción de la glorieta en las horas nocturnas.

Recomendaciones sobre señalización horizontal Las recomendaciones sobre señalización horizontal se explican en el esquema adjunto.

5.4. Paisajismo y acondicionamiento

Como elementos claves que son de la red viaria, el objetivo principal del tratamiento paisajístico y del acondicionamiento en las glorietas debería ser el de contribuir a un mejor y más seguro funcionamiento de los movimientos previstos.

Sin embargo, las glorietas constituyen, al mismo tiempo, singularidades espaciales dentro de un itinerario. Esta singularidad, que viene dada principalmente por el contraste entre su forma circular y la linealidad de la carretera, les convierte en focos visuales de las carreteras confluyentes.

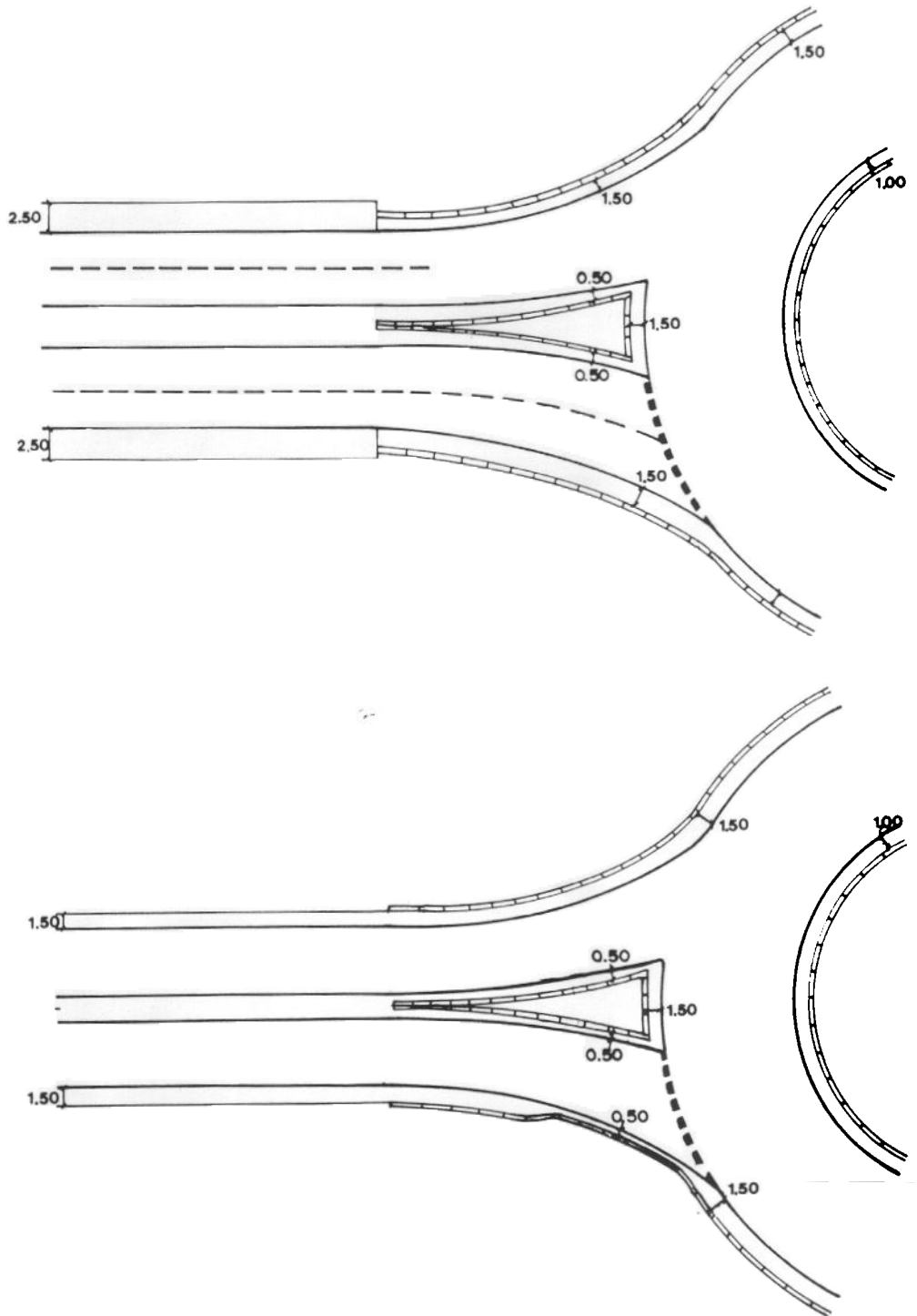
Por esta causa, las glorietas han constituido un lugar privilegiado para la realización de tratamientos paisajísticos que tendían a reforzar su carácter de hito dentro de la red viaria.

Queda pues patente la posibilidad de un doble objetivo para el tratamiento paisajístico en glorietas, por una parte, el reforzamiento de su funcionalidad y seguridad, por otra, la formalización de un hito mediante una determinada imagen visual.

De ambos objetivos, el relativo a la funcionalidad de la glorieta con respecto al tráfico resulta más fácilmente abordable de una manera genérica, que el relativo a la condición de hito de la glorieta, sometido a un mayor nivel de subjetividad.

⁷ El departamento británico de transportes desaconseja explícitamente otros tipos de marcas viales en la calzada anular. (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B)

Esquema de disposición de marcas y bordillos



Debe subrayarse, no obstante, la conveniencia de compatibilizar ambos objetivos en un mismo diseño y, en cualquier caso, las limitaciones que la seguridad del funcionamiento de la intersección puede imponer al tratamiento paisajístico.

En consecuencia, las publicaciones sobre el tema suelen exponer una serie de criterios positivos de acondicionamiento que tienen por objeto contribuir a un mejor y más seguro funcionamiento de las glorietas y una serie también de restricciones que se imponen al libre tratamiento o acondicionamiento de las mismas.

En conjunto, y desde el punto de vista del tráfico, el adecuado tratamiento paisajístico de una glorieta debería contribuir a:

- Favorecer la percepción lejana de la glorieta e identificar el lugar como un punto de ruptura del itinerario, cerrando la perspectiva del usuario que llega al anillo. Este objetivo resulta de extraordinaria importancia, habida cuenta del elevado porcentaje de los accidentes que se producen por velocidad excesiva y pérdida de control en la entrada.
- Favorecer la orientación del usuario en el anillo, de cara a evitar indecisiones, y especialmente la de los peatones.
- Mejorar el confort físico y psíquico del conductor y los peatones.

Para conseguir estos objetivos se puede actuar mediante el modelado de la isleta central y bordes de la glorieta, mediante las plantaciones o bien mediante la introducción de elementos de urbanización u ornato en bordes o isleta central.

En cualquiera de estas intervenciones hay que tener en cuenta las restricciones impuestas por las necesidades de visibilidad expuestas en el punto 2.4 de estas recomendaciones. Estas condiciones delimitan una zona alrededor de la glorieta y en el islote central en que no podrán disponerse elementos ornamentales ni masas arbustivas compactas y de baja altura que impidan la visión de seguridad. En dichas zonas sólo podrán disponerse aquellos elementos verticales (postes, señales, árboles, etc), cuya anchura no suponga una reducción de la visibilidad.

Asimismo, las isletas deflectoras deberán estar exentas de masas de vegetación que dificulten la visibilidad sobre el anillo y entradas y salidas contiguas, así como sobre la señalización en los accesos y glorieta.

Otra restricción importante a los tratamientos paisajísticos es la necesidad de evitar la disposición de elementos verticales lineales en los ramales, que puedan dar una sensación de continuidad entre una entrada y una salida (arbolado, tendidos eléctricos, etc.).

También suele establecerse una recomendación negativa en el sentido de no crear en el islote central un foco de atención tan sugestivo que pueda dar lugar a distracciones de los conductores circulando por la glorieta.

Para evitar un agravamiento de accidentes suele recomendarse la limitación de la disposición de objetos o elementos duros a aquellas áreas difícilmente accesibles por los vehículos, aún en situación de pérdida de control. Ello hace conveniente evitarlos en los bordes de islote y anillo y, en general, de todas las calzadas de circulación (suelen recomendarse retranqueos mínimos de 4 metros) y sin embargo disponer en estas franjas especies arbustivas bajas que pudieran contribuir a amortiguar los choques.

Finalmente, al realizar tratamientos paisajísticos del islote central, deben tenerse en cuenta sus necesidades de conservación y mantenimiento. Estas pueden exigir el paso de vehículos y, en ocasiones, su estacionamiento en el interior del anillo. En esos casos, debe preverse una ordenación adecuada para que el desarrollo de estos trabajos no perturbe la circulación en la glorieta.

También para tratar de evitar una mayor gravedad en los accidentes, suele recomendarse que, en el caso de disponerse bordillos en torno a la calzada anular, estos sean del tipo «montable» y se sitúen, al menos, a un metro de la línea blanca de delimitación de dicha calzada.

Asimismo, la disposición de bordillos en las isletas deflectoras o en el anillo exterior debería realizarse mediante este tipo de bordillos. Solamente en el caso de existir un tráfico peatonal de cierta importancia, deben disponerse bordillos protectores para el mismo.

Sobre los tipos de bordillo a utilizar, debe tenerse en cuenta, sin embargo, la conveniencia señalada en otro lugar de estas recomendaciones de que la anchura de las entradas esté físicamente delimitada, a efectos de evitar que se produzcan más líneas de espera y acceso que el de los carriles previstos.

En las figuras que se acompañan, se ilustran gráficamente la disposición de bordillos más recomendable de acuerdo a las experiencias de otros países y en relación con los arcones de las vías afluentes.

5.5. Recomendaciones sobre iluminación de glorietas.

Distintas referencias extranjeras señalan la mayor accidentalidad nocturna de las glorietas. Concretamente, se ha comprobado el aumento sensible de los accidentes por pérdida de control en la entrada que se producen durante la noche en glorietas sin iluminación.⁸

En el caso de Madrid, se ha comprobado una mayor accidentalidad nocturna de las glorietas, comparadas con el resto de los tramos de carretera (51% de los accidentes son nocturnos en glorietas, frente al 36% en el conjunto de las carreteras)⁹.

La iluminación es, obviamente, uno de los mejores medios para reducir este aumento de accidentalidad nocturna en las glorietas, de ahí la conveniencia de instalarla en todas aquellas con tráfico medio o intenso.

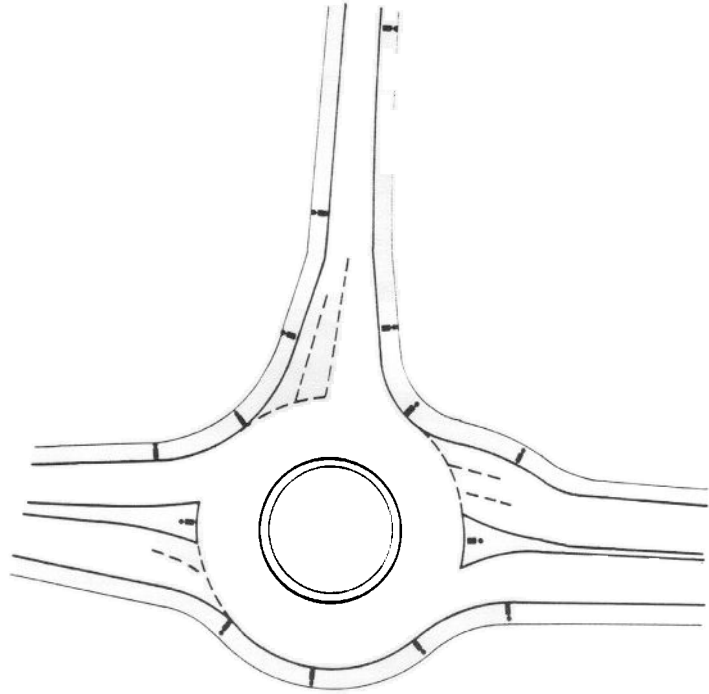
Considerando sobre todo la mejora de la seguridad, una buena disposición del alumbrado en una glorieta debería tratar de lograr unas condiciones de visibilidad tales que permitan:

- Por una parte, resaltar adecuadamente la percepción lejana de la glorieta.
- Por otra, garantizar la iluminación necesaria para que los conductores que entran o circulan por ella, vean claramente la calzada anular, con sus marcas y aristas, y los vehículos que circulan por ella.

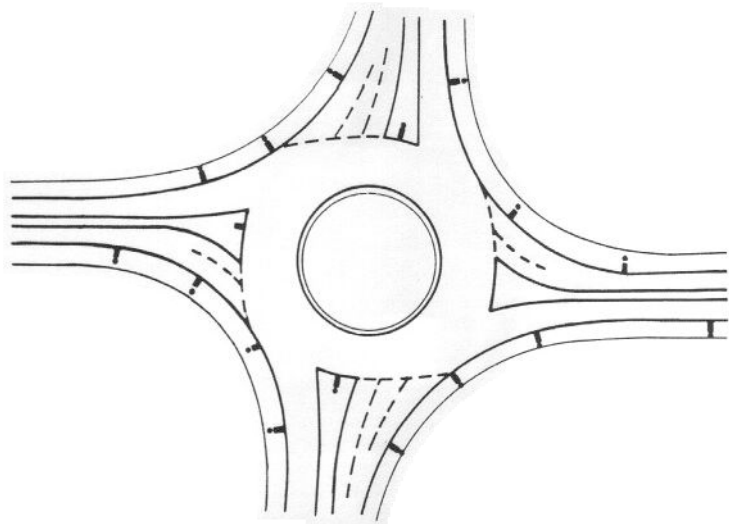
⁸ Ver: DALLEY, 1981; SETRA, 1984.

⁹ También se comprobó la concentración de los accidentes mortales en horas nocturnas o crepusculares, ya que de los tres habidos entre 1989 y 1993, dos se produjeron durante la noche y el tercero tuvo lugar en el crepúsculo, todos ellos en glorietas sin iluminación. (DE LA HOZ y POZUETA, 1995)

Ejemplos de la disposición del alumbrado (según British Standards 5489 part. 4).



— PUNTO DE LUZ



— PUNTO DE LUZ

Para lograr dichas condiciones, debe tratarse de que la iluminación no deslumbre en ningún momento al conductor, sobre todo, en las entradas y que resalte fundamentalmente la superficie de la calzada.

Practicamente todas las publicaciones (inglesas, francesas, australianas, etc.) coinciden en señalar los siguientes criterios para la disposición de la iluminación en glorietas:

- Procurar que la propia disposición de las luminarias resalte la forma de la glorieta (por ejemplo, disposición circular si la glorieta también lo es).
- Situar los postes en el exterior de la calzada anular y no en el islote central, ya que esta última disposición puede provocar deslumbramientos y agravar los accidentes en choques con los postes.
- La iluminación debe prolongarse a lo largo de los brazos para dotar de buena visibilidad a las entradas y sus isletas (unos 60 metros).
- Deben iluminarse los pasos de peatones.

En general, las recomendaciones de las publicaciones sobre glorietas no van más allá de estos criterios generales¹⁰.

Únicamente la experiencia británica ha cristalizado en una normalización de la iluminación de glorietas recogida en la serie de los British Standards. (BRITISH STANDARDS, 1992)

De esta norma, se exponen a continuación algunas de las disposiciones de mayor interés, que se ilustran en los esquemas adjuntos:

Los postes deben situarse preferentemente en el perímetro de la calzada anular, retranqueados de 0,8 a 1 metro del bordillo exterior, y dispuestos en forma de circunferencia. Los postes pueden estar situados sobre las isletas de entrada si así lo requiere la disposición circular y la interdistancia.

¹⁰ Este es el caso de las guías del SETRA, del CETUR o del NAASRA, citadas repetidamente en este documento.

En los casos de glorietas excepcionalmente grandes (diametros del islote central superiores a 100 metros), anchuras de calzada anular de más de 15 metros o miniglorietas, puede ser conveniente la presencia de puntos de luz sobre el islote central.

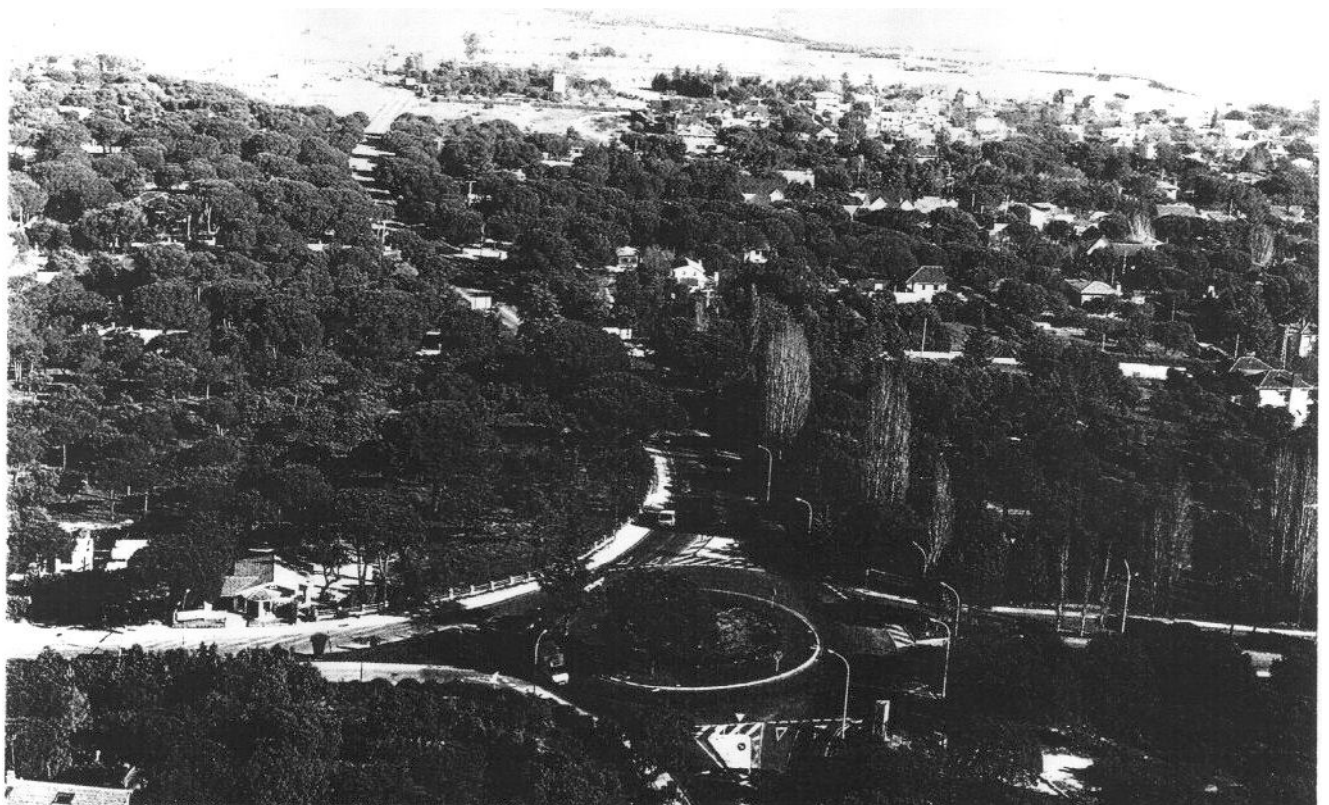
En cuanto al tipo de iluminación, ésta deberá ser como mínimo superior a la de cualquiera de las vías afluentes, recomendándose postes tipo báculo, con intensidades entre 15 y 20 lux, dependiendo del tipo de glorieta, medida en el bordillo. De acuerdo con el SETRA, la intensidad lumínica debe ser en las líneas de ceda el paso el doble que en el resto de la glorieta.

Finalmente, en cuanto a la necesidad de disponer de alumbrado en una glorieta, esta debe tomarse en función del carácter de las vías que en ella confluyen (si una lleva iluminación, la glorieta debería llevarla), el volumen de sus tráficos, su situación, etc., aunque puede considerarse recomendable en la generalidad de los casos.

En glorietas donde una iluminación completa no esté justificada por las intensidades de tráfico o sea irrealizable por su elevado costo, puede procederse a una iluminación selectiva de algunos elementos de la señalización, que adviertan a los conductores de la presencia de un obstáculo. Así lo ha hecho la Comunidad de Madrid, mediante la incorporación de iluminación intermitente a las señales direccionales, conocidas como «sargentos», reduciendo el costo de instalación y funcionamiento eléctrico mediante la utilización de paneles solares que, durante el día, acumulan la suficiente energía, para hacer funcionar la iluminación intermitente, como señalización dinámica, a partir del crepúsculo. Aunque es demasiado temprano para evaluar la experiencia, los técnicos de la Comunidad se muestran muy satisfechos con su funcionamiento.



Glorieta con ramal segregado de unión en el cruce de las carreteras M-503 (IMD de 29.600 vehículos) y M-513 (IMD de 18.600 vehículos)



Glorieta de acceso a áreas residenciales en la carretera M-513. Al fondo la autovía de distribución M-40

6. Miniglorietas

6.1. Concepto de miniglorieta

Se entienden convencionalmente por miniglorietas aquellas glorietas cuyo islote central tiene un diámetro menor de cuatro metros.¹

No obstante, en general, no es sólo el reducido diámetro del islote central lo que define a una miniglorieta. La mayoría de las veces la denominación implica, también, un funcionamiento diferente.

En efecto, aún cuando ello no se incorpora siempre a su definición, el concepto de miniglorieta suele implicar el carácter montable del islote central y su utilización como calzada suplementaria por los vehículos largos que necesitan amplios radios de giro. Es decir, en una miniglorieta, la circulación giratoria y el respeto al islote central es obligatoria para todos los vehículos, a excepción de aquellos que por sus características no pueden maniobrar con los radios de giro que ello supone. Estos vehículos están autorizados a franquear el islote central, circulando por encima de él, al atravesar la miniglorieta.

Esta característica de las miniglorietas las diferencia completamente de las glorietas convencionales, en la medida, en que supone una diferente concepción de su diseño, funcionamiento, acondicionamiento, capacidad, etc. De ahí el interés de dedicarles un capítulo especial.

No obstante, tal como se ha señalado, las guías y publicaciones no siempre explicitan el distinto funcionamiento de las miniglorietas con respecto a las glorietas convencionales. A este respecto, resulta muy ilustrativa, la distinción que realiza la guía suiza entre miniglorietas parcialmente franqueables y miniglorietas franqueables, según sea montable una parte o todo el islote central. Según dicha guía, las primeras, a las que se les estima un diámetro exterior entre 18 y 24 metros, no plantean problemas especiales de diseño o funcionamiento en relación a las convencionales, mientras, las segundas, con diámetros entre 14 y 20 metros, obligan a una aproximación muy diferente. (DE ARAGAO 1991)

Es a este tipo de glorietas a los que se refiere fundamentalmente este apartado, mientras que, aquellas con islote de escaso diámetro, pero de funcionamiento convencional, pueden concebirse de acuerdo a las recomendaciones de los apartados anteriores.

¹ Definición contenida en: CETUR, 1987; DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B; DE ARAGAO, 1991; ITE, 1992.

La utilización de las miniglorietas para la resolución de ciertas intersecciones viarias se ha hecho muy popular en otros países, como Inglaterra o Noruega, en los últimos años², mientras que, en España, se posee muy escasa experiencia al respecto. Por ello, en este apartado, no se dan recomendaciones propiamente dichas para su implantación y diseño, sino que, simplemente, se recogen las conclusiones de la experiencia internacional, a la espera, de que el estudio de su uso futuro en las condiciones españolas permita elaborar unas recomendaciones específicas.

6.2. Ventajas de las miniglorietas

Las dos ventajas principales de las miniglorietas son su economía y su seguridad.

Resultan económicamente recomendables, fundamentalmente, porque requieren menos suelo que las convencionales, al no tener que sujetarse a los radios mínimos de giro de los vehículos pesados, y su acondicionamiento es constructivamente muy sencillo. De hecho, basta con señalización, marcando con dos líneas el islote central sobre la propia calzada, para que una miniglorieta pueda funcionar. Así se establecen, a menudo, en Inglaterra, por ejemplo.

Con respecto a la seguridad y de acuerdo con algunas fuentes, las miniglorietas constituirían la intersección a nivel con menores índices de accidentalidad, lo que les haría las más seguras. Otras fuentes estiman como esperable una reducción del 30% en los accidentes al implantar una glorieta, con respecto a una intersección convencional. En general, todos los estudios evalúan muy positivamente las miniglorietas desde el punto de vista de la seguridad en relación a las intersecciones a nivel sin semaforizar.³

En definitiva, las miniglorietas resultan doblemente económicas, por la reducción de los costos de implantación y por el ahorro que la disminución de la accidentalidad supone. De hecho, de acuerdo con algunos estudios, el coste de implantación de una miniglorieta se recupera en un período en torno a los cinco años, mediante el ahorro que lleva consigo, tanto en la reparación de vehículos, como en los gastos de tratamiento médico de los heridos.

(TRAFIKNAMNDEN 1993)

² En 1989, se estimaba que estaban en funcionamiento en Inglaterra unas 1.600 miniglorietas y su construcción crecía a un ritmo del 9% anual (WALKER 1989). Por su parte en Noruega, las miniglorietas pasaron, de 15 en 1980, a 350 en 1990 (SEIM 1991).

³ Las fuentes noruegas las califican como las intersecciones más seguras (SEIM 1991), de reducciones significativas hablan los estudios holandeses (TRAFIKNAMNDEN 1993) e ingleses (SUMMERSGILL 1989, ESSEX COUNTY COUNCIL 1987).

6.3. Condiciones de implantación

Por la pequeña superficie que ocupan, las miniglorietas son especialmente útiles para resolver aquellas intersecciones situadas en puntos muy constreñidos, donde el suelo disponible es escaso. En este sentido, se utilizan a menudo para sustituir a intersecciones ya existentes, en las que la obtención de suelo resulta difícil. En estas condiciones, las miniglorietas constituyen la solución más segura y efectiva. De hecho, algunas guías las consideran no recomendables para nuevas intersecciones.⁴

Las miniglorietas exigen para su buen funcionamiento bajas velocidades de circulación, por lo que sólo suelen usarse, allí, donde todos los accesos están sujetos a un límite de velocidad, normalmente por debajo de los 40-50 km/h. (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B) Ello significa que las miniglorietas no se consideran un tipo de intersección adecuada para vías rápidas y que su campo de aplicación se limita, por tanto, a carreteras de rango inferior y ramales de las vías rápidas, con parámetros geométricos limitativos de la velocidad, así como a travesías.

Habida cuenta del cambio de funcionamiento que la circulación de vehículos pesados introduce en estas intersecciones, al transitar sobre el islote central, sin estar claras las reglas de prioridad con respecto a otros vehículos, las miniglorietas suelen utilizarse en lugares donde el tráfico de pesados es escaso. Es decir, allí donde su presencia es la excepción y la regla el respeto al islote central y la circulación giratoria.

En este sentido, algunas guías las recomiendan para áreas residenciales, considerándolas como un instrumento de moderación o templado de tráfico (DE ARAGAO 1991).

Aunque no se han encontrado criterios explícitos con respecto al número de ramales adecuado a las miniglorietas, conviene señalar que algunas guías no las recomiendan para intersecciones con más de cuatro brazos y que de las construidas en Inglaterra, el 66% sólo tienen tres.⁵

⁴ Las guías suiza e inglesa, por ejemplo, recomiendan que no se utilicen para nuevas intersecciones, sino, únicamente para la modificación de las existentes (DE ARAGAO, 1991; DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1987).

⁵ Como referencia puede aportarse el dato de que de las glorietas construidas en carreteras competencia de la Comunidad de Madrid, las de tres brazos no llegan al 32% del total (ver anexo nº 1). La diferencia con el porcentaje que las de tres brazos suponen entre las miniglorietas inglesas, 66% (WALKER 1989), podría, tal vez, valorarse en el sentido de una mejor adecuación de las miniglorietas a este tipo de intersecciones. Sin embargo, no se han encontrado referencias explícitas al respecto.

Dado que, la distancia entre las entradas es más pequeña que en las convencionales, la decisión de entrar en la calzada anular en este tipo de glorietas requiere observar atentamente la presencia de

otros vehículos y debe tomarse en lapsos de tiempo muy breves. Ello hace que, en opinión de algunos expertos, la presencia de un número considerable de ciclistas o peatones represente un riesgo importante para su funcionamiento y para la seguridad. De ahí que, no se recomiende este tipo de intersección, allí, donde se prevé un importante número de ciclistas y peatones. En esos casos, la semaforización de la intersección puede ser la opción más adecuada (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B)

Sin embargo, otras publicaciones subrayan que la baja velocidad a que se circula en las miniglorietas reduce considerablemente los riesgos para peatones y dos ruedas, por lo que su tránsito puede considerarse seguro (DE ARAGAO 1991).

6.4. Diseño y acondicionamiento

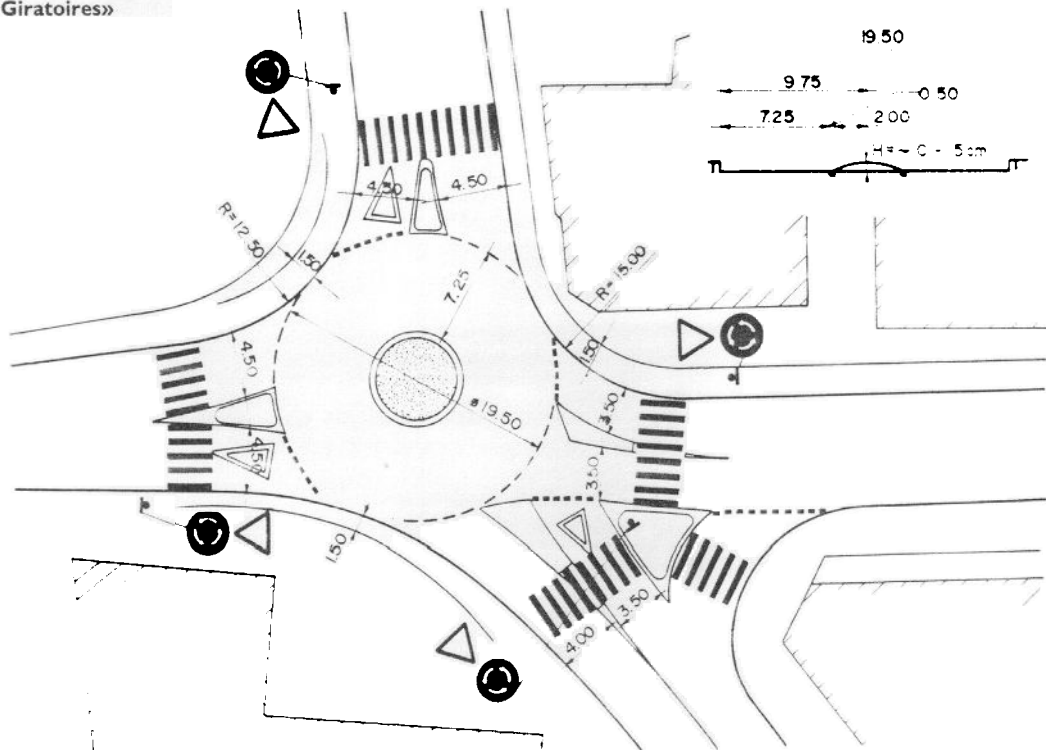
Por su propia definición, el diámetro del islote central de una miniglorieta suele estar en torno a los cuatro metros.

En cuanto a la calzada anular, su anchura puede venir determinada por dos posibles factores. En primer lugar, por la disponibilidad de suelo. En este sentido, dada una superficie de suelo para el establecimiento de la miniglorieta y una vez ubicado en su centro el islote central, la anchura de la calzada vendrá determinada por la anchura disponible entre éste y los bordillos o límites de las calzadas.

En los casos en que el espacio no esté totalmente constreñido, la anchura de la calzada anular suele determinarse en función del tipo de vehículos a los que no se prevé permitir franquear el islote central y se calcula a partir de los sobrecanchos necesarios para los mismos. Es decir, frente al caso anterior en el que era el espacio disponible el que determinaba el tipo de vehículos no autorizados a franquear el islote central, en este caso, se procede a la inversa, disponiendo el espacio suficiente para que puedan girar los vehículos no autorizados a franquear el islote.

En cualquier caso, y dado que en general las miniglorietas se localizan en puntos con problemas de espacio, algunas guías estiman genericamente la anchura de la calzada anular para que una miniglorieta funcione correctamente entre un mínimo de 5 y un máximo de 8-9 metros. (DE ARAGAO 1991)

Proyecto de miniglorieta con islote central franqueable (diámetro exterior: 19,50 m)
Fuente: «Guide suisse des Giratoires»
(DE ARAGAD, 1991)

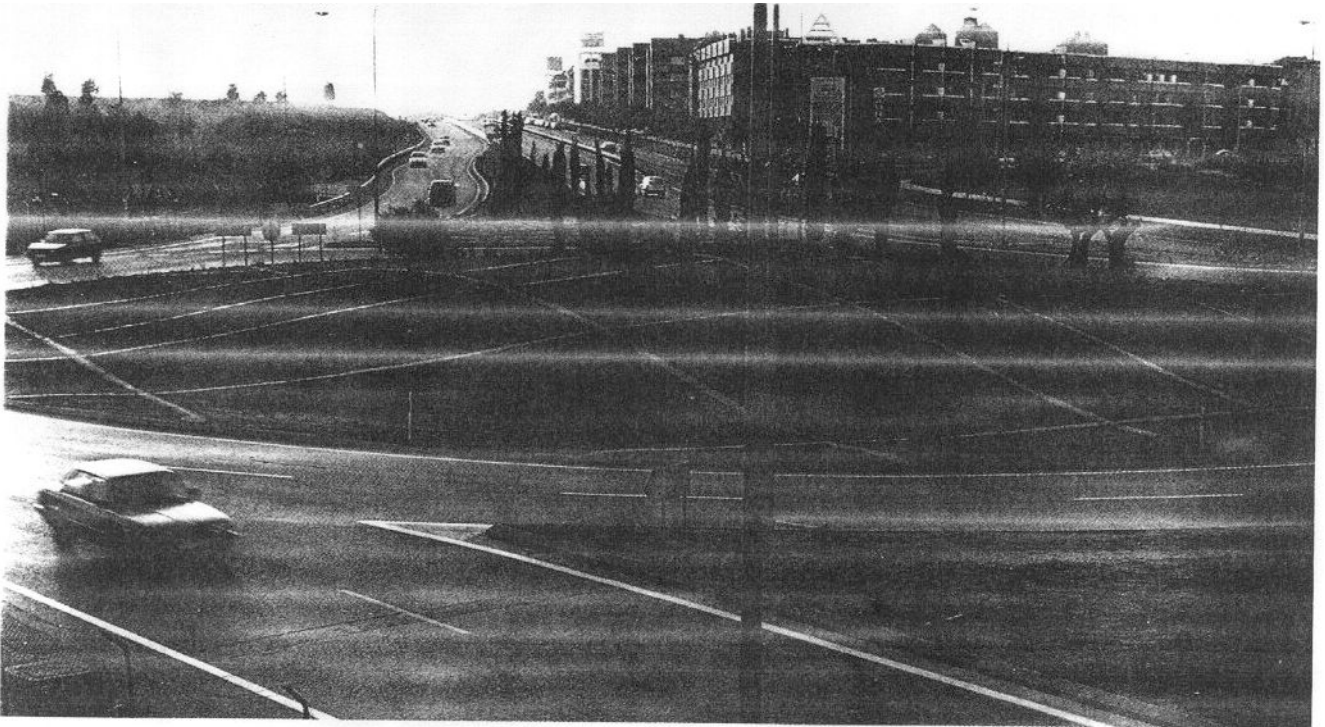


No hay criterio único sobre la conveniencia de abocinar las entradas a las glorietas. La mayoría de las publicaciones admiten ambos supuestos, con o sin abocinamiento, dependiendo de las características particulares de cada intersección.

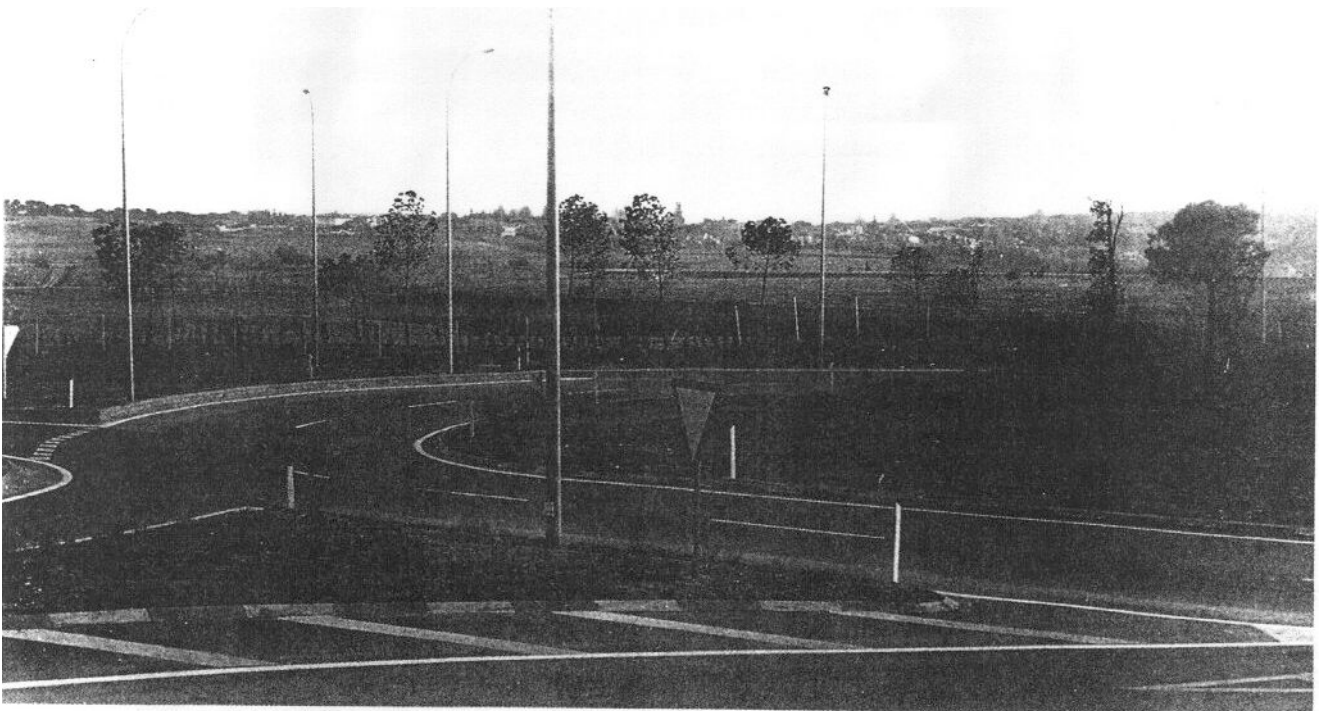
Suele recomendarse dotar de una cierta flexión en las entradas y cuando esto no sea posible físicamente, puede hacerse mediante marcas en el pavimento, evitando la instalación en las isletas así creadas de ningún tipo de obstáculo. (ITE 1992)

El islote central suele construirse ligeramente abombado⁶ y pavimentarse con materiales diferentes del resto de la calzada (adoquines, bloques de pavimento, materiales bituminosos, etc). No debe llevar bordillos, señales, postes o amueblamiento urbano y, a veces, se construye ligeramente sobreelevado, con una corona de adoquines en el borde (15 mm de altura).

⁶ El manual inglés recomienda que la sobreelevación no supere los 25 milímetros. (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B)



Tratamiento del islote en el cruce de la carretera M-503 con la vía del campus universitario de Somosaguas



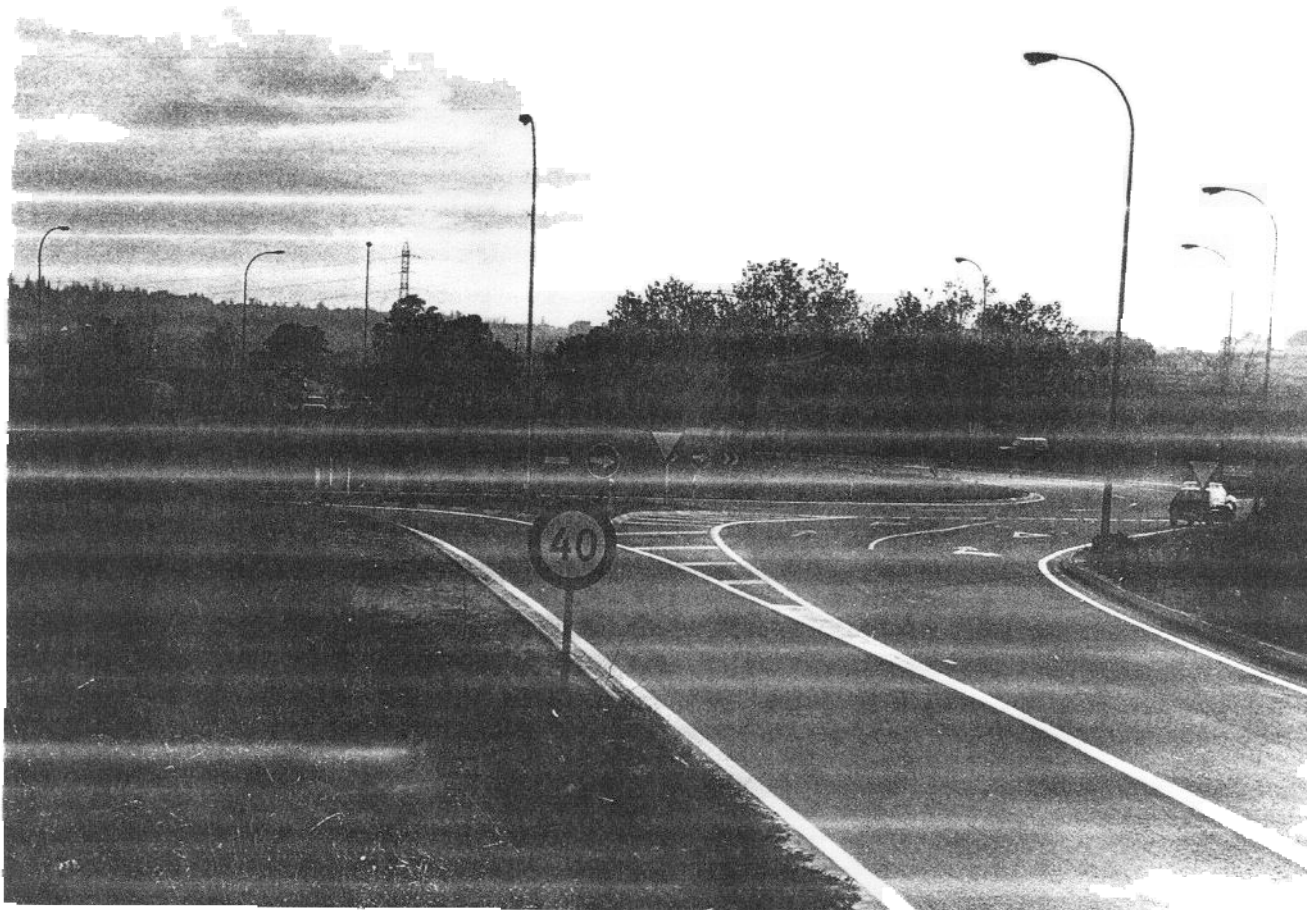
Glorieta en la carretera M-503. Una de las primeras en construirse en la red regional

En algunos casos, el islote central no es sino unas marcas viales circulares en la calzada. En esos casos, puede subrayarse su presencia mediante clavos reflectantes o pintándolo totalmente en blanco con pintura reflectante. (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1984B)

Para facilitar el tránsito por las miniglorietas e indicar la obligación de la circulación giratoria, es conveniente señalar los movimientos mediante pinturas en el pavimento (flechas). Esta señalización debe complementarse con una especial para vehículos pesados, indicándoles la posibilidad de franquear el islote si lo necesitan (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1987)

En cuanto a iluminación, de acuerdo con algunos autores, si se quiere proporcionar la imagen circular de la intersección son necesarios como mínimo ocho puntos de luz en la parte exterior de la miniglorieta, con una intensidad lumínica de 10 lux. (SCHREUDER 1992)

Al implicar giros cerrados, se producen severas huellas de los neumáticos, lo que puede afectar a las marcas viales de las miniglorietas más agudamente que en otros tramos o intersecciones. Ello parece requerir un inspección continua de las mismas.



Glorieta suburbana en el oeste de la región. Obsérvese la inflexión en la entrada y el aumento de la sección de la misma a dos carriles con el fin de ampliar su capacidad



Glorieta en la ronda de el Escorial

7. Documentación de los proyectos de glorietas

Con objeto de asegurar que los proyectos de glorietas que se redacten para la Comunidad de Madrid, garanticen el cumplimiento de estas recomendaciones, se exponen a continuación los documentos o cálculos específicos que se recomiendan, además de los habituales en todo tipo de proyectos de carreteras.

A En todo proyecto de glorieta conviene aportar los siguientes datos:

Estimación de la matriz origen destino del tráfico rodado en hora punta en la glorieta, con especificación de su composición. En el caso de que se trate del proyecto de una glorieta sobre nueva carretera, se procederá a una estimación de dicha matriz, lo más ajustada posible, teniendo en cuenta los tráficos previstos en las carreteras confluyentes, el probable tráfico local, etc.

Datos sobre itinerarios y volúmenes de tráfico peatonal probables, tanto en hora punta de circulación rodada, como en hora punta de tráfico peatonal, teniendo en cuenta el entorno, los polos generadores (escuelas, comercios, centros deportivos, etc), el funcionamiento peatonal del área (caminos existentes, itinerarios, etc), etc.

B Conviene **demostrar la adecuación de la localización elegida a las necesidades de perceptibilidad lejana de la glorieta** o, en su caso, las medidas tendentes a subsanar las limitaciones del emplazamiento en ese sentido.

Para ello podrán utilizarse esquemas, dibujos, perfiles o perspectivas que muestren desde que distancia, y en cada brazo, es perceptible la forma del conjunto de la glorieta o la calzada circular.

C Se recomienda presentar los **cálculos necesarios para demostrar que la capacidad de cada entrada es superior, al tráfico entrante previsto en el año horizonte considerado**. Dichos cálculos conviene efectuarlos de acuerdo a dos métodos, el del CETUR-86 y otro a elección del proyectista entre los más conocidos.

D Como parte de la definición geométrica se recomienda presentar los siguientes planos:

- **Perfil longitudinal del eje de la calzada anular** de la glorieta.
- **Perfiles transversales de la calzada anular** en los ejes de las entradas, cada 20 m.

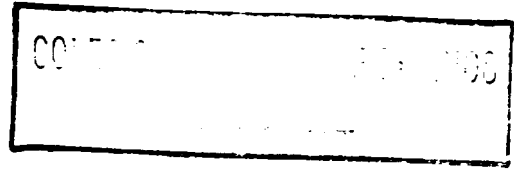
E **Plano de señalización vertical y horizontal** de la glorieta y de cada uno de los brazos, que incluya, en su caso, la situación de los pasos de peatones.

F **Plano con la disposición y tipo de alumbrado** en la glorieta y vías confluyentes.

G **Plano de acondicionamiento paisajístico** que demuestre el cumplimiento de las condiciones de visibilidad exigidas. En este plano conviene graficar en planta la totalidad de los elementos ornamentales, plantaciones, caminos o itinerarios peatonales, señalización horizontal y vertical, alumbrado, mobiliario, etc.
Escala 1:200.

H **Sección completa** de la glorieta, según los ejes de las carreteras principales. Escala, 1:200.

8. Referencias bibliográficas



- ALPHAND, F.; NOELLE, U.; GUICHET, B. (1991): «Roundabouts and road safety: State of the art in France». *Intersections without Traffic Signals II. Proceedings of an International Workshop, 18-19 July 1991*, pp. 107-25. Bochum, Germany. Springer-Verlag, Berlin.
- ALPHAND, F.; NOELLE, U.; GUICHET, B. (1991): «Evolution of design rules for urban roundabouts in France». *Intersections without Traffic Signals II. Proceedings of an International Workshop, 18-19 July 1991*, pp. 126-40. Bochum, Germany. Springer-Verlag, Berlin.
- AKCELIK, R., TROUTBECK, R. (1991): «Implementacion of the Australian roundabout analysis method in SIDRA». *Proceeding of the International Symposium on Highway Capacity and Level of Service, Karlsruhe*. Balkema, Rotterdam.
- ALLOT AND LOMAX (Pub.) (1991): *Cyclists and Roundabouts. A Review of Literature*. Cyclists' Touring Club, Cotterell House, Surrey.
- ASHWORTH, R. (1969): «The capacity of priority-type intersections with a non-uniform distribution of critical acceptance gaps». *Transportation Research*, n° 3, 1969, pp. 273-278.
- ASHWORTH, R.; BOTTOM, C.G. (1972): «Some observations of driver gap acceptance behaviour at priority intersections». *Traffic Engineering & Control*, 1972, n° 18 (12), pp. 569-571.
- ASHWORTH, R.; FIELD, J. (1973): «The capacity of rotary intersections». *Highway Engineering*, n° 24, 1973/03, pp. 14-21.
- ASHWORTH, R.; LAWRENCE, C.J.D. (1978): «A new procedure for capacity calculations at conventional roundabouts». *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 65-2, 1978, pp. 1-16.
- AUTROADS (1993): *Guide to Traffic Engineering Practice, Part 6: Roundabouts*. AUSTRROADS. New South Wales, Australia.
- AVEN, A. M.; TAYLOR, R. A. (1979): «Roundabouts-Aspects of their Design and Operation». *Queensland Division Technical Papers*, vol. 20, n° 17, 1979/07. Institution of Engineers Australia, Brisbane.
- BACON, W. (1987): *Roundabout Design*. Oxford Polytechnic, Department of Civil Engineering, Building and Cartography. Oxford.
- BAPAT, P. (1974): «Traffic signals on roundabouts». *Journal of the Institution of Municipal Engineers*, vol. 101, 1974/07, pp. 173-177.
- BAKER, D. J. (1987): «The Prediction of Roundabout Delays and Capacities». *4th National Local Government Engineering Conference, Perth, 17-20 August 1987, 1987/09*, Institution of Engineers, Australia, pp. 1-5.
- BENNETH, R. F. (1971): «The design of roundabouts since the priority rule». *Journal of the Institution of Highway Engineering*, 1971/09.
- BLACKMORE, F. C. (1963): «Priority at roundabouts». *Traffic, Engineering & Control*, n° 5, 1963/06, pp. 104-106.

- BLACKMORE, F. C. (1970): *Capacity of single-level intersections*. Transport and Road Research Laboratory, LR 356, Crowthorne, Berks.
- BLACKMORE, F. C.; MARLOW, M. (1975): *Improving the capacity of large roundabouts*. Transport and Road Research Laboratory, LR 677, Crowthorne, Berks.
- BRENAC, T.; AUBIN, H. (1985): «Sécurité et traitement des carrefours en milieu interurbain». *Travaux*, n° 605, 1985/12, Paris.
- BRENNAN, M. J.; FITZGERALD, M.P. (1979): «A new look on Tanner's formula for the capacity of a minor road at an uncontrolled intersection». *Traffic, Engineering & Control*, 1979/04.
- BRILON, W. (1984): «Der kreiveskehr-eine vergessene konetenpunktform». *Strassenverkehrstechn.*, Bonn-Bad Godesberg Deutschland B.R., 1984/06, pp. 208-215.
- BRILON, W.; STUBE, B. (1984): «Capacity and Safety of Roundabouts in Germany». *15th ARRB Conference, Darwin, Northern Territory, 26-31 August, 1990, Proceedings*. Australian Road Research Board (ARRB). South Victoria, Australia.
- BRITISH STANDARDS (1992): *Road lighting. Part 4: Code of practice for lighting for single-level road junction including roundabouts*. British Standard Institution, B.S. 5489 part 4, Londres.
- BULL, P.; DUNNE, G. M. (1983): «Traffic Signal Control of Park Square Roundabout, Sheffield». *Traffic Operation and Management. Proceeding of Seminar K., PTRC Summer Annual Meeting, University of Sussex, 4-7 July, 1983, vol. p240, pp. 221-229*. Londres.
- BURROW, I. J. (1986): «The effect of darkness in the capacity of road junctions». *Traffic, Engineering & Control*, vol. 27, n° 12, 1986/12, pp. 596-599.
- CETUR (1987): *Carrefours urbains. Conception et aménagement. Guide et dossier pilote*. Centre d'Etudes des Transport Urbains, 1987/06. Bagneux, France.
- CETUR (1988): *Conception des carrefours a sens giratoire implantés en milieu urbain*. Centre d'Etudes des Transport Urbains. Bagneux, France.
- CEDERSUND, H. (1983): «Cirkulationsplatser i Svrige. Inventering och Olycksstudie». *VTI-Meddelande*, 361/1983. Linköping, Suecia.
- CHEUNG, E.; YOUNG, W.; AKCELIK, R. (1992): «MODEL: A simulation model for roundabout design». *Seventh Conference of the Road Engineering Association of Asia and Australasia, Proceeding, 22-26 June, 1992, Singapore, vol. I. Road Engineering Association of Asia and Australasia (REAAA), Kuala Lumpur, Malasya*.
- CHIN, H. C.; MCDONALD, M. (1983): «Flow at Roundabout Entries».

- Traffic Operation and Management*. Proceeding of Seminar K., PTRC Summer Annual Meeting, University of Sussex, 4-7 July, 1983, vol. p240, pp. 1-11. Londres.
- CHRISTIE, A. W.; CHISHOLM, J. (1981): *Goods vehicle manoeuvres: a computer simulation and its applications to roundabout design*. Transport and Road Research Laboratory, SR 662, Crowthorne, Berks.
- CHUNG, E.; YOUNG, W.; AKCELIK, R. (1992): «Comparison of roundabout capacity and delay estimates from analytical and simulation models». *Congestion management Proceedings. Conference of the Australian Road Research Board*, vol. 16-5, 1992. Nunawading.
- CROW (1993): *Verkeerspleinen*. Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond, Water en Wegenbouw en de Verkeerstechiek (CROW). Netherlands.
- DAGERSTEN, A. (1992): *Roundabouts in Switzerland and Sweden*. Lunds Tekniska Högskola. Lund, Sweden.
- DALEY, K. (1981): *Roundabouts: A Review of Accident Patterns*. First National Local Government Engineering Conference, Adelaide, 24-27 August, 1981, Institution of Engineers Australia, 1981, pp 31-35.
- DE ARAGAO, P. (1990): «Off-side Priority Roundabouts as a Traffic and Town Planning Tool». *Traffic Management and Road Safety*. Proceedings of the Seminar G of the 18th PTRC Transport, Highways and Planning Summer Annual Meeting, University of Sussex, September 10-14, 1990, vol. P334. PTRC Education Research Services. London.
- DE ARAGAO, P. (1991): *Guide suisse des giratoires*. FVS-EVED. Lausanne. Suiza.
- DE LA HOZ, C.; POZUETA, J. (1995): *Análisis del funcionamiento de intersecciones giratorias. Resultados de la observación de doce glorietas en la Comunidad de Madrid*. Comunidad de Madrid. Consejería de Transportes. Dirección General de Carreteras. Madrid.
- DE LA HOZ, C.; POZUETA, J. (1991): *Diseño de carreteras en áreas suburbanas*. Comunidad de Madrid. Consejería de Política Territorial. Dirección General de Transportes. Madrid.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT (1993): *Design Manual for Roads and Bridges. Vol. 6, Section 2, Part 3. Geometric Design of Roundabouts*. Department of Transport. Middlesex. United Kingdom.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT (1987): *Roads and Traffic in Urban Areas*. Department of Transport and Institution of Highway and Transportation. HMSO, London.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT (1981): *Junctions and Access: Determination of Size of Roundabout and Major/Minor Junctions*. Department of Transport, Great Britain, Advice Note TA 23/81.

- DEPARTMENT OF TRANSPORT (1984A): *The Geometric Design of Roundabouts*, Department of Transport, TD 16/84, Londres, 1984.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT (1984B): *The Geometric Design of Roundabouts*, Department of Transport, Advice Note TA 42/84, Londres, 1984.
- DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT (1975): *Technical memorandum on roundabout design*. Department of the Environment, Highways Directorate, H2/75. Londres.
- EDGAR, J. (1980): *The conversion of a conventional to a small roundabout*. National Roads Board, Road Research Unit. Bolletin 46.
- ERNE, K. (1988): *Verkeerspleinen*. ANWB, Netherlands.
- ESSEX COUNTY COUNCIL (1987): *Small and mini roundabouts*. County Surveyoyrs' Society, Committee no. 1. Standing Advisory Group on Accident Reduction. Chelmsford, Essex.
- FAULKNER, C. (1968): *Accident debris and reported acidents at roundabouts*. Transport and Road Research Laboratory, LR 202, Crowthorne, Berks.
- FLANAGAN, T.; SALTER, R. (1983): «Signal-Controlled Roundabouts». *Traffic Operation and Management*. Proceeding of Seminar K., PTRC Summer Annual Meeting, University of Sussex, 4-7 July, 1983, vol. P240, pp. 181-192. Londres.
- GARDINER, P.; BAKER, R.; LUCAS, C. (1986): *Fuel Consumption at Roundabouts*, Transport and Road Research Laboratory, Research Repor 52, 1986. Crowthorne, Berkshire.
- GRANT, E. (1969): «Traffic capacity of small roundabouts». *Traffic Engineering and Control*, n° 10 (12), 1969.
- GREEN, H. (1977): *Accident at Off-side Priority Roundabout with Mini or Small Island*. Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Repor 774. Crowthorne, Berkshire.
- HAKKERT, A.; MAHALEL, D.; ASANTE, A. (1991): «A Comparative Study of Roundabout Capacity Procedures». *Intersections without Traffic Signals II*. Proceedings of an International Workshop, 18-19 July 1991, Bochum, Germany. Springer-Verlag, Berlin.
- HALLWORHT, M. (1992): «Signalling Roundabouts. I. Circular Arguments». *Traffic Engineering and Control*, vol. 33, n° 5, June, 1992.
- HALLWORTH, M. (1983): «The Sheepscar Signal System: An Alternative Approach to Major Intersection Design». *Traffic Operation and Management*. Proceeding of Seminar K., PTRC Summer Annual Mee-

- ting, University of Sussex, 4-7 July, 1983, vol. P240, pp. 209-219. Londres.
- HERRERO, A. (1990): «Experiencia en diseño de glorietas en la Comunidad de Madrid». *Rutas*, 1990-05/06, Vol. 2, n° 18.
- HOEGLUND, P. (1991): «Case Study. Performance Effects of Changing a Traffic Signal Intersection to Roundabout». *Intersections without Traffic Signals II. Proceedings of an International Workshop*, 18-19 July 1991, Bochum, Germany. Springer-Verlag, Berlín.
- HOLLIS, E.; SEMMENS, M.; DENISS, S. (1980): *Arcady: A computer program to model capacities, queues and delays at roundabouts*. Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 940. Crowthorne, Berkshire.
- HORMAN, C. B. (1983): «Experience with Roundabouts in the Australian Capital Territory». *Second National Conference on Local Government Engineering*, 1983. Institution of Engineers, Brisbane, 1983, pp. 147-152.
- HORMAN, C. B.; TURNBULL, H. (1974): «Design and Analysis of Roundabouts». *Proceedings of the 7th ARRB Conference*, 7(4). Brisbane.
- HUDDART, K. (1983): «Signalling of Hyde Park Corner, Elephant and Castle and other Roundabouts». *Traffic Operation and Management. Proceeding of Seminar K.*, PTRC Summer Annual Meeting, University of Sussex, 4-7 July, 1983, vol. P240, pp. 193-208. Londres.
- HUNT, J.; ABDUL JABBAR, J. (1990). *Pedestrian Facilities at Roundabout*. University of Wales, Institute of Science and Technology. Department of Civil Engineering and Building Technology. Cardiff.
- HUNT, J.; ABDUL JABBAR, J. (1989). «Vehicle-Vehicle Interactions in the Region of Roundabout Entries». *Traffic Management and Road Safety. Proceedings of the Seminar H of the 17th PTRC Transport, Highways and Planning Summer Annual Meeting*, University of Sussex, September 11-15, 1989, vol. P323. PTRC Education Research Services. London.
- IRANI, L.; KAY, W., SANG, A. KATESMARK, S. (1993): «Robosign: Computer-aided Design of Roundabouts». *Traffic Engineering and Control*. 1993-04, vol. 34, n° 4.
- ITE (1992): «Use of Roundabouts». *ITE Journal*, 1992-02-01, vol. 62, n° 2, pp. 42-45.
- JIAN-AN TAN (1991): «A microscopic simulation model of roundabout entry operation». *Intersection without Traffic Signals II. Proceedings of an International Workshop*, 18-19 July 1991, Bochum, Germany. Springer-Verlag, Berlín.

- JOERGENSEN, N. (1990): «Roundabouts: Flow Improvement or Speed Reduction». *Traffic Management and Road Safety*. Proceedings of the Seminar H of the 17th PTRC Transport, Highways and Planning Summer Annual Meeting, University of Sussex, September 11-14, 1990, vol. P334. PT, vol. P334.
- JOHANNESSEN, S. (1984): «Experience with Small Roundabouts in Norway». *Highway Appraisal and Design*. Summer Annual Meeting, University of Sussex, Londres, 1984, pp 1-14.
- JORDAN, P. (1985): «Pedestrians and Cyclist at Roundabouts». *Managing our Environment and Caring for People*, 3rd National Local Government Engineering Conference, 1985, Melbourne, Institution of Engineers, Australia.
- JORMALAINEN, S. (1990): *Kiertoliittymat*. Tampere University of Technology. Finland.
- KIMBER, R.; McDONALD, M; HOUNSELL, N. (1984) *Geometric delays at non-signallized intersections*. Transport and Road Research Laboratory, Supplementary Report 810, 1984.
- KIMBER, R. (1980): *The Traffic Capacity of Roundabouts*. Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 942, 1980.
- KIMBER, R. (1980): «The prediction of delays and queue lengths at roundabouts». *Highway Planning and Design*. PTRC MEETING, Great Britain, 1980.
- KIMBER, R. (1980): «Roundabout capacity». *Highway Planning and Design*. PTRC MEETING, Great Britain, 1980.
- KIMBER, R.; HOLLIS, E. (1979): *Traffic queues and delays at road junctions*. Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 909.. Crowthorne, Berks. 1979.
- KIMBER, R. (1978): «Peak-periods delays at road junctions and other bottlenecks». *Traffic Engineering and Control*, n° 19(10), 1978, pp. 442-446.
- KIMBER, R.; SEMMENS, M. (1977) *A Track experiment on the entry capacities of off-side priority roundabouts*. Transport and Road Research Laboratory, Supplementary Report 334, 1984.
- KLYNE, M. (1991): «Local Street Roundabouts - Design for Speed Regulation». *Local Government Engineers Association of Wa. 8th State Conference, Perth 1991, Technical Papers*, vol. 2. Local Government Engineers Association of Westren Australia, Perth.
- LAWRENCE, C. (1980): «Roundabout-evolution, revolution and future». *Highway Engineering*, n° 27 (5), 1980/05, pp. 2-10.
- LAYA, O. (1988): «Visual Perception at Roundabouts: Multiple Levels

- of the Task's Complexity». *Vision in Vehicles II*. Elsevier Science Publisher. Amsterdam, Netherlands.
- LAYFIELD, R.; MAYCOCK, G. (1986): «Pedal-cyclist at roundabouts». *Highway Engineering*, nº 27 (5), 1980/05, pp. 343-349.
- LLAMAZARES, O. (1990): «Jornada Técnica sobre Glorietas en Carreteras». *Rutas*, 1990-05/06, Vol. 2, nº 18.
- LOUAH, G. (1984): *La capacité des carrefours giratoires. Etude bibliographique et proposition*, SETRA, Rapport d'Etude. Bagneux, Francia.
- MARLOW, M.; BLACKMORE, F.G. (1973): *Experiment at Brook Hill Roundabout, Sheffield, Yorkshire*. Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 562, 1973. Crowthorne, Berks.
- MARSTRAND, E. (1988): «The Capacity of Large Roundabouts». *Highways and Transportation*, vol 35, nº 3, pp. 9-12. Institution of Highways and transportation, Londres.
- MARTIN, D. J. (1974): *Incremental Operating Costs of Cars at Roundabouts*, Transport and Road Research Laboratory, Supplementary Report 6), 1974. Crowthorne, Berks.
- MAYCOCK, G.; HALL, R. (1984): *Accidents at 4-arm Roundabouts*, Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 1120. Crowthorne, Berks.
- MAYCOCK, G. (1984): «Capacity, safety and delays at new types of roundabouts with off-side priority». *Traffic Engineering and Safety*. PIARC 12th International Study Week, Theme IX.
- MCDONALD, M; ARMITAGE, D.J.: «The Capacity of Roundabouts». *Traffic Engineering and Control*, vol 19, n 10, 1987/10, pp. 447-450.
- MCDONALD, M; NOON, C. (1978): *Geometric Delay at Roundabouts*, Transportation Research Group, Department of Civil Engineering, University of Southampton, 1978.
- MCKELVEY, G.; THOMAS, I. (1984): «The Roundabout that isn't». *Australian Road Research*, vol. 14, nº 1, 1984/03. Vermont, South Australia.
- MINISTERE DES COMMUNICATIONS (1985): *Les carrefours. Aménagement et sécurité routière*. Ministère des Communications, Ministère des Travaux Publics. Bruselas
- MINISTRY OF TRANSPORT (1968): *Layout of roads in urban areas*. Ministry of Transports. Londres.
- MOPU (1987): *Instrucción de Carreteras*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1987.
- MOPU (1986): *Catálogo de señales de circulación*. Area de Tecnología. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid, 1986.
- MOPU (1967): *Recomendaciones para el diseño de intersecciones*. Direc-

- ción General de Carreteras. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- MURGATROYD, B. (1973) «An investigation into the practical capacity of roundabout weaving sections». *Highway Engineering*, nº 20, 1973/03.
- NAASRA (1985): *Roundabouts. A Design Guide*. NAASRA, Camberra, 1985.
- NOELLE, U. (1985): *Carrefours giratoires: Note sur le calcul de la capacité*. E.N.P.C. Sesi3n de Formaci3n Continue, 21-22, Mai 1985. C.E.T.E. Mediterran3e, Francia.
- O.C.D.E. (1974): *Capacit3 des carrefours plans*. O.C.D.E. Paris.
- PASTOR, M. (1986): *Amenagement des carrefours sur routes inteurbaines a 2x2 voies*. Note d'information nº 20. SETRA. Bagneux, Francia.
- PHILBRICK, M. (1977): *In search of a capacity formula for conventional roundabouts*. Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 773. Crowthorne, Berks.
- PLANK, A. (1982): «The capacity of a priority intersection: two approaches». *Traffic Engineering and Control*, 1982/02.
- PLAZA, J. A. (1985): «Oferta de capacidad en las rotondas». *Jornadas de Estudio de Ingenieria de Tráfico*. Asociaci3n Espa3ola Permanente de los Congresos de Carreteras, Madrid, 1985.
- PODGER, C. (1976): *Measurements at an Urban Roundabout*. Final Year Project Report, Physics Department, Brunnel University.
- POZUETA, J. (1990): «Las glorietas. Un tipo de intersecci3n subvalorada en Espa3a». *Rutas*, 1990-05/06, Vol. 2, nº 18.
- RETZKO, A. G.; TONKE, F.: «Delays at priority intersections under nonstationary traffic flow conditions». *Traffic Engineering and Control*, Diciembre, 1979;
- REYNOLDS, J. (1974): *An economic appraisal of roundabouts*. Master Engineering Report, University of Canterbury.
- RICHARDSON, E. (1982): «Systematic Control of Traffic in Local Areas Using Small Roundabouts». *11th ARRB Conference Proceedings*. Part 4: Traffic Engineering. Australian Road Research Board, Victoria, Australia.
- RUTHEFORD, G. (1985): «Traffic Circles As Residential Intersection Control: A Comparison with Yield Signs Based on Seattle's Experience», en *Transportation Research Record*, 1985, n. 1010, pp.65-68.

- SAWERS, C.; BLACKMORE, F. (1973): *Capacity Measurements on Experimental Roundabout at Colchester*. Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 610, 1973. Crowthorne, Berks.
- SCHREUDER, D. (1992): *Overweigingen bij de verlichting van minirotondes*. Bijdrage voor de NSVV-Congresdag 'Licht op het Verkeer'. Amsterdam 13, April 1992. SWOV. Netherlands.
- SCHOON, C.; VAN MINEN, J. (1994): «The safety of roundabouts in the Netherlands». *Traffic Engineering and Control*, 1994-03, vol.35, n° 3.
- SCHOON, C.; VAN MINEN, J. (1993): *Ongevallen op rotondes II. Tweede onderzoek naar de onveiligheid van rotondes vooral voor fiester en bromfietzers*. S.W.O.V. Netherlands.
- SEIM, K. (1991): «Use, Design and Safety of Small Roundabouts in Norway». *Intersection without Traffic Signals II*. Proceedings of an International Workshop, 18-19 July 1991, Bochum, Germany. Springer-Verlag, Berlin.
- SEMMENS, M. . (1985): *ARCADY 2: An Enhanced Program to Model Capacities, Queues and Delays at Roundabouts*. Transport and Road Research Laboratory, RR35, 1985.
- SEMENS, M. C. (1982): *The Capacity of some Grade-separated Roundabout Entries*, Transport and Road Research Laboratory, Supplementary Report 721, 1982.
- SETRA (1989): *Carrefours sur routes a deux ou trois voies*. Note d'Information. SETRA, Bagneux, Francia.
- SETRA (1984): *Les carrefours plans sur routes interurbaines. Carrefours giratoires.*, SETRA, Bagneux, Francia.
- SETRA (1983): *Carrefours giratoires: Analyse de la securité*. Rapoort d'étude. C.E.T.E. Nantes. Bagneux, France.
- SHAWALY, E.; LI, C.; ASHWORTH, R. (1991): «Effects of entry signals on the capacity of roundabout entries: a case study of more street roundabout in Sheffield». *Traffic Engineering & Control*, vol. 32, n° 32, pp. 297-301
- SIMON, M. (1991): «Roundabouts in Switzerlan: recent experiences capacity, Swiss roundabou guide». *Intersection without Traffic Signals II*. Proceedings of an International Workshop, 18-19 July 1991, Bochum, Germany. Springer-Verlag, Berlin.
- SLAMA, R. (1980): «Le carrefour giratoire». *Revue Generale des Routes et Aerodromes*, n. 567, 1980, pp 101-104.
- SULLIVAN, D.; TROUTBECK, R. (1991): *The Effect of Platoon Dispersion on the Performance of Roundabouts and Unsignalised Intersections: A Study of Existing Platoon Dispersion Models*. Queensland University of Technology. Scool of Civil Engineering. Physical Infrastructure Center. Brisbane. Australia.

- SUMERSGILL, I. (1989): «Accidents at mini-roundabouts: a national survey». *Traffic Management and Road Safety*. Proceedings of the Seminar H of the 17th PTRC Transport, Highways and Planning Summer Annual Meeting, University of Sussex, September 11-15, 1990, vol. P323.
- SUTCLIFFE, S. (1990): «Roundabouts. A motivation for their use with ARCADY2 as the design tool». *Civil Engineer in South Africa*, vol 32, n° 9, Sep. 1990.
- TAN, J. (1991): «Entry Capacity Formula of Roundabouts in Switzerland». *Traffic Management and Road Safety*. Proceedings of the Seminar K, held at the PTRC European Transport, Highways and Planning 19th Summer Annual Meeting, University of Sussex, September 9-13, 1991, vol. P350.
- TANNER, J. C. (1962): «A Theoretical Analysis of Delays at an Uncontrolled Intersection». *Biométrica*, 1 y 2, 1962.
- THOMPSON, S.; LLOYD, B.; GALLEAR, D. (1990): «Pelican crossings at roundabouts». *Traffic Engineering and Control*, vol. 31, n° 2.
- TODD, K. (1991): «A History of Roundabouts in Britain». *Transportation Quarterly*, vol. 45, n° 1, January 1991.
- TODD, K. (1991): «A History of Roundabouts in the United States and France». *Transportation Quarterly*, vol. 42, n° 4, October 1989.
- TODD, K. (1989): «The roundabout - its history and development in Britain». *Highways and Transportation*, vol. 36, 1989.
- TORRES LLODRA, J. (1985): «Intersecciones giratorias en Baleares». *Jornadas de Estudio de Ingeniería de Tráfico*. Asociación Española Permanente de los Congresos de Carreteras, Madrid, 1985
- TRAFIKNAEMNDEN (1993): *Safer Roads Junctions with Small Roundabouts*. Trafikkontoret Rapport. Goeteborg, Sverige.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB 1985) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board Special Report 209, National Research Council, National Academy of Science. Washington.
- TRANSPORTATION RESEARCH GROUP (1976): *A study on the capacity of roundabouts*. Final report to Science Research Council, Department of Civil Engineering, University of Southampton.
- TROUTBECK, R. (1992): «Changes to the analysis and design of roundabouts initiated in the austroads guide». *Congestion Management Proceedings*. Conference of the Australian Road Research Board, vol. 16-5, 1992. Nunawading.
- TROUTBECK, R. (1990): «Roundabout capacity and the associated delay». *Transportation and Traffic Theory: Proceedings of the Eleventh*

- International Symposium*, held in Yokohama, July 18-20, 1990. Elsevier Science Publishing Co. New York.
- TROUTBECK, R. (1990): «Traffic Interaction at Roundabouts». *15th ARRB Conference, Darwin, Northern Territory, 26-31 August, 1990, Proceedings*. Australian Road Research Board (ARRB). South Victoria, Australia.
- TROUBECK, R. J. (1984): «Capacity and Delays at Roundabouts. A Literature Review», *Australian Road Research*, Vermont, South Victoria, 1984, vol 14, n° 4, pp. 205-216.
- TROUTBECK, R. (1984): «Intersections, Roundabouts and Minis». *26th ARRB Regional Symposium*. Australian Road Research Board (ARRB). Vermont, South Victoria, Australia.
- TROUTBECK, R. (1984): «Does gap-acceptance theory adequately predict the capacity of a roundabout?». *12th ARRB Conference Proceeding 12(4)*. Australian Road Research Board (ARRB). Brisbane, Australia.
- TROUBECK, J. (1982): The performance of uncontrolled intersections. Australian Roads Research Board, Internal Report AIR-393-1.
- TUTGE, R. (1990): «Accidents at roundabouts in New South Wales». *15th ARRB Conference, Darwin, Northern Territory, 26-31 August, 1990, Proceedings*. Australian Road Research Board (ARRB). South Victoria, Australia.
- VAN AREM, B. (1992): «Capacity and Delays at Roundabouts in the Netherlands». *Highways*. Proceedings of the Seminar H of the 20th PTRC Transport, Highways and Planning Summer Annual Meeting, University of Manchester, September 14-18, 1992. Institute of Science and Technology, vol. P360.
- VAN AREM, B. (1992): *The roundabout EXPLORER: Background*. Instituut voor Ruimtelijke Organisatie INRO-TNO, Delft, Netherlands.
- VAN MINEN, J. (1994): «The safety of roundabouts in the Netherlands». *Traffic Engineering and Control*, vol. 35, n° 3, 1994.
- VAN MINEN, J. (1992): «Roundabouts. Safe for Cyclists Too». *Still more bikes behind the dikes. Reader on policy and research for bicycle facilities in the Netherlands*. C.R.O.W. Publication 6. Centre for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering.
- VAN MINEN, J. (1989): *Positie en Voorrangsregeling van fietser en bromfietser op rotondes «nieuwe stijl*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV). Netherlands.
- VAN MINEN, J. (1986): «Roundabouts: some remarks on the safety and capacity of roundabouts and roundabout priority systems». *Contribution to discussions in CEMTICCSR and CSR meetings on September, 9-*

- II, 1986. Institute for Road Safety Research SWOV. Leidschendam, Holanda, 1986.
- VODAL, S.; SKJETNE, E. (1985): *Roundabouts-Rundkjoeringer*. Norges Tekniske Hoegskole, Institut for Samferdselsteknikk. Oslo.
- WALKER, J.; PITTAM, S. (1989): *Accidents at mini-roundabouts: frequencies and rates*. Transport and Road Research Laboratory, Report. Crowthorne, Berks.
- WEBB, P.; TAYLOR, M. (1993): *UK Techniques for Predicting Roundabout Performance*. CETUR. Bagnoux, Francia.
- WILLUMSEN, L.; KAY, W. (1988): «Computer assisted optimisation of roundabout design». *Intersection without Traffic Signals*. Proceedings of an International Workshop, 16-18 March 1988, Bochum, Germany. Springer-Verlag, Berlin.
- WILLUMSEN, L.; KAY, W.; GHOSH (1988): «Computer assisted design of the geometry of roundabouts». *Transportation Planning and Technology*, 1988-07, vol. 12 n° 1, pp. 23-37.
- WORTHINTONG, J.; MAUNSELL, G. & PARTNERS (1992): «Roundabout design: A comparison of practice in the U. K. and France». *Highways*. Proceedings of the Seminar H of the 20th PTRC Transport, Highways and Planning Summer Annual Meeting, University of Manchester, September 14-18, 1992. Institute of Science and Technology, vol. P360.

Anexos

- 1. Inventario de glorietas de la Comunidad de Madrid**
- 2. Mediciones de capacidad en glorietas españolas**

Anexo I. Inventario de glorietas de la Comunidad de Madrid

I. Metodología

El presente *inventario de glorietas de la Comunidad de Madrid* pretende ser un instrumento de consulta que permita conocer, con cierto detalle, el conjunto de las intersecciones de este tipo, que la Comunidad ha realizado en sus carreteras en los últimos años.

El inventario consta de una pequeña ficha por glorieta, en la que se incluyen cuatro datos básicos (localización, año de proyecto, radio interior y estado) y un esquema, en el que señalan las denominaciones de las carreteras confluyentes y, en su caso, su IMD. Estas fichas se presentan ordenadas numericamente. Su numeración corresponde al número que se asigna a cada glorieta en el plano general de localización.

Para la localización e identificación de las glorietas, se ha partido de las indicaciones de los técnicos de la Dirección General de Carreteras, complementadas, en la mayoría de los casos, por la consulta de los proyectos de construcción. En aquellos casos en que no se disponía de los proyectos, se ha procedido a visitar cada una de las glorietas, comprobando su estado y midiendo el radio del islote central.

No existen datos específicos sobre las intensidades de circulación en las entradas a glorietas en la Comunidad de Madrid. Por ello, las intensidades medias diarias corresponden a las calculadas por la Dirección General para 1993 en las estaciones de aforo existentes en las carreteras madrileñas. Ello hace que, en muchos casos, no se disponga de las intensidades en uno o varios ramales y que, además, en muchos otros, las cifras que se ofrecen correspondan a estaciones de medida situadas a cierta distancia de las entradas a las glorietas. Por ello, las IMD recogidas deben tomarse con bastante cautela y utilizarse únicamente como referencia del orden de magnitud del tráfico en la glorieta que, en ocasiones, puede diferir sustancialmente del real.

2. Datos globales

Se han inventariado un total de 157 glorietas en las carreteras de la Comunidad de Madrid. De ellas, en el mes de octubre de 1994:

CLASIFICACIÓN SEGÚN SU ESTADO

105 estaban construidas y en funcionamiento
 35 se encontraban en construcción
 12 contaban con proyecto de construcción
 5 estaban en estudio

Diferenciándolas por su tipología, se observa que predominan las glorietas convencionales, aunque las dobles o pareadas suponen un porcentaje significativo.

CLASIFICACION POR TIPOLOGIAS

12 glorietas pareadas, en seis proyectos (7,6%)
 4 glorietas desniveladas, una respecto al ferrocarril (2,5%)
 141 glorietas convencionales (89,9%)

En cuanto al número de brazos, las más abundantes son las de cuatro (57,3%), pero las de tres brazos suponen un porcentaje importante (31,8%). Por su parte, las de dos o cinco brazos, aunque a un segundo nivel respecto a las anteriores, también resultan significativas cuantitativamente.

CLASIFICACION POR NUMERO DE BRAZOS

8 glorietas con dos ramales (5,1%)
 50 glorietas de 3 ramales (31,8%)
 90 glorietas de 4 ramales (57,3%)
 7 glorietas de 5 ramales (4,5%)
 2 glorietas de 6 ramales (1,3%)

Respecto a la geometría, del total de 157, únicamente 11 tienen forma elipsoidal, mientras el resto, 146, son circulares. Ello significa que:

POR LA FORMA DEL ISLOTE CENTRAL

El 7% son elipsoidales.

El 93% tienen forma circular.

De las glorietas circulares, la más pequeña tiene un radio de 2 metros (nº 131, en Galapagar), mientras las dos mayores, tienen ambas un radio de 80 metros (nº 87 en Torrejón de Ardoz y nº 120 en San Sebastián de los Reyes). El radio medio de las glorietas circulares de la Comunidad de Madrid es de 24,6 metros y la distribución porcentual de los radios es la siguiente:

**CLASIFICACION SEGUN RADIO
DEL ISLOTE CENTRAL**

| <i>Radio en metros</i> | <i>% sobre el total</i> |
|------------------------|-------------------------|
| De 0 a 5 | 0,7 |
| de 5,0 a 10 | 2,7 |
| de 10,0 a 15 | 16,3 |
| de 15,0 a 20 | 18,3 |
| de 20,0 a 25 | 18,9 |
| de 25,0 a 30 | 21,6 |
| de 30,0 a 35 | 8,8 |
| de 35,0 a 40 | 4,7 |
| de 40,0 a 45 | 2,0 |
| de 45,0 a 50 | 2,0 |
| Más de 50 | 4,0 |

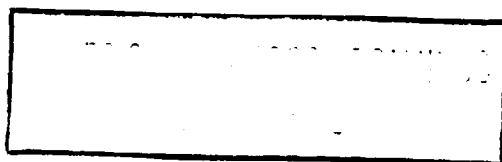
En cuanto a las glorietas elípticas, la de mayores dimensiones está situada en Torrejón de Ardoz y mide 116 x 77 metros. En la mayoría, la excentricidad no desciende por debajo de 0,6. Únicamente en dos casos, el 16 y el 16 bis, dos glorietas situadas a ambos lados de la N-VI, en Torrelodones, la excentricidad resulta excesivamente acusada (0,48 y 0,32).

En lo referente a su localización, las glorietas parecen utilizarse como intersección tipo en algunos itinerarios lo que da lugar a ciertas concentraciones. Así sucede, por ejemplo en las carreteras:

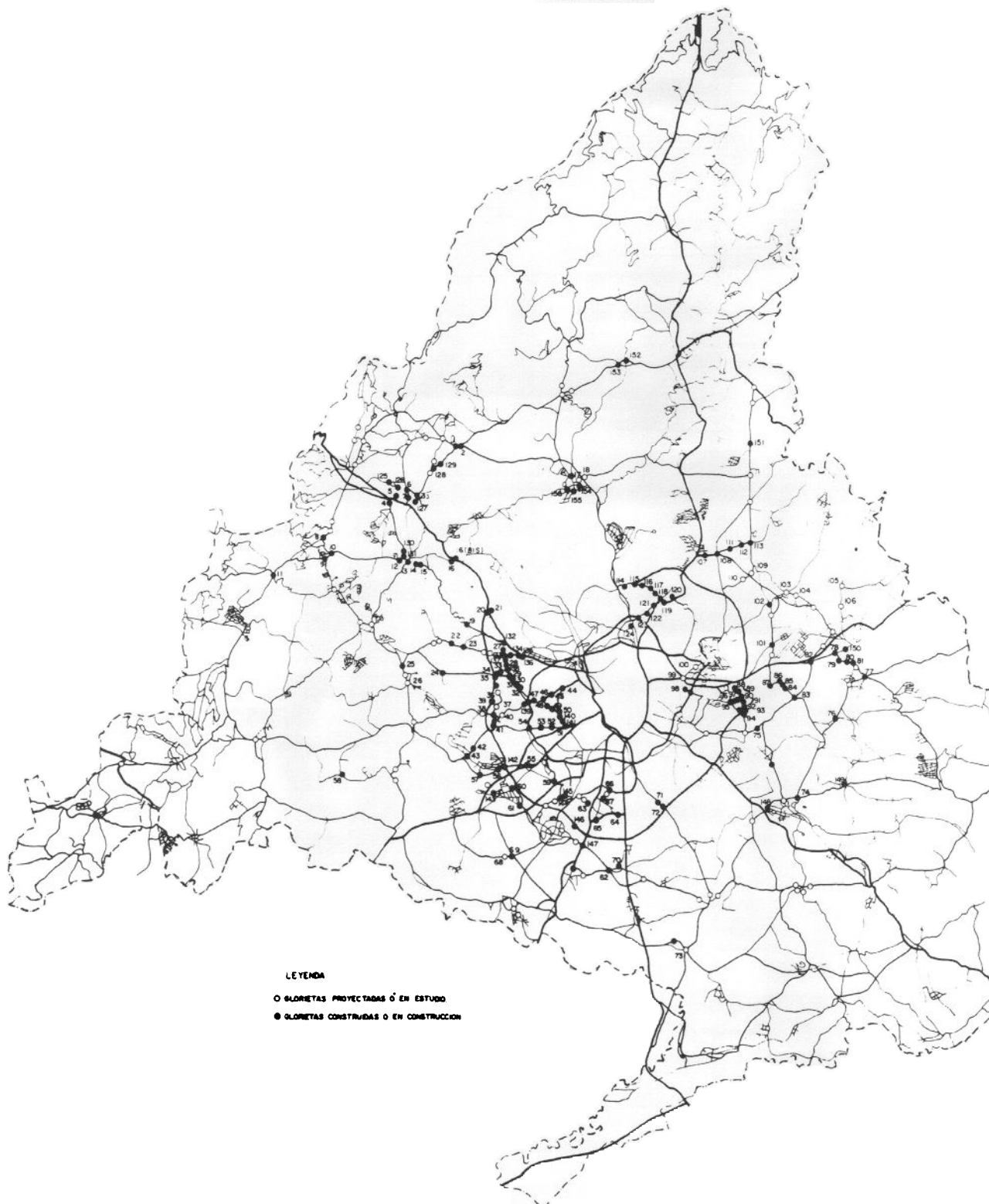
ITINERARIOS CARACTERIZADOS
POR LAS GLORIETAS

| <i>Denominación</i> | <i>Nº de glorietas</i> |
|---------------------|------------------------|
| M-515 | 11 |
| M-300 | 10 |
| M-505 | 9 |
| M-608 | 8 |
| M-206 | 7 |
| M-503 | 7 |
| M-502 | 7 |

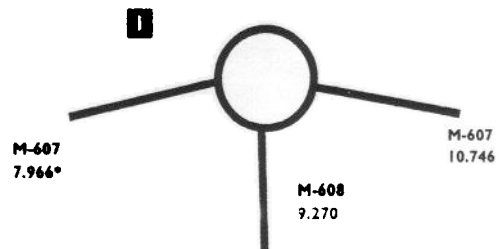
A continuación se presentan las fichas-inventario de glorietas de la Comunidad de Madrid, precedidas por un plano con su localización.



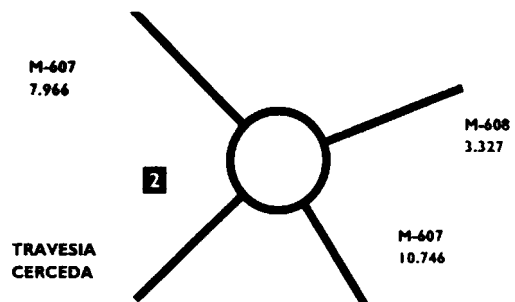
3. Plano de localización



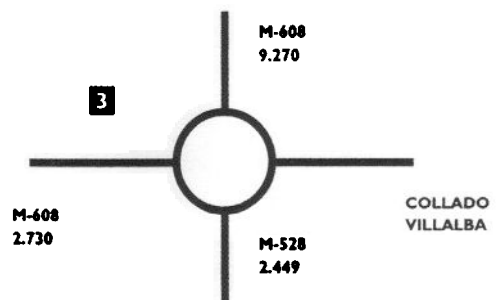
Glorieta n° 1
 Localización: Cerceda (El Boalo)
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 25 m.



Glorieta n° 2
 Localización: Cerceda
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 25 m.
 Estado: Construida



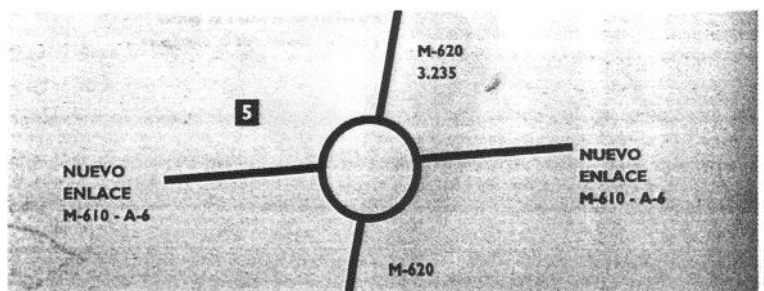
Glorieta n° 3
 Localización: Collado-Villalba
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 15 m.
 Estado: Construida



Glorieta n° 4
 Localización: Collado-Villalba
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 34 m.
 Estado: Construida



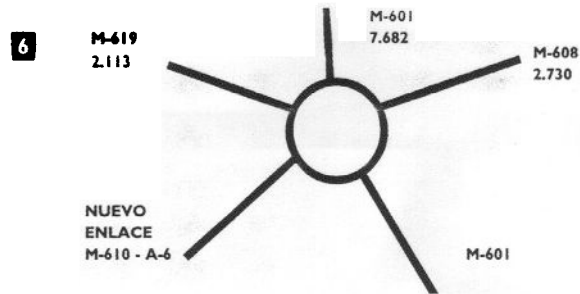
Glorieta n° 5
 Localización: Collado-Villalba
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 34 m.
 Estado: Construida



* Intensidad Media Diaria en 1993

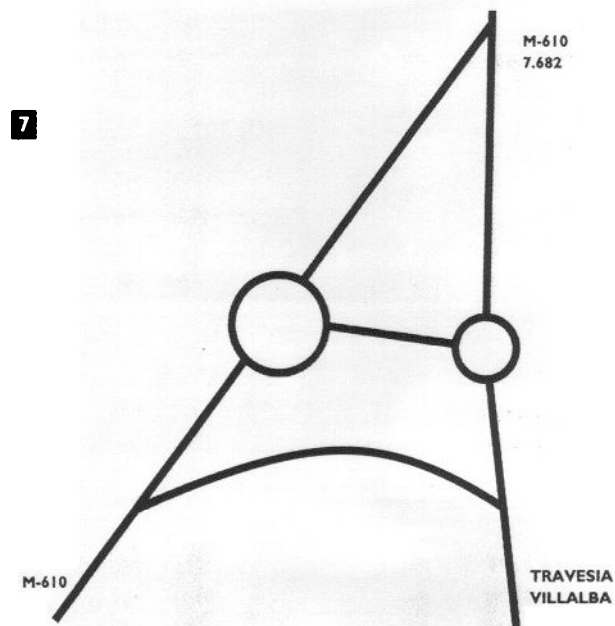
Glorieta nº 6

Localización: Collado-Villalba
Año de Proyecto: 1991
Radio interior: 39 m.
Estado: Construída



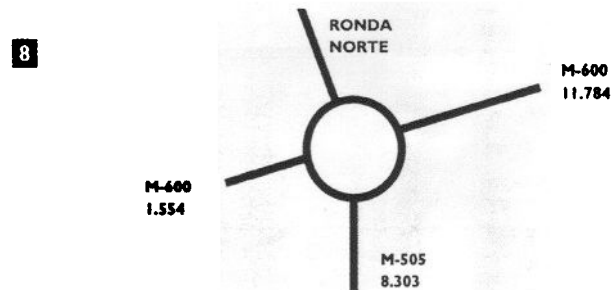
Glorieta nº 7

Localización: Collado-Villalba
Año de Proyecto: 1991
Radio interior: 23,5 m.
Estado: Construída



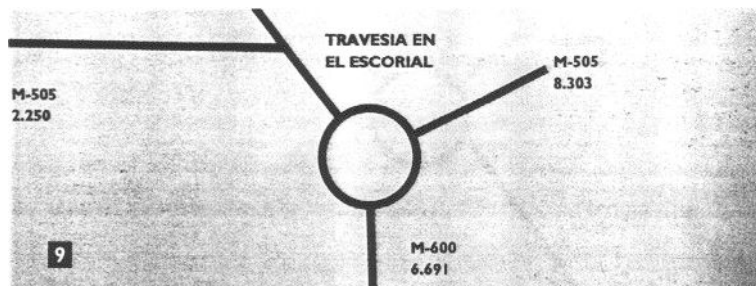
Glorieta nº 8

Localización: El Escorial
Año de Proyecto: 1993
Radio interior: 27 m.
Estado: En construcción

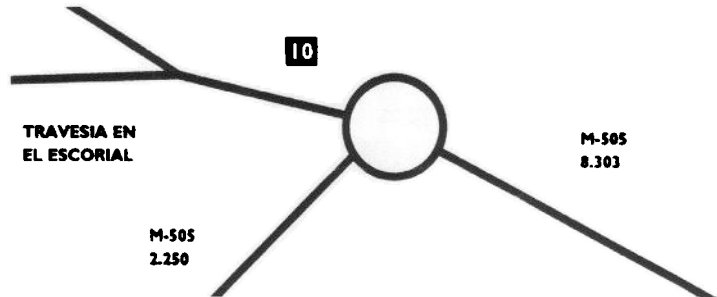


Glorieta nº 9

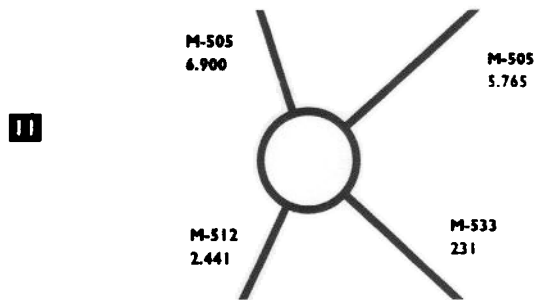
Localización: El Escorial
Año de Proyecto: 1989
Radio interior: 30,5 m.
Estado: Construída



Glorieta n° 10
 Localización: El Escorial
 Año de Proyecto: 1989
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida



Glorieta n° 11
 Localización: Pto. de la Cruz Verde
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 15 m.
 Estado: Construida



Glorieta n° 12
 Localización: Galapagar
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 30,5 m.
 Estado: Construida

15



Glorieta n° 13
 Localización: Galapagar
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 13 m.
 Estado: Construida

14

Glorieta n° 14
 Localización: Galapagar
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 30,5 m.
 Estado: Construida

13

Glorieta n° 15
 Localización: Galapagar
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 30,5 m.
 Estado: Construida

12

Glorieta n° 16

Localización: Torreldones

Año de Proyecto: 1989

Radio interior: 4-12,5 m.

Estado: Construida

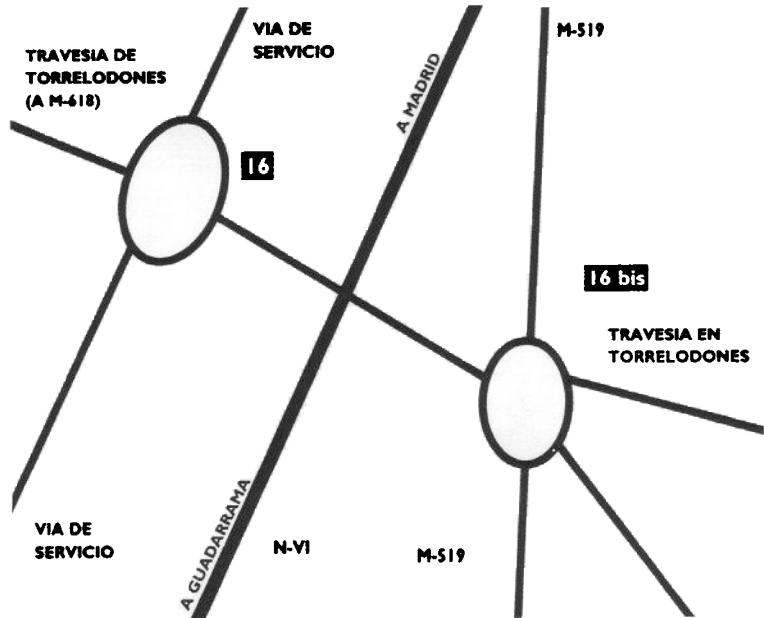
Glorieta n° 16 bis

Localización: Torreldones

Año de Proyecto: 1989

Dimensiones: 12 x 25 m

Estado: Construida



Glorieta n° 17

Localización: Colmenar Viejo

Año de Proyecto: 1993

Radio interior: 18 m.

Estado: Projectada

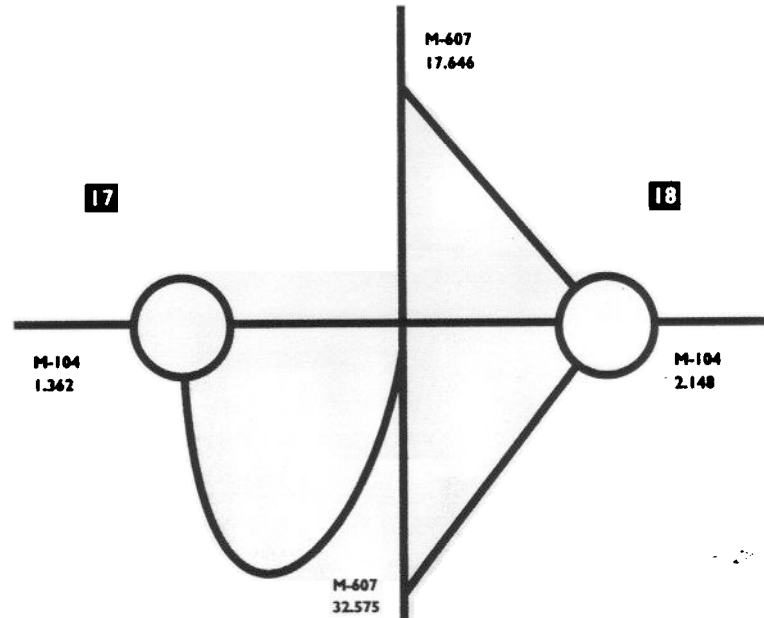
Glorieta n° 18

Localización: Colmenar Viejo

Año de Proyecto: 1993

Radio interior: 20 m.

Estado: Projectada



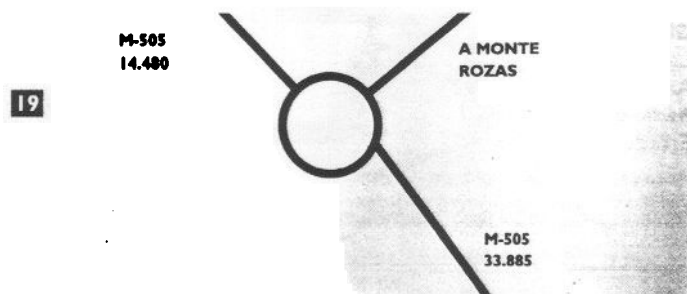
Glorieta n° 19

Localización: Entremontes (Las Rozas)

Año de Proyecto: 1994

Radio interior: 25 m.

Estado: En construcción

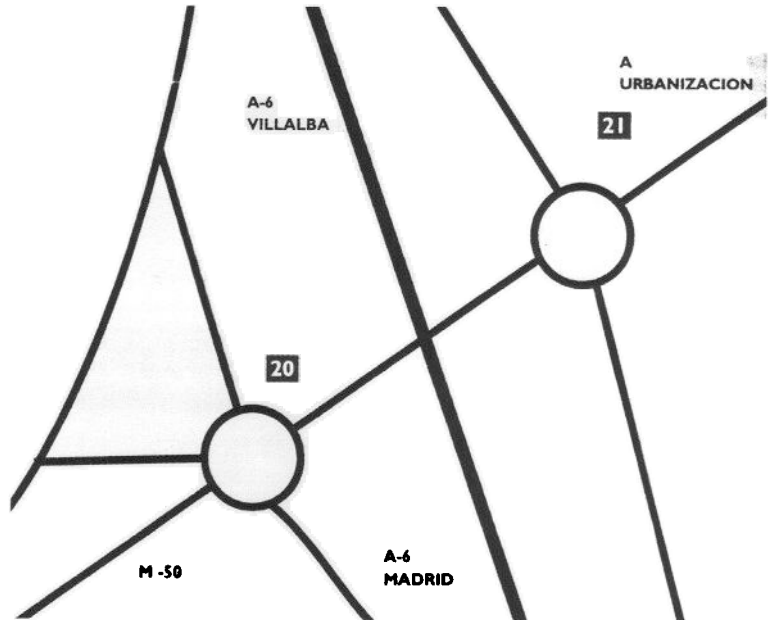


Glorieta n° 20

Localización: Pinar de las Rozas
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° 21

Localización: Pinar de las Rozas
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida



Glorieta n° 22

Localización: Villafranca del Castillo
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 17 m.
 Estado: En construcción

Glorieta n° 23

Localización: Villafranca del Castillo
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 15 m.
 Estado: En construcción



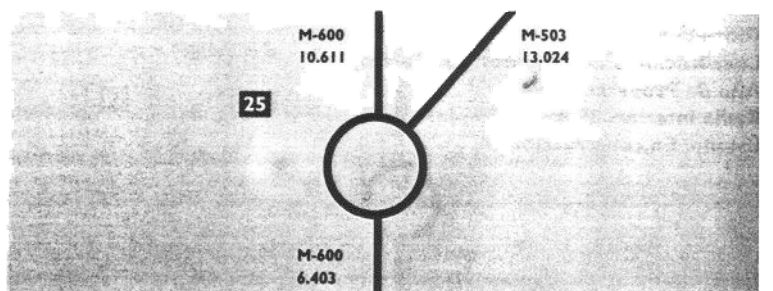
Glorieta n° 24

Localización: Villafranca del Castillo
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 24 m.
 Estado: Construida



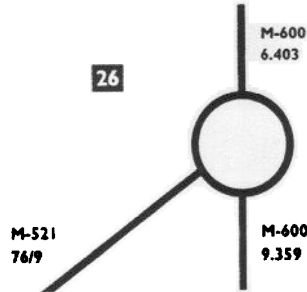
Glorieta n° 25

Localización: Villanueva de la Cañada
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 24 m.
 Estado: Construida



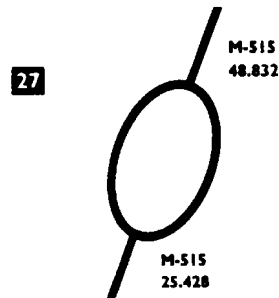
Glorieta nº 26

Localización: Villanueva de la Cañada
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 22 m.
 Estado: Proyectoada



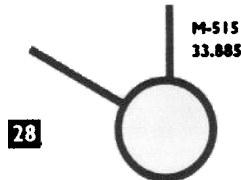
Glorieta nº 27

Localización: Majadahonda
 Año de Proyecto: 1988
 Radio interior: 12,5-10 m.
 Estado: Construida



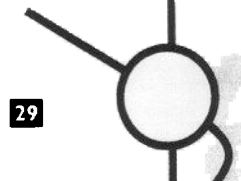
Glorieta nº 28

Localización: Pozuelo de Alarcón
 Año de Proyecto: 1988
 Radio interior: 19
 Estado: Construida



Glorieta nº 29

Localización: Pozuelo de Alarcón
 Año de Proyecto: 1988
 Radio interior: 25
 Estado: Construida



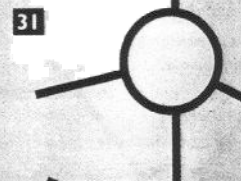
Glorieta nº 30

Localización: Pozuelo de Alarcón
 Año de Proyecto: 1988
 Radio interior: 25 m.
 Estado: En construcción



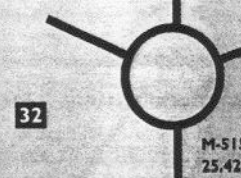
Glorieta nº 31

Localización: Pozuelo de Alarcón
 Año de Proyecto: 1988
 Radio interior: 25
 Estado: Construida



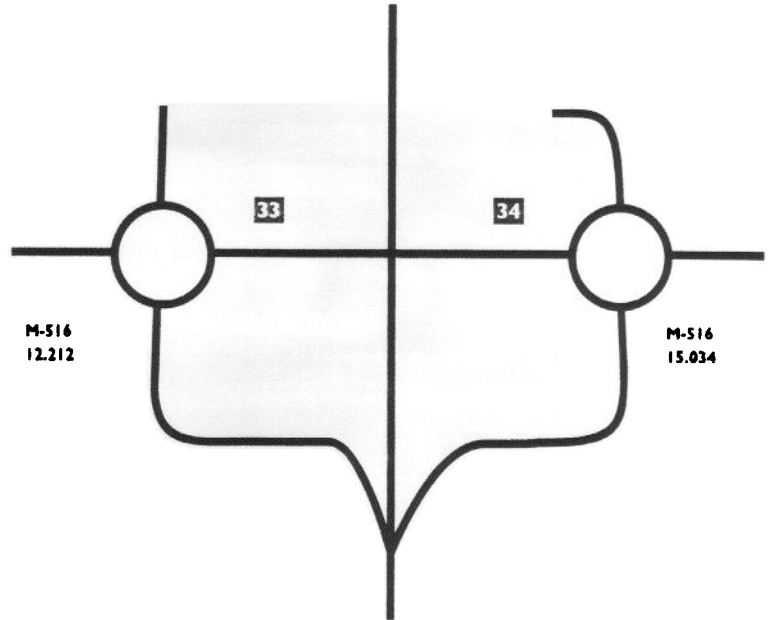
Glorieta nº 32

Localización: Pozuelo de Alarcón
 Año de Proyecto: 1988
 Radio interior: 25 m.
 Estado: Construida

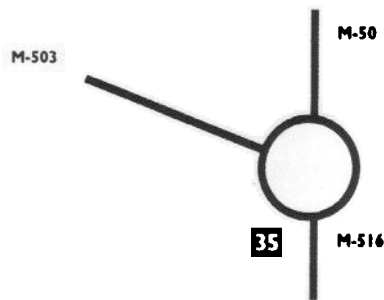


Glorieta n° 33
 Localización: Majadahonda
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 20 m.
 Estado: Construida

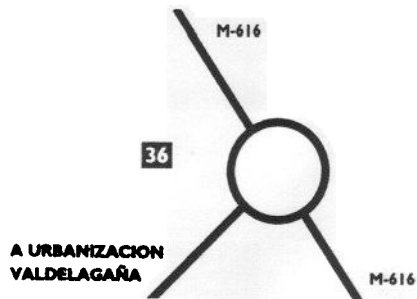
Glorieta n° 34
 Localización: Majadahonda
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 20 m.
 Estado: Construida



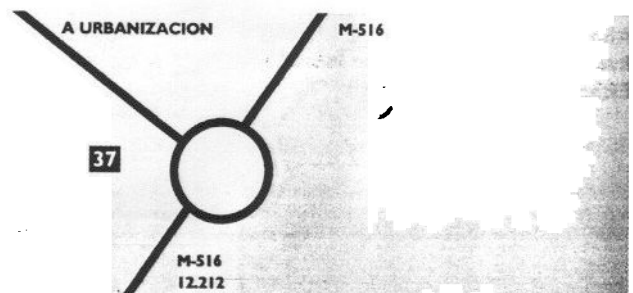
Glorieta n° 35
 Localización: Monteclaro
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 35
 Estado: Construida



Glorieta n° 36
 Localización: Las Lomas
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 39 m.
 Estado: En estudio

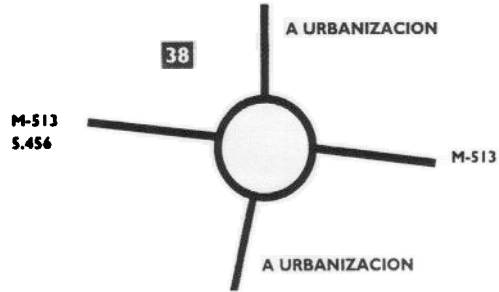


Glorieta n° 37
 Localización: Las Lomas
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 45,5 m.
 Estado: Proyectada



Glorieta nº 38

Localización: Boadilla del Monte
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 20 m.
 Estado: En estudio

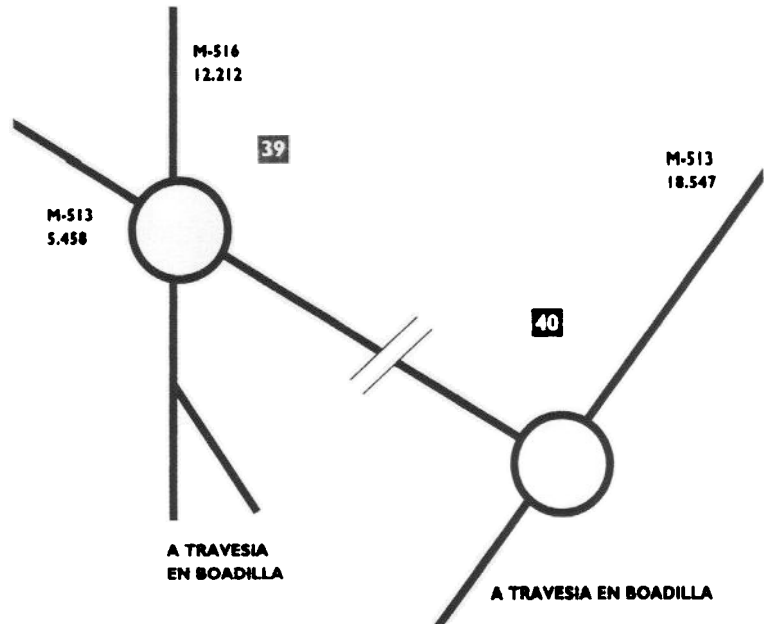


Glorieta nº 39

Localización: Boadilla del Monte
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

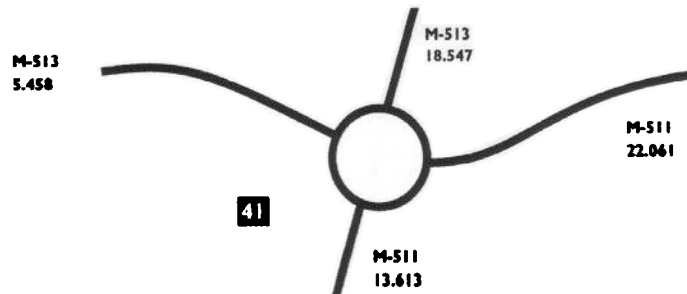
Glorieta nº 40

Localización: Boadilla del Monte
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Projectada



Glorieta nº 41

Localización: Boadilla del Monte
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 27 m.
 Estado: Construida



Glorieta nº 42

Localización: Villaviciosa de Odón
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 28 m.
 Estado: Construida



Glorieta n° 43

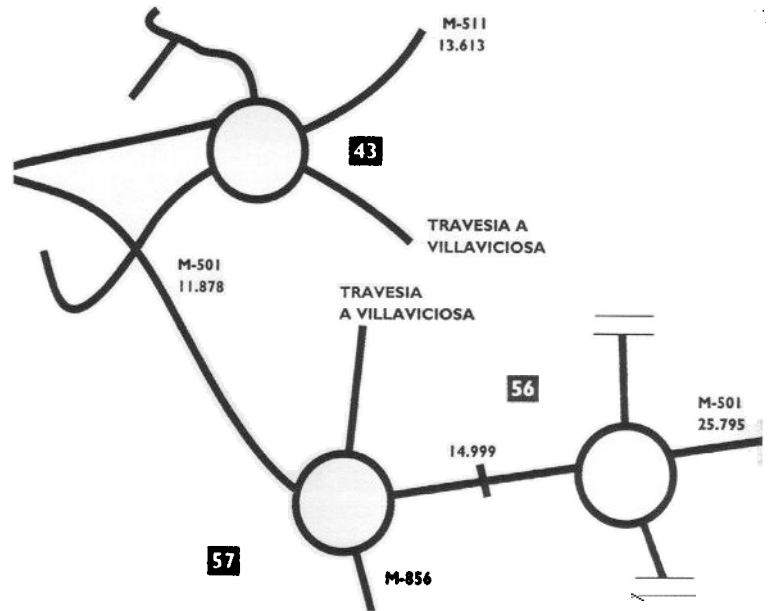
Localización: Villaviciosa de Odón
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 40 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° 56

Localización: Villaviciosa de Odón
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

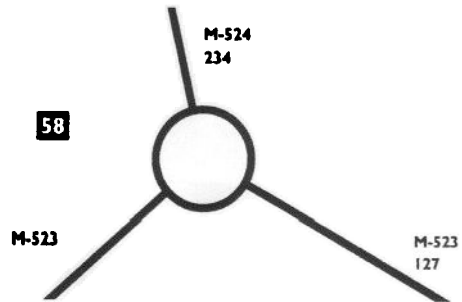
Glorieta n° 57

Localización: Villaviciosa de Odón
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 40 m.
 Estado: Construida



Glorieta n° 58

Localización: Villanueva de Perales
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 13 m.
 Estado: Construida



Glorieta n° 44

Localización: Carretera Aravaca-Pozuelo
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° 45

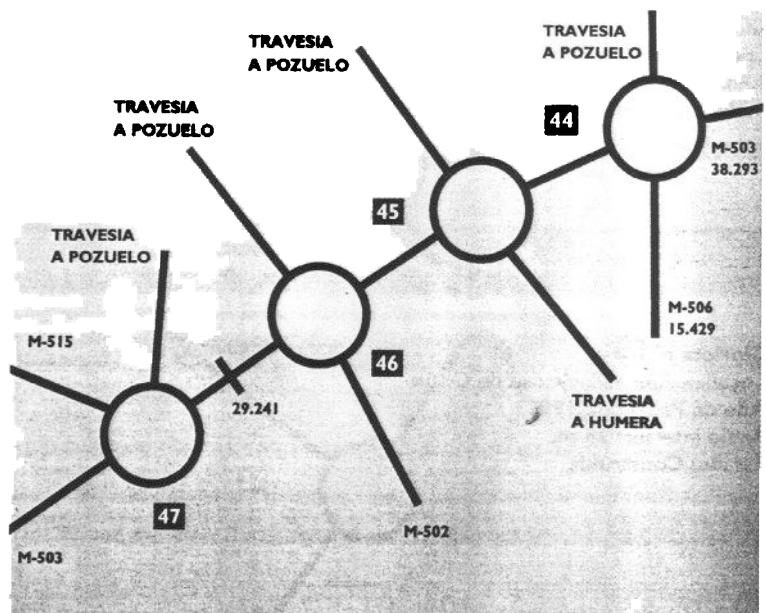
Localización: Carretera Aravaca-Pozuelo
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° 46

Localización: Carretera Aravaca-Pozuelo
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° 47

Localización: Carretera Aravaca-Pozuelo
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida



Glorieta nº 48

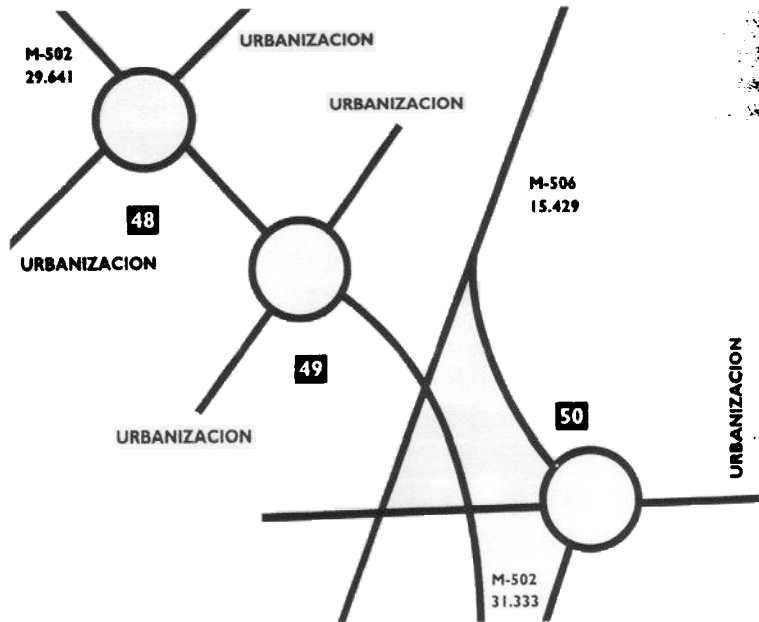
Localización: Somosaguas
 Año de Proyecto: 1989
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº 49

Localización: Somosaguas
 Año de Proyecto: 1989
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº 50

Localización: Somosaguas
 Año de Proyecto: 1989
 Radio interior: 13 m.
 Estado: Construida



Glorieta nº 51

Localización: Monte Principe
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 50 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº 52

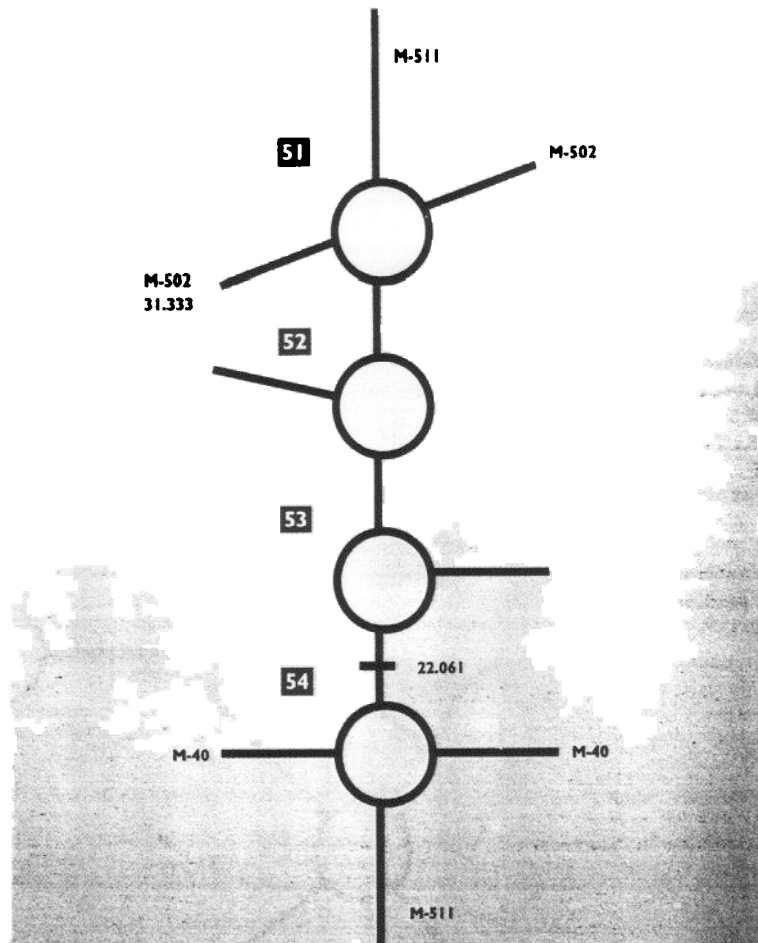
Localización: Monte Principe
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 36 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº 53

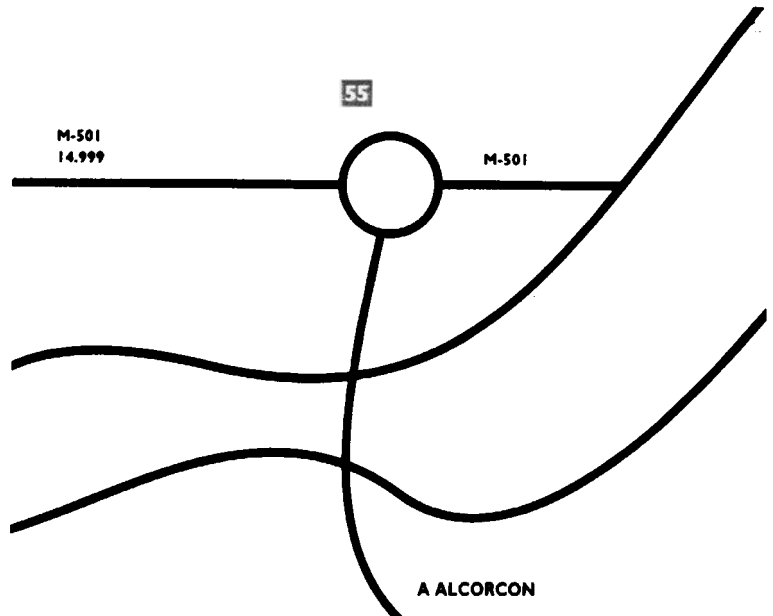
Localización: Monte Principe
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 36 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº 54

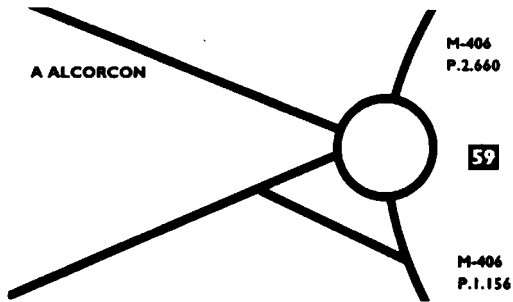
Localización: Monte Principe
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 56 m.
 Estado: Construida



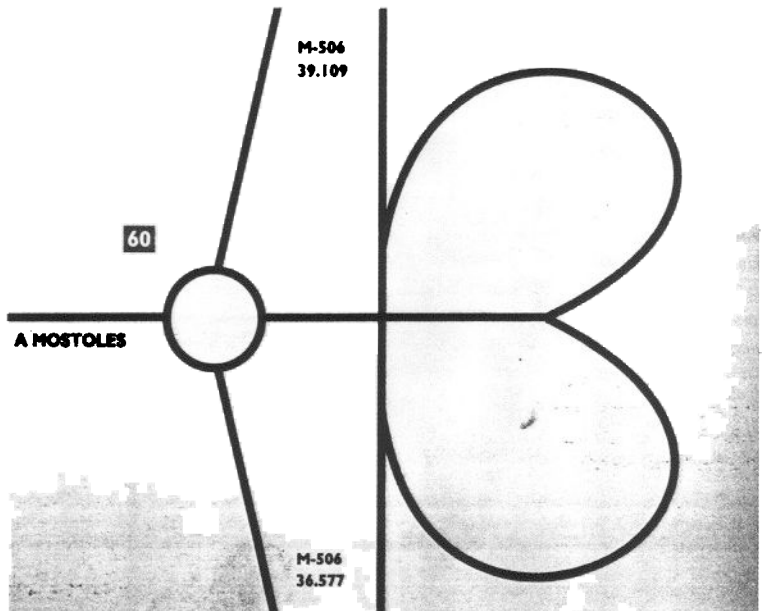
Glorieta n° 55
Localización: Alcorcón
Año de Proyecto: 1992
Radio interior: 27,5 m.
Estado: Construida



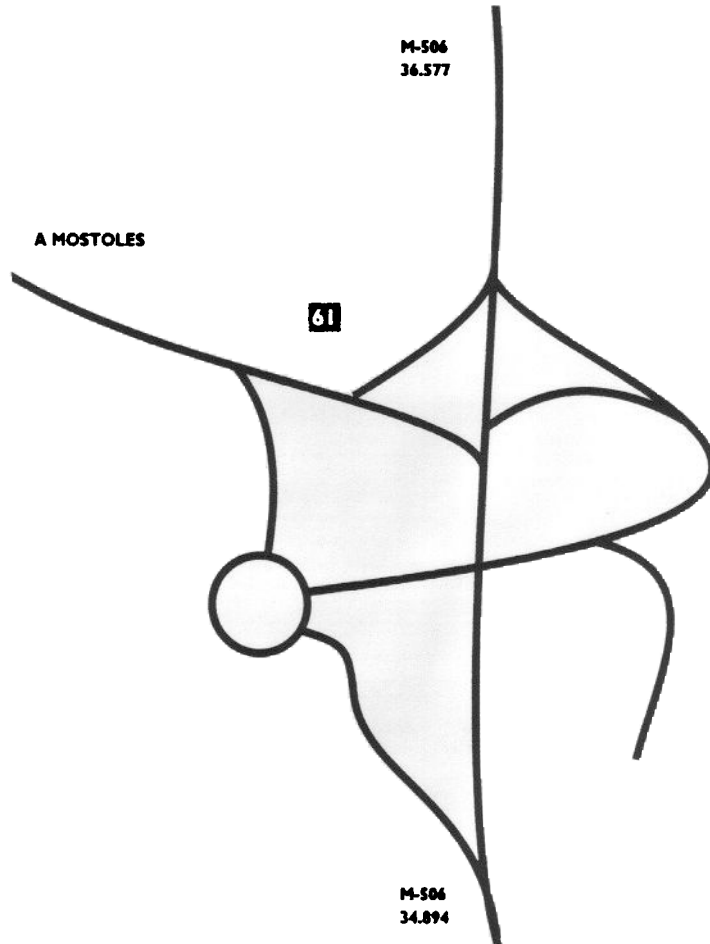
Glorieta n° 59
Localización: Leganes
Año de Proyecto: 1990
Radio interior: 45 m.
Estado: Construida



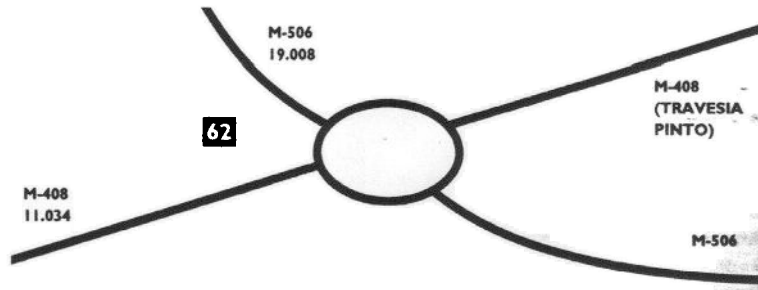
Glorieta n° 60
Localización: Alcorcón
Año de Proyecto: 1990
Radio interior: 8 m.
Estado: Construida



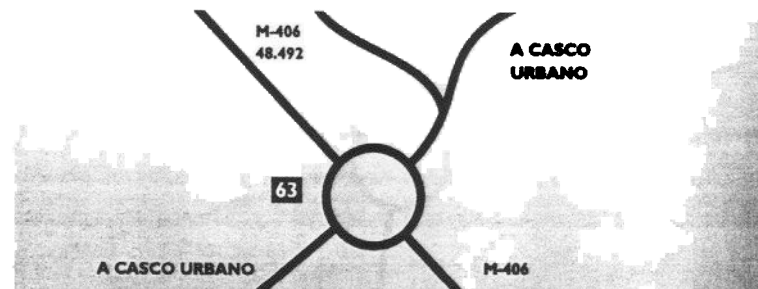
Glorieta n° **61**
 Localización: Móstoles
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 17,5 m.
 Estado: Construida



Glorieta n° **62**
 Localización: Pinto
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 116-77 m.
 Estado: Construida

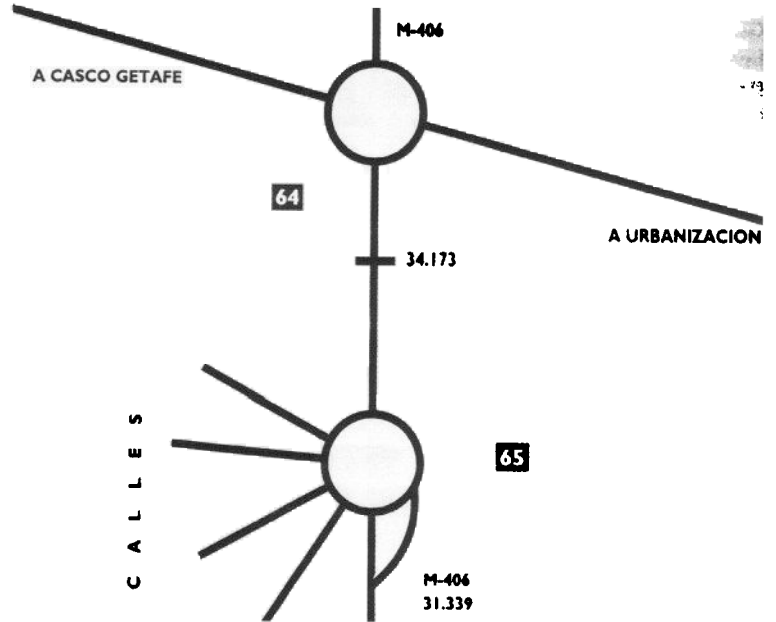


Glorieta n° **63**
 Localización: Getafe
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 27 m.
 Estado: Construida



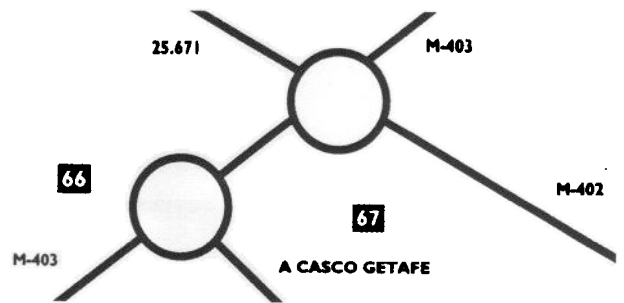
Glorieta n° 64
 Localización: Getafe
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 24 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° 65
 Localización: Getafe
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 20 m.
 Estado: Construida



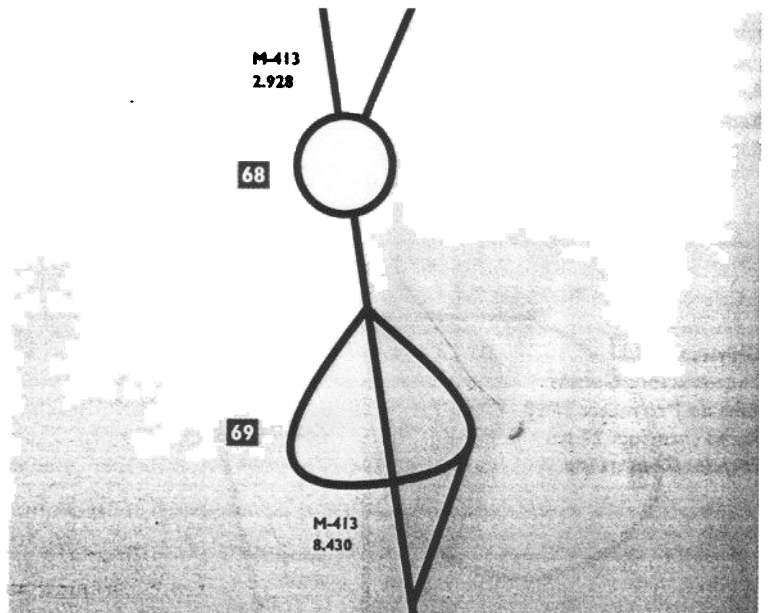
Glorieta n° 66
 Localización: Getafe
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 64 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° 67
 Localización: Getafe
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 36 m.
 Estado: Construida

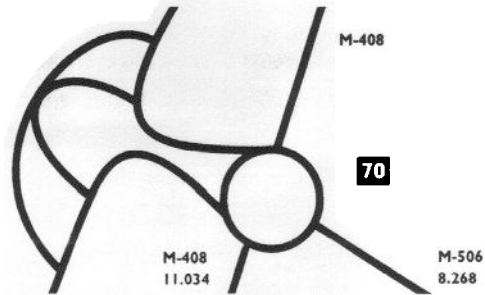


Glorieta n° 68
 Localización: Moraleja de Enmedio
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 18 m.
 Estado: En estudio

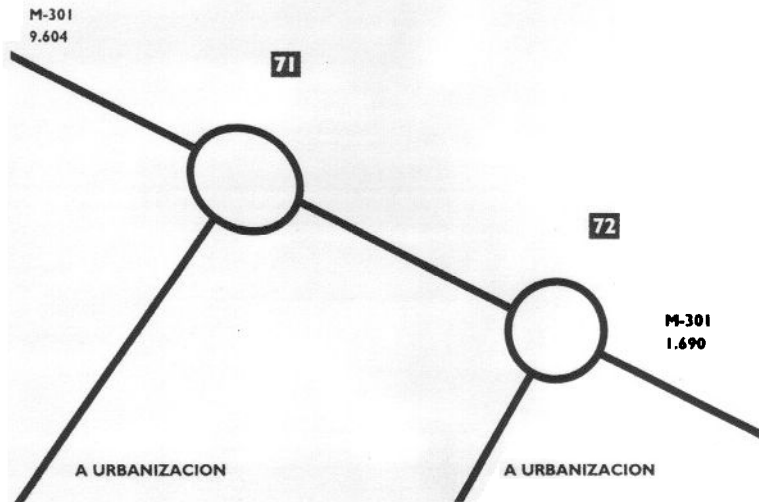
Glorieta n° 69
 Localización: Moraleja de Enmedio
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 15 m.
 Estado: Construida



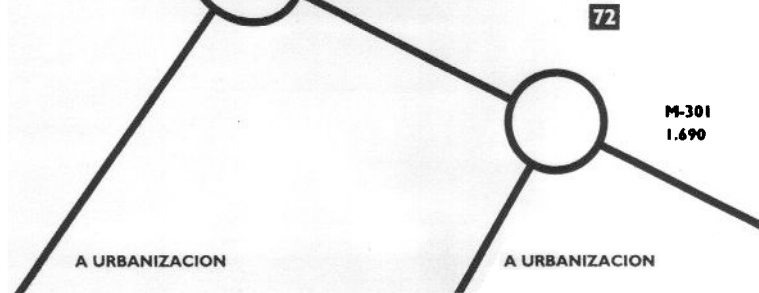
Glorieta nº **70**
 Localización: Pinto
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 35 m.
 Estado: En construcción



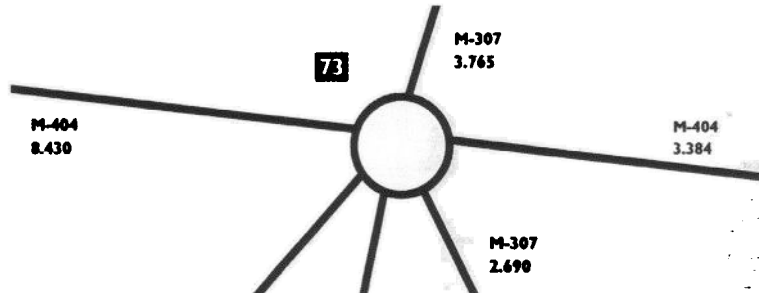
Glorieta nº **71**
 Localización: Perales del Rio
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 27 m.
 Estado: En construcción



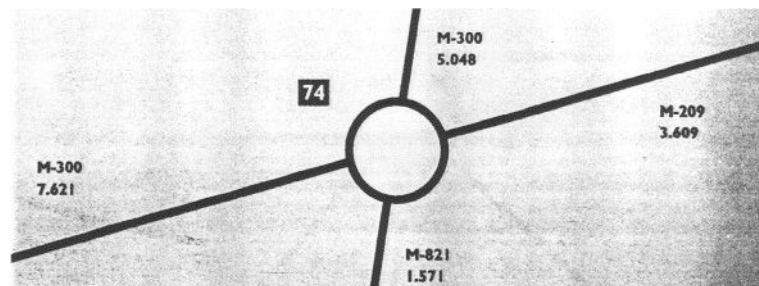
Glorieta nº **72**
 Localización: Perales del Rio
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 34 m.
 Estado: En construcción



Glorieta nº **73**
 Localización: Ciempozuelos
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 22,5 m.
 Estado: En construcción

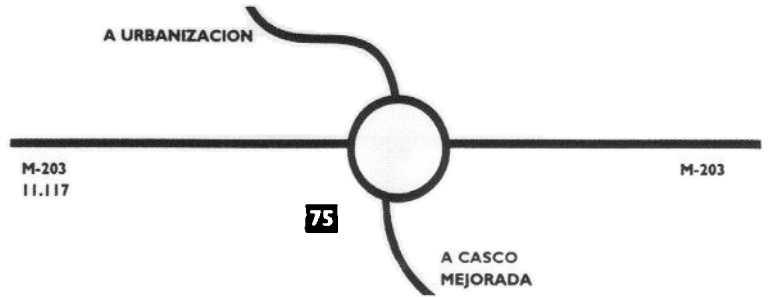


Glorieta nº **74**
 Localización: Arganda del Rey
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 26 m.
 Estado: Construida



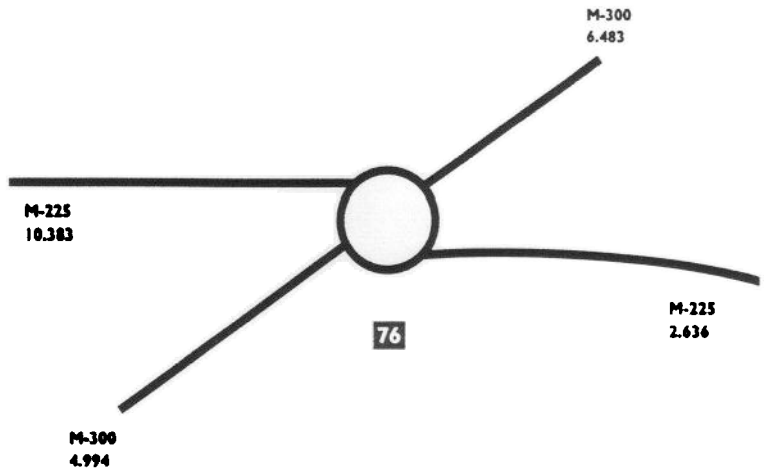
Glorieta n° 75

Localización: Mejorada del Campo
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 30 m.
 Estado: En construcción



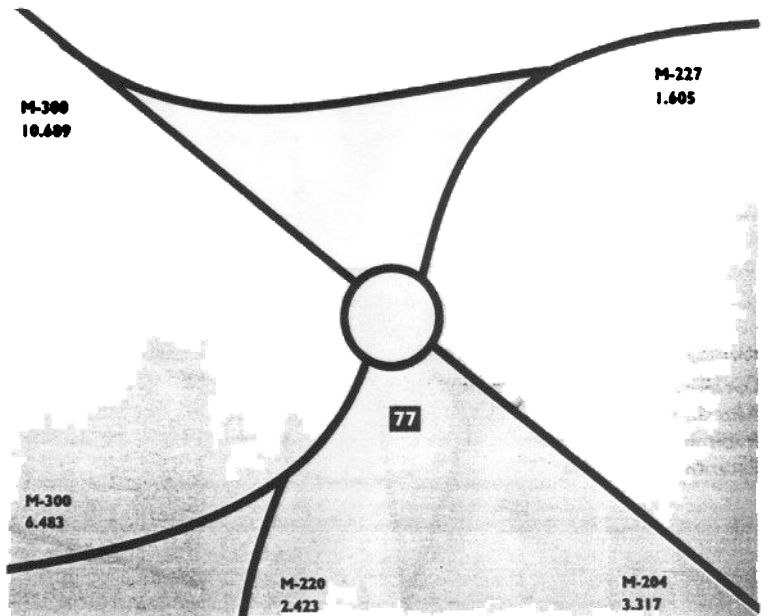
Glorieta n° 76

Localización: Torres de la Alameda
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 30
 Estado: En construcción



Glorieta n° 77

Localización: El Gurugu (Alcalá de Henares)
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 12,5 m.
 Estado: Construida



Glorieta nº 78

Localización: Alcalá de Henares
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 17,5 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº 79

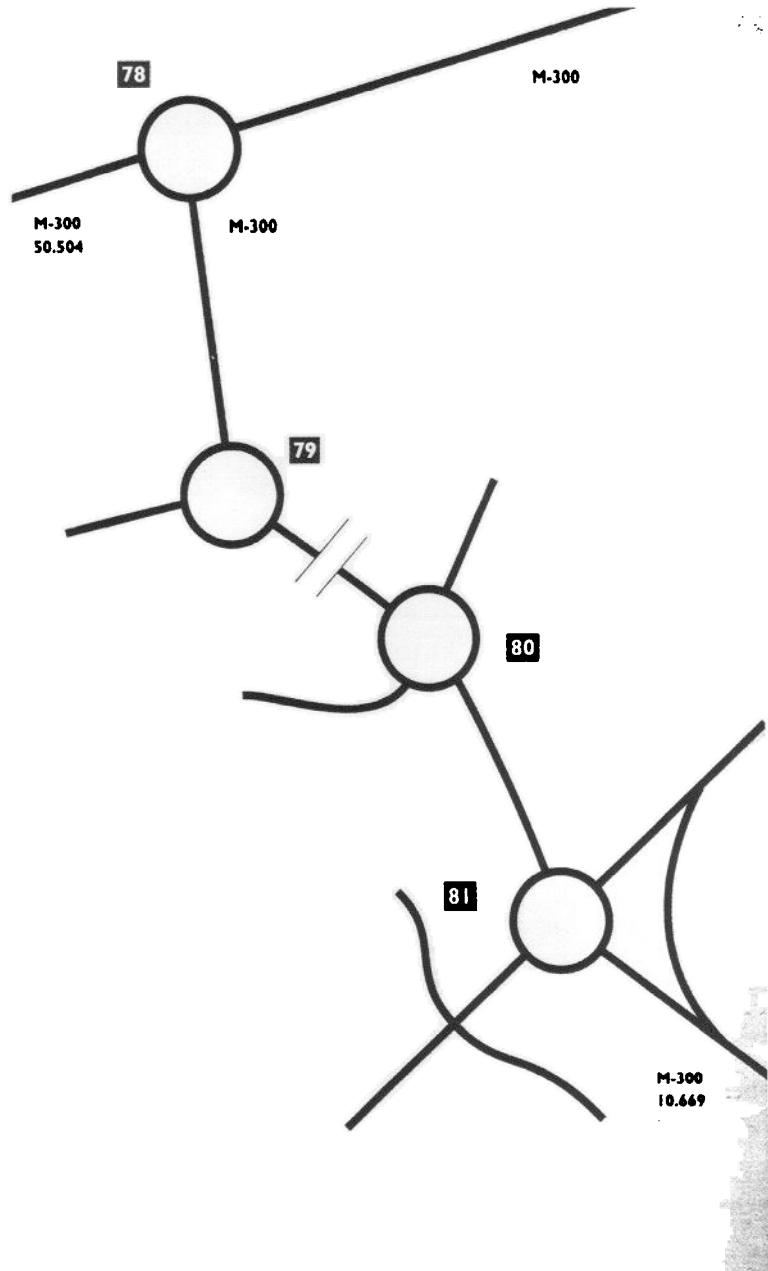
Localización: Alcalá de Henares
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 18 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº 80

Localización: Alcalá de Henares
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 18 m.
 Estado: Construida

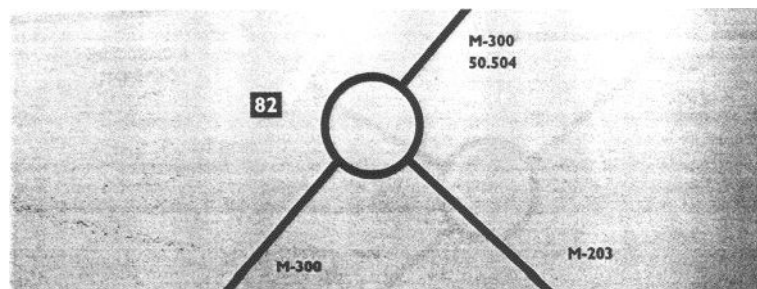
Glorieta nº 81

Localización: Alcalá de Henares
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 17,5 m.
 Estado: Construida



Glorieta nº 82

Localización: Torrejón de Ardoz
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 35 m.
 Estado: En construcción



Glorieta n° 83

Localización: Torrejón de Ardoz

Año de Proyecto: 1988

Radio interior: 31 m.

Estado: Construida

Glorieta n° 84

Localización: Torrejón de Ardoz

Año de Proyecto: 1988

Radio interior: 20 m.

Estado: En construcción

Glorieta n° 85

Localización: Torrejón de Ardoz

Año de Proyecto: 1988

Radio interior: 20 m.

Estado: En construcción

Glorieta n° 86

Localización: Torrejón de Ardoz

Año de Proyecto: 1990

Radio interior: 76-55 m.

Estado: Construida

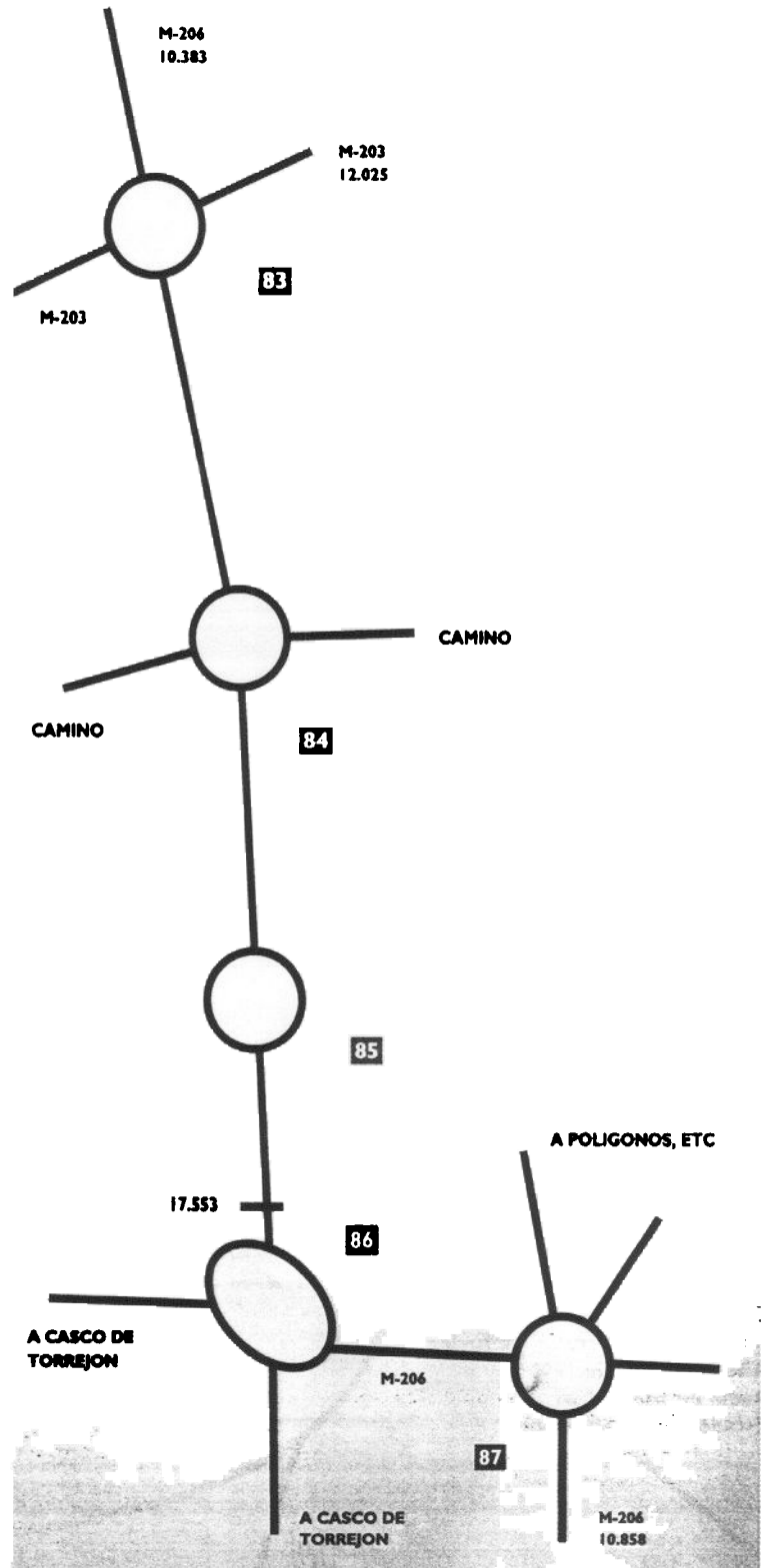
Glorieta n° 87

Localización: Torrejón de Ardoz

Año de Proyecto: 1990

Radio interior: 80 m.

Estado: Construida



Glorieta nº 88
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 17 m.
 Estado: En construcción

Glorieta nº 69
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 20 m.
 Estado: En construcción

Glorieta nº 90
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 22 m.
 Estado: En construcción

Glorieta nº 91
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 30 m.
 Estado: En construcción

Glorieta nº 92
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 12 m.
 Estado: En construcción

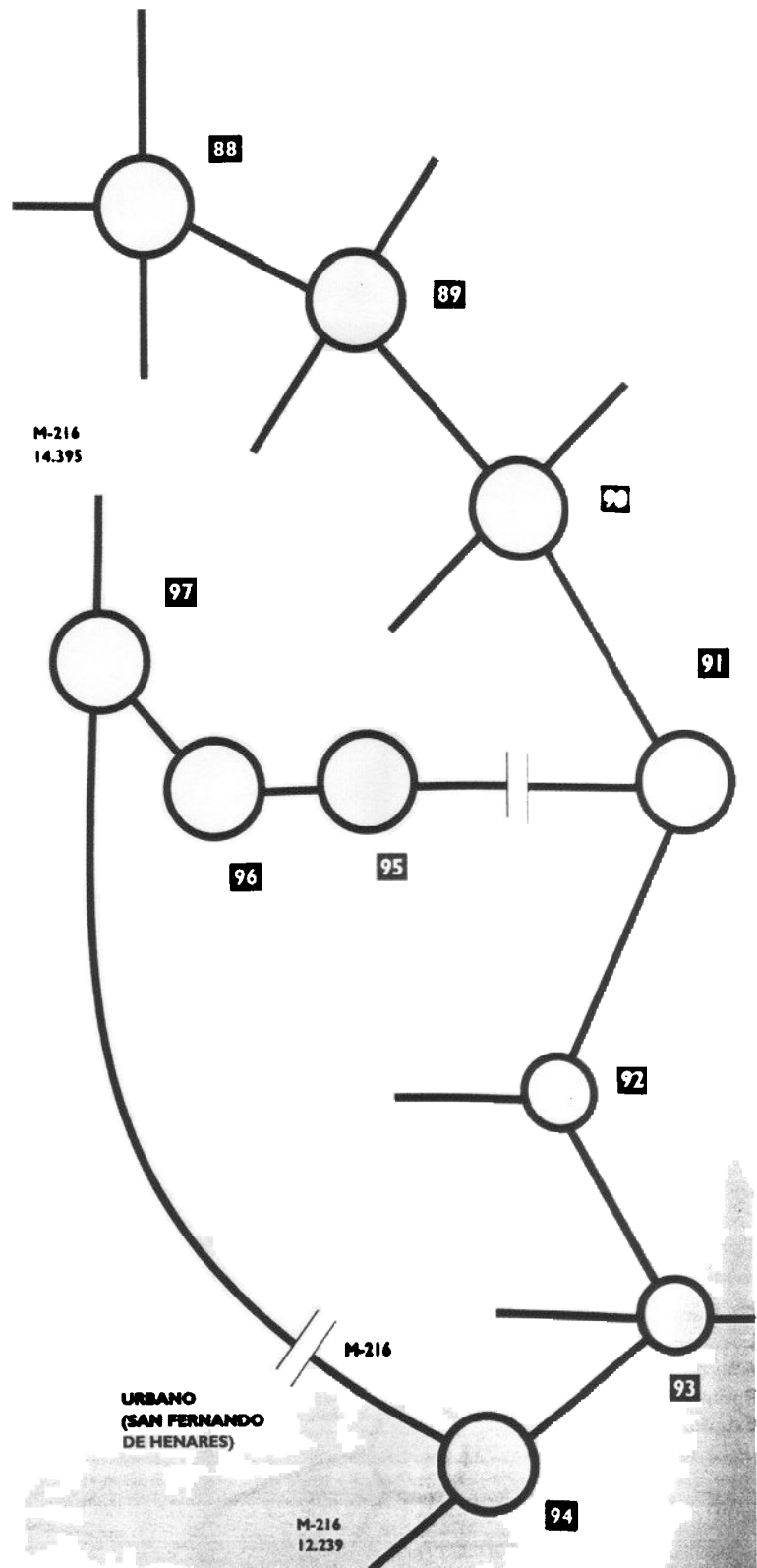
Glorieta nº 93
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 12,5 m.
 Estado: En construcción

Glorieta nº 94
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 21 m.
 Estado: Construida

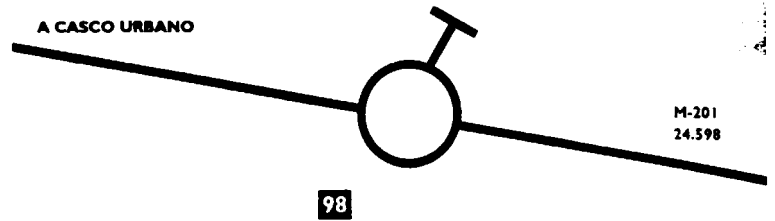
Glorieta nº 95
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 21 m.
 Estado: En construcción

Glorieta nº 96
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 21 m.
 Estado: En construcción

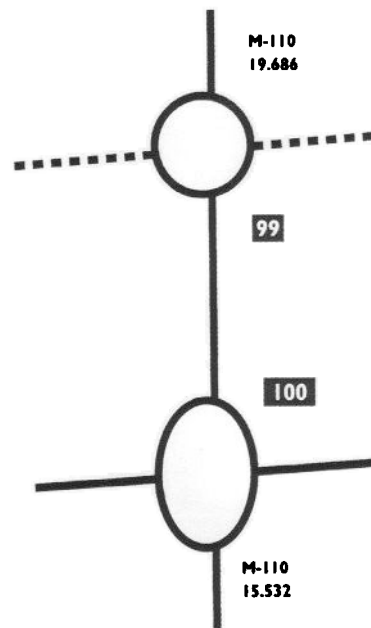
Glorieta nº 97
 Localización: San Fernando de Henares
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 21 m.
 Estado: En construcción



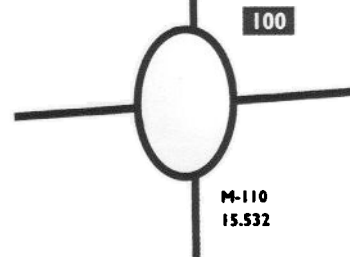
Glorieta n° 98
 Localización: Canillejas
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 57 m.
 Estado: Construida



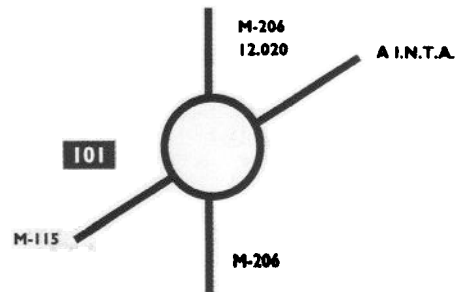
Glorieta n° 99
 Localización: Barajas
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 27 m.
 Estado: proyectada



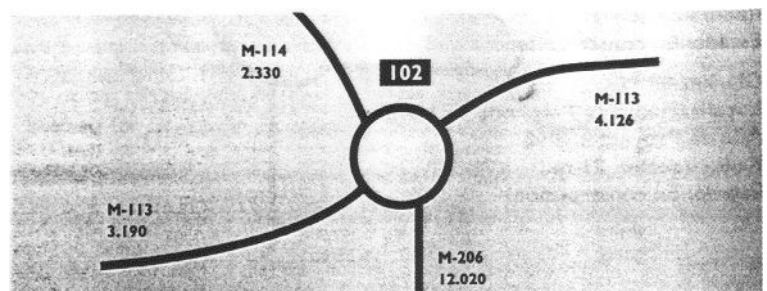
Glorieta n° 100
 Localización: Barajas
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 52-36 m.
 Estado: proyectada



Glorieta n° 101
 Localización: Los Berrocales
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 26 m.
 Estado: Construida

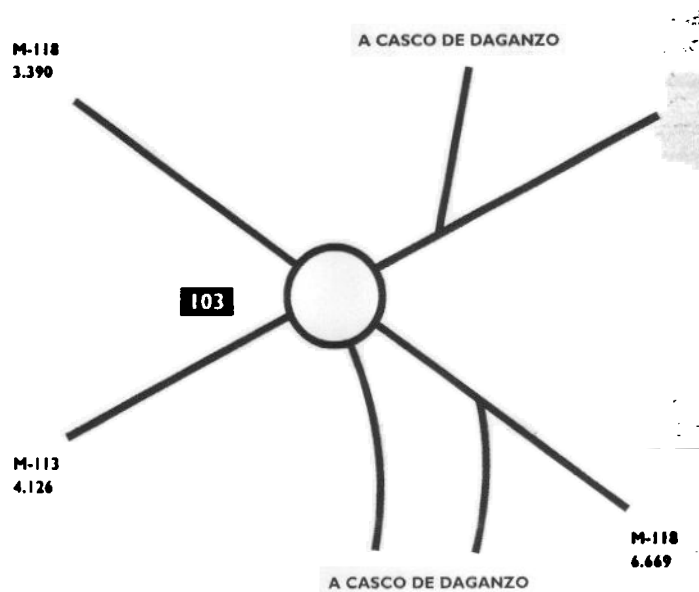


Glorieta n° 102
 Localización: Ajalvir
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 25 m.
 Estado: Construida



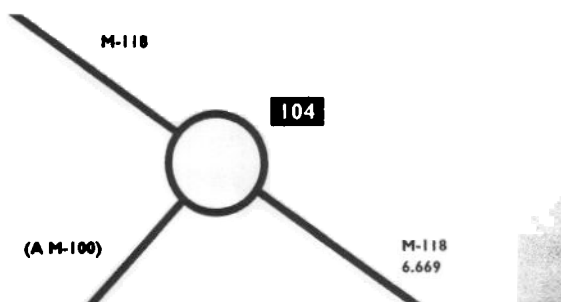
Glorieta nº 103

Localización: Daganzo de Arriba
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 15 m.
 Estado: En estudio



Glorieta nº 104

Localización: Daganzo de Arriba
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 22,5 m.
 Estado: En estudio

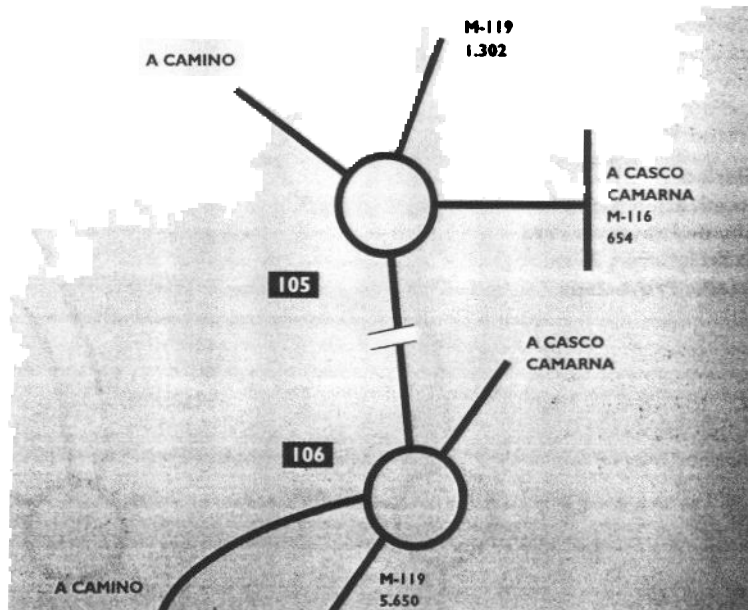


Glorieta nº 105

Localización: Camarma de Esteruelas
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 15,5 m.
 Estado: Projectada

Glorieta nº 106

Localización: Camarma de Esteruelas
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 15,5 m.
 Estado: Projectada

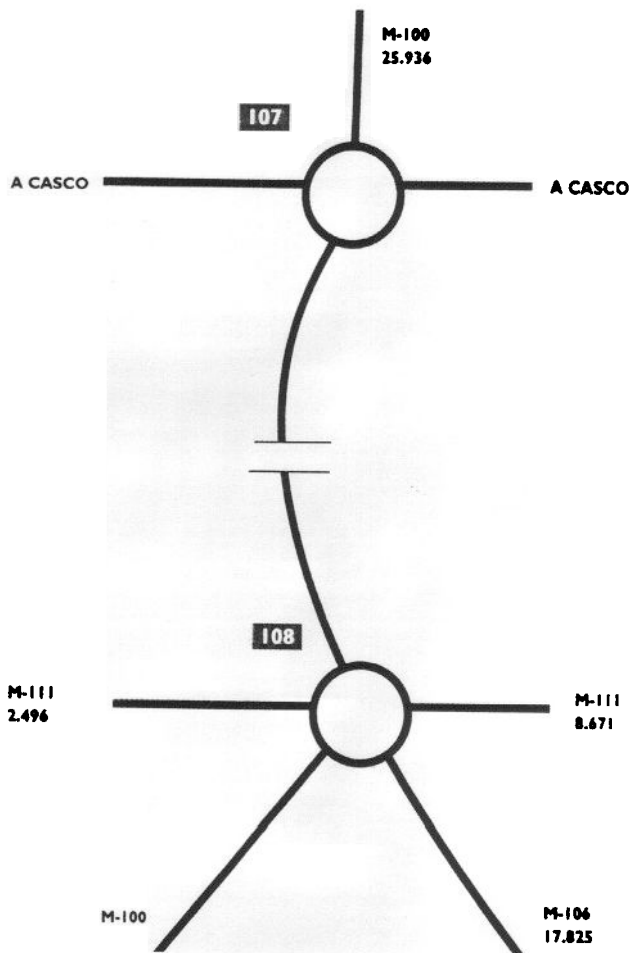


Glorieta n° 107

Localización: Fuente del Fresno
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 14 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° 108

Localización: Fuente del Fresno
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 22,5 m.
 Estado: Construida

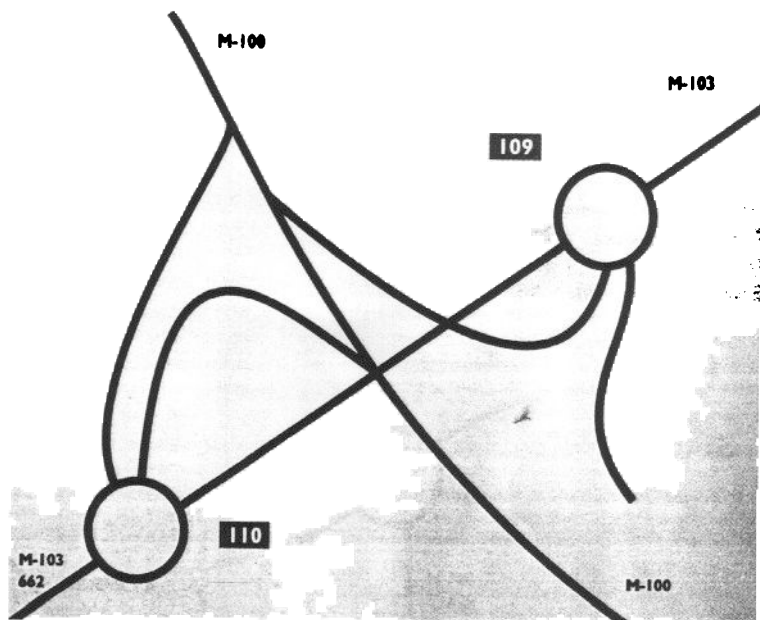


Glorieta n° 109

Localización: Cobefia
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 25 m.
 Estado: Proyectoada

Glorieta n° 110

Localización: Cobefia
 Año de Proyecto: 1993
 Radio interior: 25 m.
 Estado: Proyectoada



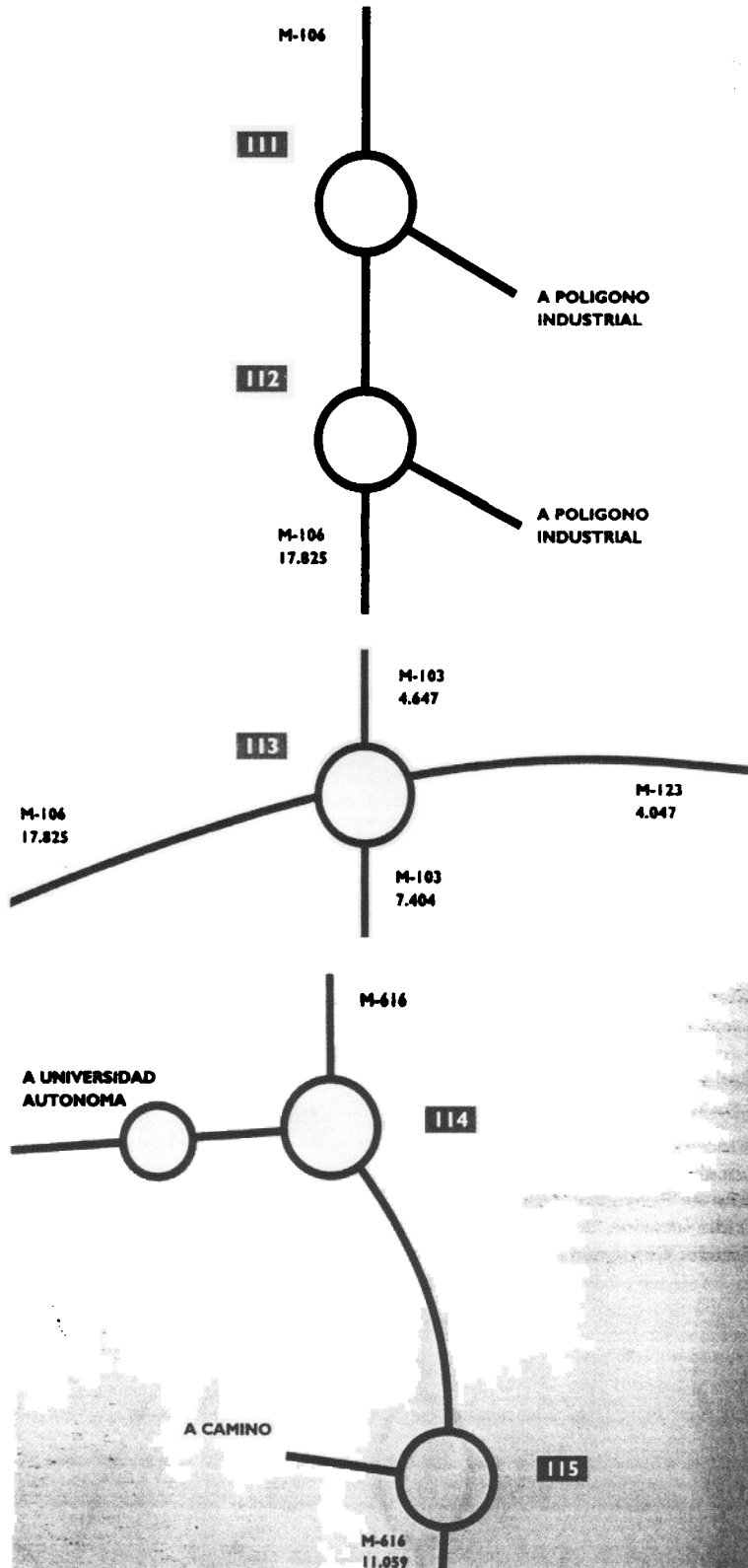
Glorieta nº **111**
 Localización: Algete
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 25,5 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº **112**
 Localización: Algete
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 20 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº **113**
 Localización: Algete
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 27 m.
 Estado: Construida

Glorieta nº **114**
 Localización: Universidad Autónoma
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 29,5 m.
 Estado: En construcción

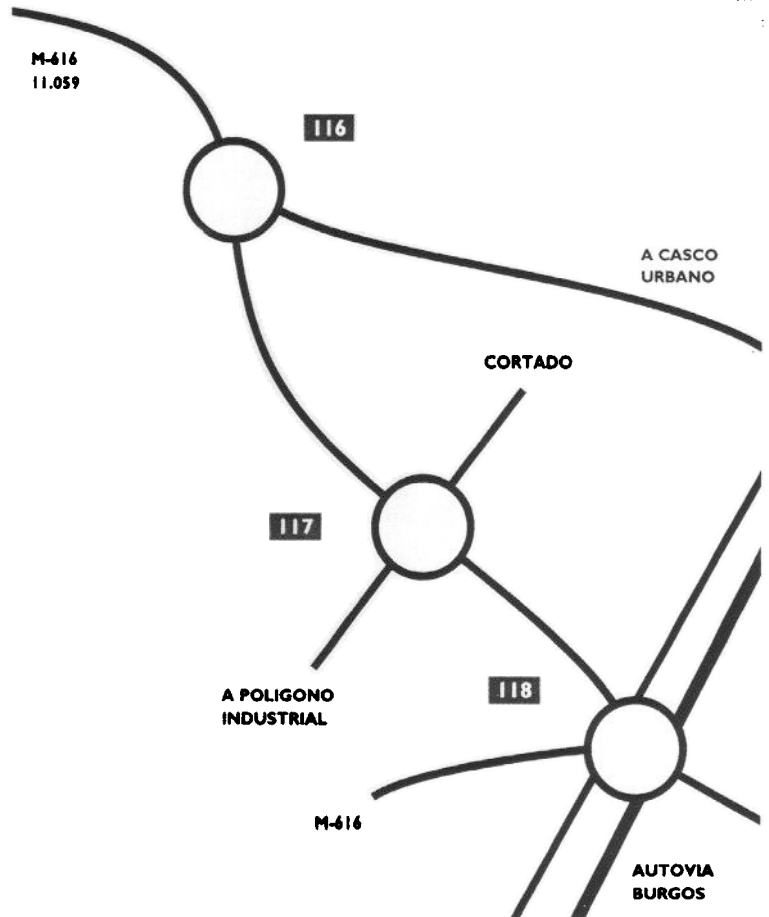
Glorieta nº **115**
 Localización: Universidad Autónoma
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 25 m.
 Estado: En construcción



Glorieta n° 116
 Localización: Alcobendas
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

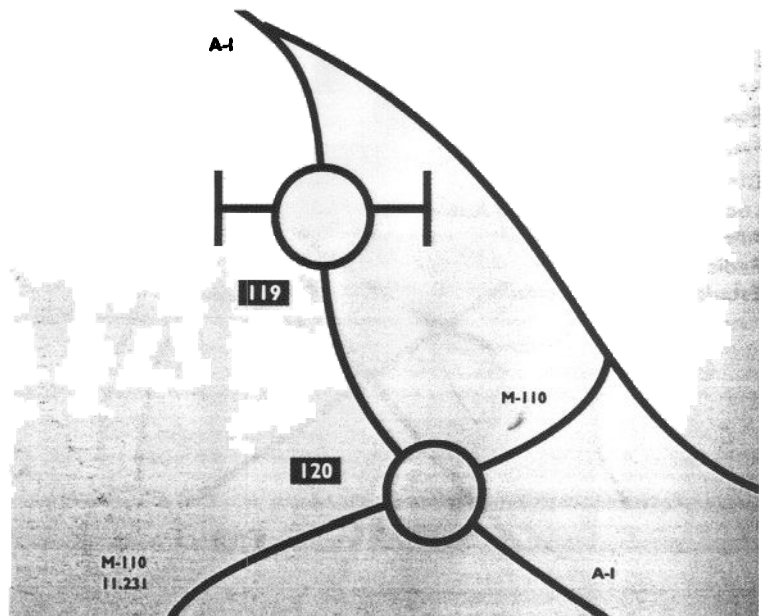
Glorieta n° 117
 Localización: Alcobendas
 Año de Proyecto: 1992
 Radio interior: 30 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° 118
 Localización: Alcobendas
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 25 m.
 Estado: Construida



Glorieta n° 119
 Localización: San Sebastián de los Reyes
 Año de Proyecto: 1989
 Radio interior: 70 m.
 Estado: Construida

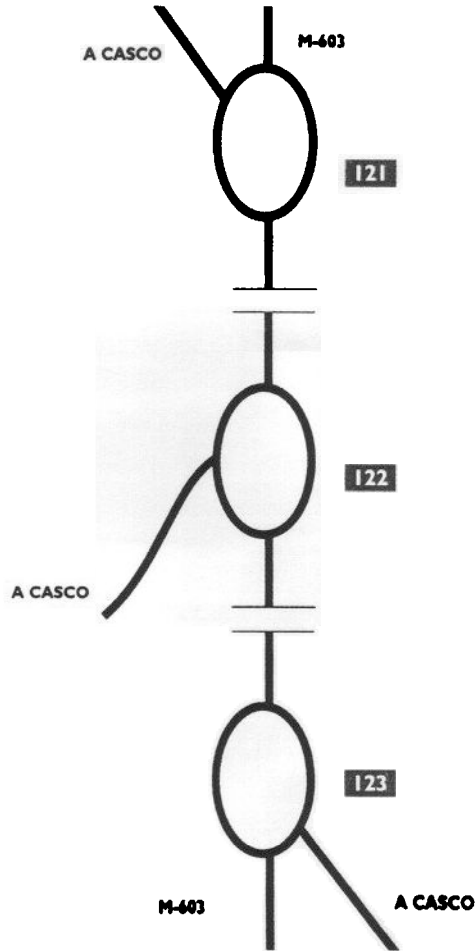
Glorieta n° 120
 Localización: San Sebastián de los Reyes
 Año de Proyecto: 1989
 Radio interior: 80 m.
 Estado: Construida



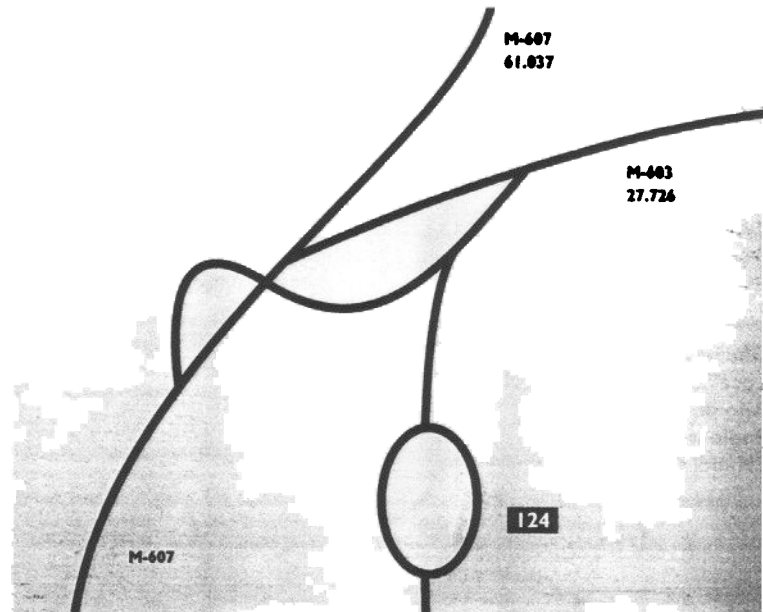
Glorieta n° **121**
 Localización: Alcobendas
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 29-10 m.
 Estado: Construida

Glorieta n° **122**
 Localización: Alcobendas
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 22-10 m.
 Estado: Construida

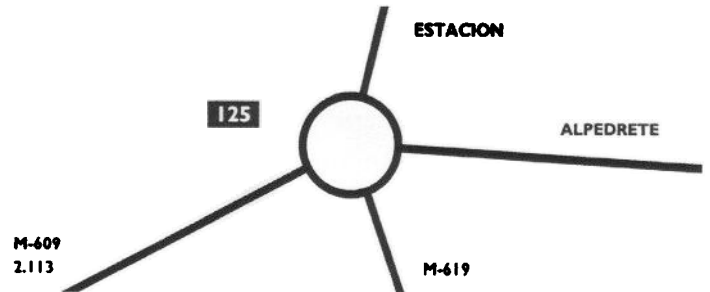
Glorieta n° **123**
 Localización: Alcobendas
 Año de Proyecto: 1991
 Radio interior: 29-11 m.
 Estado: Construida



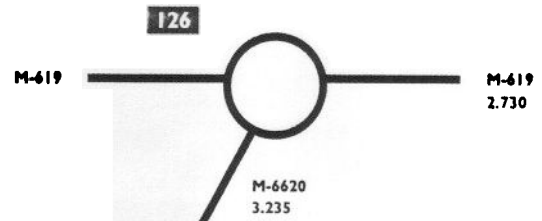
Glorieta n° **124**
 Localización: Fuencarral
 Año de Proyecto: 1990
 Radio interior: 29-10 m.
 Estado: Construida



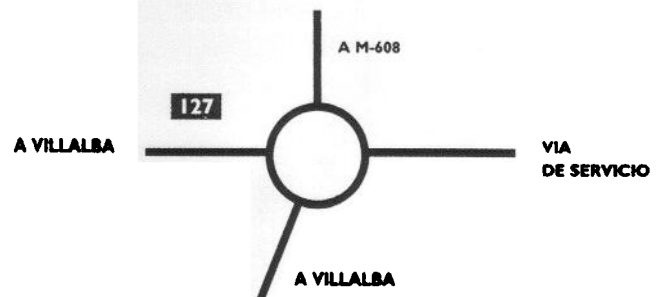
Glorieta n° **125**
 Localización: Alpedrete
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 14 m
 Estado: Construida



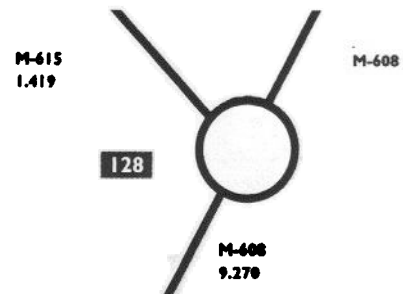
Glorieta n° **126**
 Localización: Alpedrete
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 17,5 m
 Estado: Construida



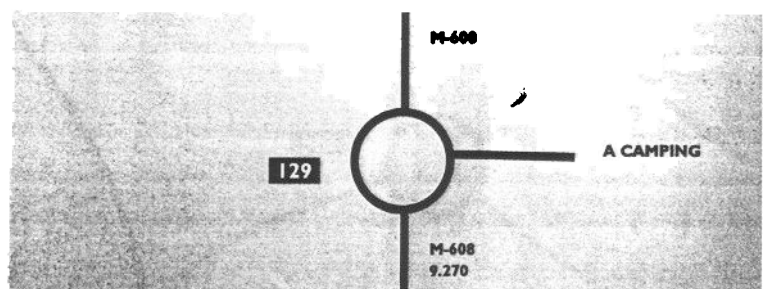
Glorieta n° **127**
 Localización: Villalba
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 14 m
 Estado: Construida



Glorieta n° **128**
 Localización: Moralzarzal
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 6,5 m
 Estado: Construida

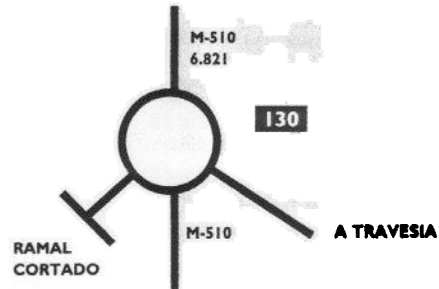


Glorieta n° **129**
 Localización: Moralzarzal
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 14 m
 Estado: Construida



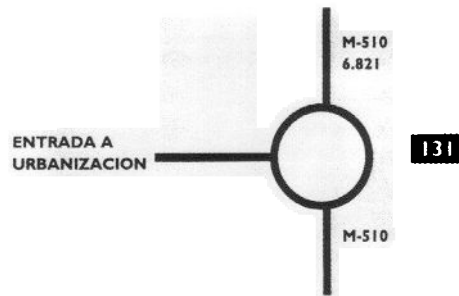
Glorieta nº 130

Localización: Galapagar
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 14,5 m
 Estado: Construida



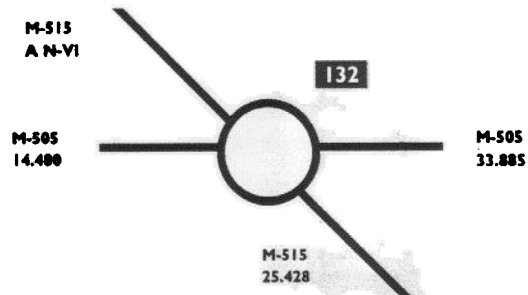
Glorieta nº 131

Localización: Galapagar
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 2 m
 Estado: Construida



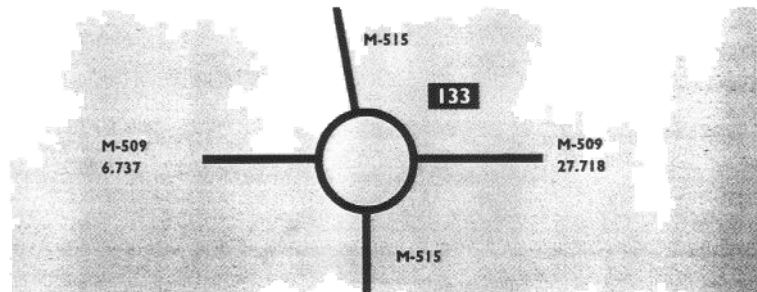
Glorieta nº 132

Localización: Las Rozas
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 12,5 m
 Estado: Construida



Glorieta nº 133

Localización: Las Rozas
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 12,5 m
 Estado: Construida

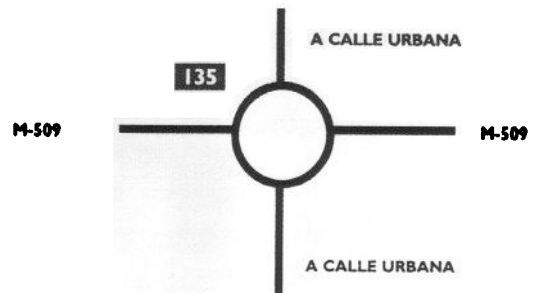


Glorieta nº 134

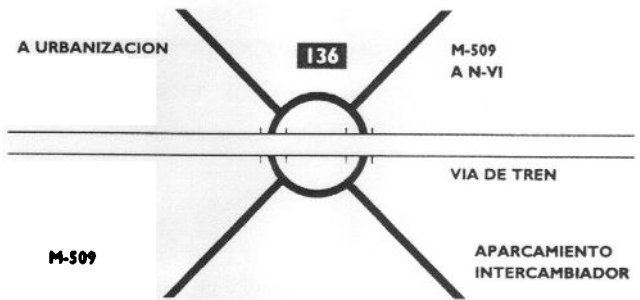
Localización: Las Rozas
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 6,5 m
 Estado: Construida



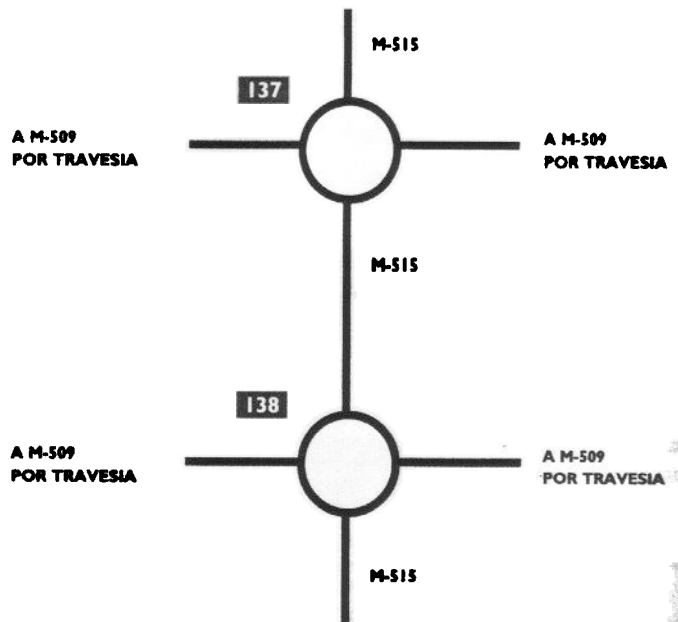
Glorieta n° **135**
 Localización: Las Rozas
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 6,5 m
 Estado: Construida



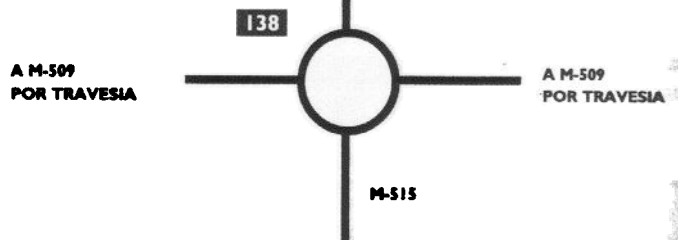
Glorieta n° **136**
 Localización: Las Rozas
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 33,5 m
 Estado: Construida



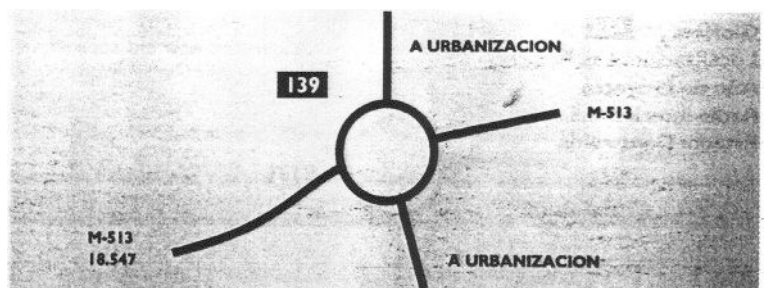
Glorieta n° **137**
 Localización: Las Rozas
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 14,5 m
 Estado: Construida



Glorieta n° **138**
 Localización: Las Rozas
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 16,0 m
 Estado: En construcción



Glorieta n° **139**
 Localización: Prado Largo
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 19 m
 Estado: Construida



Glorieta n° **140**
 Localización: Somosaguas
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 30 m
 Estado: Construida

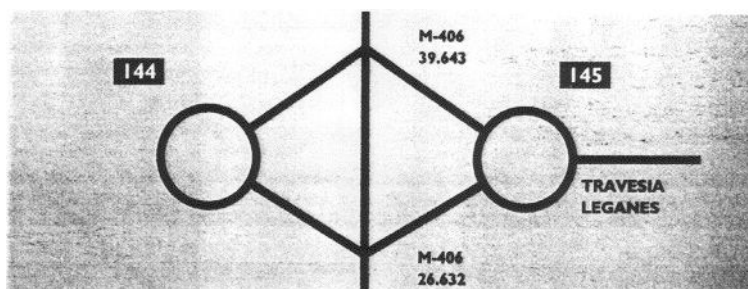
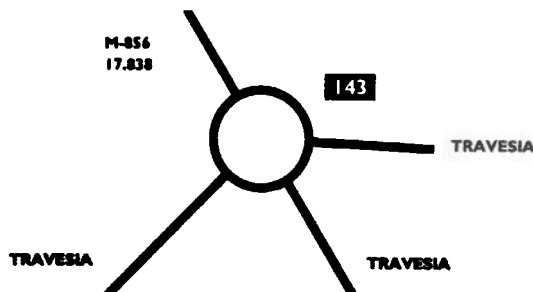
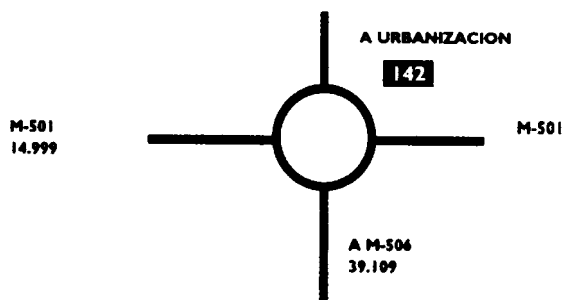
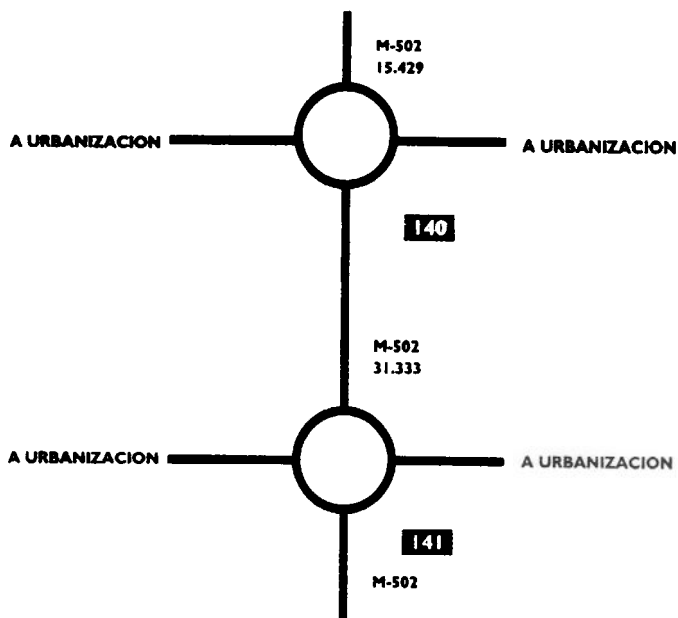
Glorieta n° **141**
 Localización: Somosaguas
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 30 m
 Estado: Construida

Glorieta n° **142**
 Localización: Villaviciosa de Odón
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 30 m
 Estado: En construcción y en uso

Glorieta n° **143**
 Localización: Móstoles
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 22,5 m
 Estado: Construida

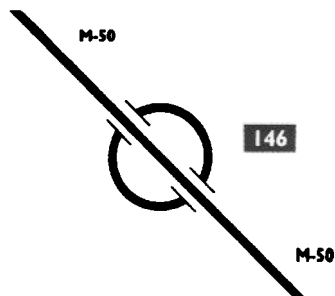
Glorieta n° **144**
 Localización: Parque de la Polvoranca (gemelas)
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 30 m
 Estado: Construida

Glorieta n° **145**
 Localización: Parque de Polvoranca (gemelas)
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 30 m
 Estado: Construida



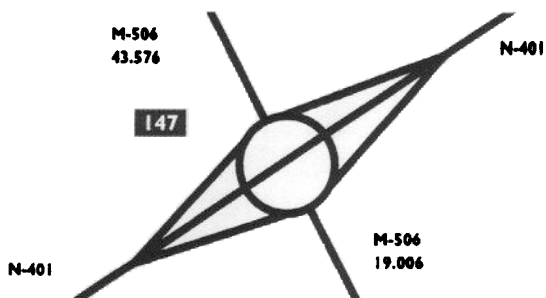
Glorieta n° 146

Localización: Polígono industrial El Palomo
Año de Proyecto:
Radio interior: 45 m
Estado: Construida



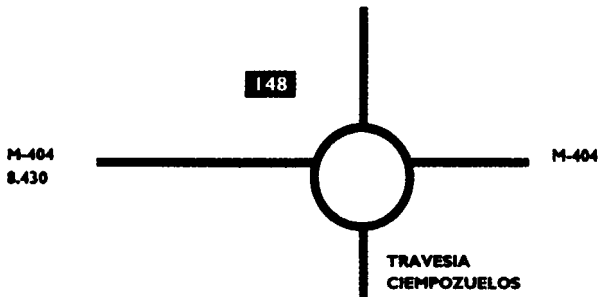
Glorieta n° 147

Localización: Polígono industrial Cobo Calleja, Parla
Año de Proyecto:
Radio interior: 22 m
Estado: Construida, en reforma



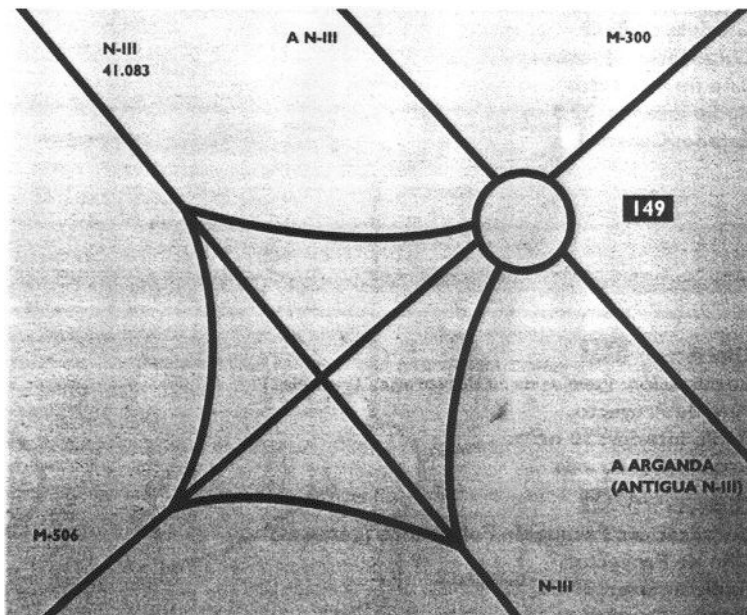
Glorieta n° 148

Localización: Arganda del Rey
Año de Proyecto:
Radio interior: 30 m
Estado: Construida



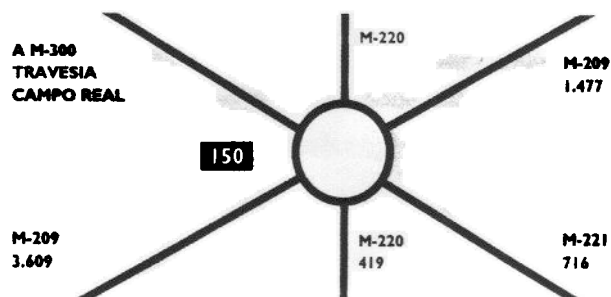
Glorieta n° 149

Localización: Campo Real
Año de Proyecto:
Radio interior: 12,5 m
Estado: Construida



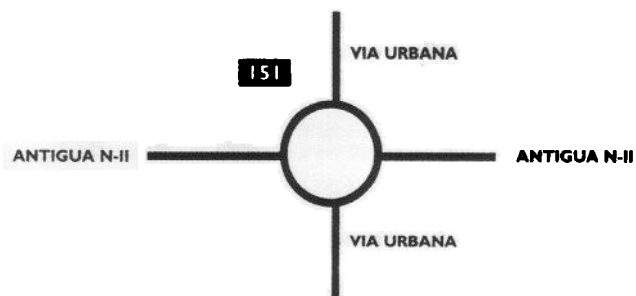
Glorieta nº 150

Localización: Alcalá de Henares
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 11 m
 Estado: Construida



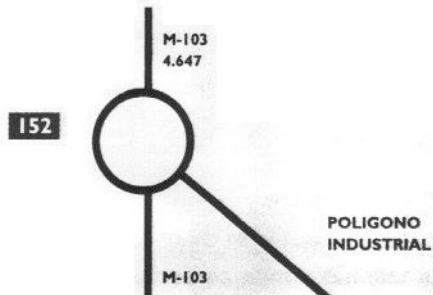
Glorieta nº 151

Localización: Valdetorres del Jarama
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 22 m
 Estado: Construida



Glorieta nº 152

Localización: Guadalix de la Sierra
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 12,5 m
 Estado: Construida

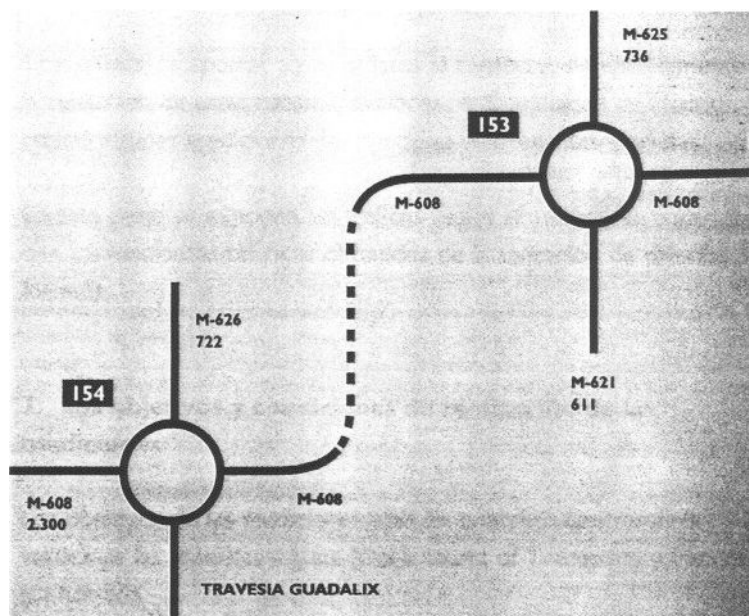


Glorieta nº 153

Localización: Guadalix de la Sierra
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 14,5 m

Glorieta nº 154

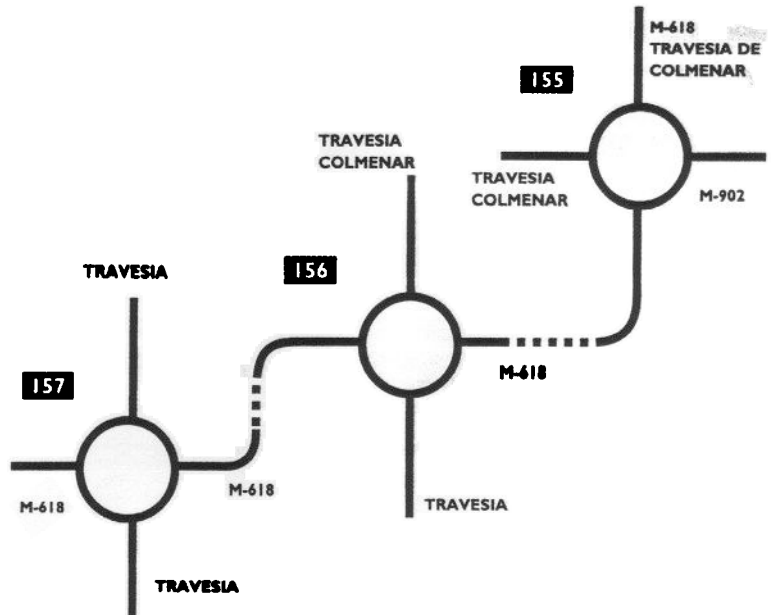
Localización: Colmenar Viejo
 Año de Proyecto:
 Radio interior: 16 m
 Estado: Construida



Glorieta n° **155**
Localización: Colmenar Viejo
Año de Proyecto:
Radio interior: 16 m
Estado: Construida

Glorieta n° **156**
Localización: Colmenar Viejo
Año de Proyecto:
Radio interior: 16 m
Estado: Construida

Glorieta n° **157**
Localización: Colmenar Viejo
Año de Proyecto:
Radio interior: 16 m
Estado: Construida



Anexo 2. Mediciones de capacidad en glorietas españolas

1. Introducción

Como se ha visto, una de las cuestiones más debatidas respecto a las glorietas es la determinación de su capacidad o, más concretamente, de la capacidad de cada una de sus entradas.

En general, las investigaciones realizadas han llevado a la elaboración de variadas fórmulas y ábacos, la mayoría de las cuales se basan en métodos empíricos.

Este carácter empírico de la mayoría de los métodos de cálculo de la capacidad en glorietas, o de algunos de sus parámetros (intervalo crítico en las fórmulas probabilísticas, por ejemplo), es decir, el hecho de que se deduzcan de la observación del comportamiento concreto de los vehículos y conductores que las atraviesan, hace que éstos respondan en gran medida al comportamiento y tipo de conducción más generalizado en los **lugares** donde se realizan las observaciones.

Todo ello recomienda la adopción de ciertas cautelas a la hora de trasponer a un país las fórmulas de capacidad deducidas de la experiencia de otros.

La escasa experiencia en la utilización de glorietas en España hace que, por el momento, se utilicen como referencia de capacidad las fórmulas francesas e inglesas, aunque no existan estudios que contrasten su validez en las particulares condiciones españolas.

Con objeto de aportar algunos datos al respecto, simultáneamente a la redacción de estas recomendaciones, la Comunidad de Madrid realizó algunas mediciones de capacidad en diferentes glorietas.

En este anejo se exponen los tráficos reales aforados y se contrastan con los resultados teóricos obtenidos de la aplicación de diversas fórmulas.

2. Los objetivos y condiciones de realización de las mediciones

Los objetivos de las mediciones eran en concreto contrastar la validez de las fórmulas inglesa (Department of Transport) y francesa (CETUR-86).

En ambas fórmulas intervienen como datos de tráfico, el llamado tráfico molesto, es decir, el número de vehículos por unidad de tiempo que circula por el anillo delante de la entrada y la capacidad de la entrada. Ambos se suponen relacionados linealmente mediante una relación inversa, si uno crece el otro decrece, y sus valores máximos deben calcularse en condiciones de saturación de la entrada, es decir, mientras se producen colas de espera en la entrada cuya capacidad se desea medir.

Las diferencias entre ambas fórmulas residen fundamentalmente en que la francesa considera como tráfico molesto en una entrada el que circula por la calzada anular delante de la misma más el 20% del tráfico saliente por el mismo ramal, y en que los parámetros de la fórmula inglesa se deducen mediante regresiones en función de las características geométricas de la glorieta y la entrada considerada.

En el caso de la Comunidad de Madrid, se eligieron como glorietas de posible estudio las cuatro existentes en la Ronda Sur Aravaca-Pozuelo (M-503), realizándose unos primeros aforos y observaciones durante el mes de Marzo de 1989. Dichos aforos mostraron que únicamente una glorieta y, dentro de ella, una entrada presentaba las necesarias condiciones de saturación para contrastar las fórmulas empíricas francesas e inglesas. Se trata de la glorieta llamada de Boadilla y de la entrada del ramal procedente de la localidad del mismo nombre.

Los aforos necesarios para esta contrastación se realizaron en la glorieta de Boadilla el día 4 de Mayo de 1989, jueves, entre las 7,30 y las 10,30 horas, periodo en el que se incluye la hora punta de la mañana.

Para ello se dispusieron dobles estaciones de aforo a la entrada y salida de Boadilla y en la calzada anular entre ambas, sincronizadas, contabilizándose los registros cada 5 minutos. Simultáneamente, de forma manual, se realizó una medición del porcentaje de pesados y se realizaron medidas de intervalos críticos y de colas de espera.

Los resultados obtenidos en los aforos del día 4 de Mayo fueron los siguientes:

AFORO EN LA ENTRADA DE BOADILLA. 4 DE MAYO DE 1989.

| <i>Hora</i> | <i>T molesto</i> | <i>r entrante</i> | <i>T saliente</i> |
|-------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 7,30-7,35 | 47 | 62 | 13 |
| 7,35-7,40 | 80 | 77 | 17 |
| 7,40-7,45 | 92 | 65 | 17 |
| 7,45-7,50 | 102 | 64 | 16 |
| 7,50-7,55 | 111 | 62 | 21 |
| 1,55-8,00 | 130 | 62 | 24 |
| 8,00-8,05 | 110 | 87 | 25 |
| 8,05-8,10 | 124 | 81 | 25 |
| 8,10-8,15 | 97 | 60 | 40 |
| 8,15-8,20 | 103 | 82 | 28 |
| 8,20-8,25 | 88 | 92 | 35 |
| 8,25-8,30 | 102 | 85 | 32 |
| 8,30-8,35 | 92 | 82 | 27 |
| 8,35-8,40 | 109 | 80 | 25 |
| 8,40-8,45 | 108 | 75 | 39 |
| 8,45-8,50 | 86 | 68 | 30 |
| 8,50-8,55 | 105 | 82 | 39 |
| 8,55-9,00 | 97 | 77 | 30 |
| 9,00-9,05 | 85 | 85 | 37 |
| 9,05-9,10 | 94 | 82 | 41 |
| 9,10-9,15 | 75 | 80 | 40 |
| 9,15-9,20 | 98 | 72 | 55 |
| 9,20-9,25 | 67 | 64 | 53 |
| 9,25-9,30 | 65 | 62 | 40 |
| 9,30-9,35 | 76 | 65 | 30 |
| 9,35-9,40 | 52 | 70 | 40 |
| 9,40-9,45 | 78 | 53 | 30 |
| 9,45-9,50 | 61 | 56 | 24 |
| 9,50-9,55 | 48 | 59 | 24 |
| 9,55-10,00 | 40 | 56 | 29 |
| 10,00-10,05 | 55 | 46 | 25 |
| 10,05-10,10 | 58 | 55 | 28 |
| 10,10-10,15 | 38 | 53 | 27 |
| 10,15-10,20 | 43 | 42 | 29 |
| 10,20-10,25 | 60 | 54 | 30 |
| 10,25-10,30 | 39 | 37 | 16 |

El porcentaje de pesados, variable según los periodos y los 3 flujos medidos, se situó entre el 3 y el 7%, por lo que puede considerarse una media del 5%.

3. Comparación de la capacidad observada con la deducida de las fórmulas francesa e inglesa

El método de contrastación de las fórmulas francesas e inglesas consiste en calcular los resultados de la aplicación de dichas fórmulas al tráfico molesto existente y a las características de las glorietas y compararlos con las capacidades reales aforadas.

La fórmula inglesa utilizada es la del Department of Transport que tiene la siguiente expresión matemática:

$$Q_e = k(F - f_c Q_c), \text{ donde}$$

Q_e es la capacidad de una entrada en v/h

Q_c es el tráfico por el anillo en v/h

k , F y f_c son parámetros dependientes de las características geométricas de la entrada y de la glorieta (ver apartado 3).

El calibrado de las constantes de la fórmula anterior para la geometría de la glorieta y entrada de Boadilla da como resultado la ecuación:

$$Q_e = 1,024(1060,5 - 0,3598Q_c)$$

En cuanto a la fórmula francesa utilizada es la denominada CETUR-86:

$$C = 1500 - 5/6(Q_c + 0,2Q_s) \times 0,7$$

en la que, C = capacidad de una entrada

Q_c — tráfico que circula por el anillo, delante de la entrada

Q_s = tráfico saliente por el mismo ramal

0,7, factor de corrección para reflejar la existencia de dos carriles en la calzada anular de la glorieta de Boadilla.

La **contrastación de ambas fórmulas sólo puede realizarse en los periodos de saturación** de la entrada, por lo que, del conjunto de las observaciones realizadas, se seleccionaron únicamente las **comprendidas entre las 7,45 y las 8,40 de la mañana**, período en el que, a excepción del lapso 8,10-8,15, se observó cola de **espera en la entrada de Boadilla**.

A continuación se exponen los resultados de la aplicación de ambas fórmulas a los periodos considerados, adaptando las fórmulas para periodos de 5 minutos, y precedidos de las cifras reales obtenidas en los aforos:..

GLORIETA DE BOADILLA: CONTRASTE DE SU CAPACIDAD REAL Y TEÓRICA. DATOS DE TRAFICO AFORADOS EL 4 DE MAYO DE 1989

| <i>Periodo</i> | <i>Capacidad real aforada</i> | <i>Capacidad según fórmula inglesa</i> | <i>Capacidad según fórmula francesa</i> |
|-------------------------|-------------------------------|--|---|
| 7,45-7,50 | 64 | 53 | 58 |
| 7,50-7,55 | 62 | 50 | 53 |
| 7,55-8,00 | 62 | 43 | 42 |
| 8,00-8,05 | 87 | 50 | 51 |
| 8,05-8,10 | 81 | 45 | 43 |
| 8,10-8,15 | | Sin saturación | |
| 8,15-8,20 | 82 | 53 | 55 |
| 8,20-8,25 | 92 | 58 | 63 |
| 8,25-8,30 | 85 | 53 | 57 |
| 8,30-8,35 | 82 | 57 | 62 |
| 8,35-8,40 | 80 | 50 | 52 |
| 8,40-8,45 | 75 | 51 | 63 |
| Total(7,45-8,30) | 852 | 563 | 599 |

Del contraste de los valores de la capacidad de la entrada de Boadilla proporcionados por las fórmulas inglesas y francesas con los tráficos aforados, se pone de relieve la notable superioridad de la capacidad real de dicha entrada frente a las capacidades teóricas deducidas de la experiencia extranjera.

En efecto, en todos los periodos considerados, el tráfico aforado es superior al previsible según las experiencias francesa e inglesa.

La media de esta superioridad es de más de un 40% en relación a la fórmula del CETUR-86 y de más del 50% en relación a la del Department of Transport británico ².

Las razones de esta situación, descartados defectos de medición o cálculo, pueden radicar en el comportamiento de los conductores españoles, comportamiento paradójico si se quiere, dada la falta de costumbre en la circulación a través de glorietas, pero que parecería reflejar intervalos de menor duración que en otros países para el acceso de un vehículo al carril circular de una glorieta desde la marca de Ceda el Paso de una entrada.

Este comportamiento ha sido comprobado en mediciones efectuadas en la glorieta de Boadilla, durante el mismo tiempo en que se efectuaban los aforos reseñados, y en otras de la Comunidad de Madrid (en los aforos de Marzo sobre las glorietas de la M-503), en las que se procedió a cronometrar la duración del llamado intervalo crítico, es decir, la distancia mínima entre dos vehículos consecutivos circulando por el anillo, medida en tiempo, que permite la inserción de otro en espera en una entrada. Este intervalo es utilizado como parámetro en diversos métodos probabilísticos de cálculo de capacidad en las entradas a glorietas.

Durante los períodos de mayor tráfico, se anotaron tiempos inferiores a los 4 segundos con relativa frecuencia en las glorietas madrileñas, comprobándose intervalos de 3,5 segundos e incluso menores (3,3 segundos en algún caso), sensiblemente inferiores a los mínimos indicados en publicaciones inglesas o francesas (4 segundos) o a los utilizados para los cruces en «T» en las publicaciones americanas (5 segundos para el Highway Capacity Manual).

Hasta qué punto esta razón puede ser la base de la divergencia existente es difícil de precisar sin otros datos distintos de los presentados que no parecen suficientes para deducir conclusiones definitivas,

4. A modo de conclusión

Sirva a modo de conclusión simplemente la comprobación de que en una glorieta madrileña y en condiciones de medida que parecen

² Debido a problemas de coordinación en los aforos del día 4 de mayo, la medición del porcentaje de pesados en el tráfico no se realizó en los mismos períodos que éste. En esas condiciones y teniendo en cuenta lo reducido de los períodos de tiempo utilizados y, en consecuencia, la sensibilidad de los datos al porcentaje de pesados, no se ha utilizado el porcentaje medio de pesados, 5%, y los datos aportados se refieren al conjunto de vehículos sin especificación del tipo.

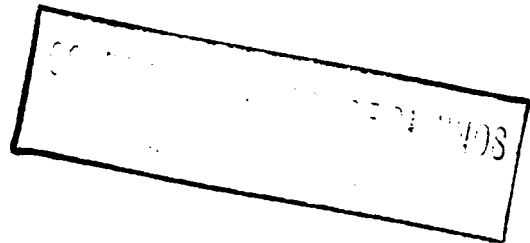
Esta situación oculta de hecho, una, todavía, mayor capacidad real de la entrada de Boadilla respecto a las teóricas, ya que, de traducir a vehículos ligeros el porcentaje de pesados, ello significaría un aumento de las cifras de tráfico entrante (aumento de la capacidad real) y una reducción de la capacidad teórica, al aumentar también el tráfico molesto.

Este hecho refuerza más la impresión de que las fórmulas empíricas, francesa e inglesa, minusvaloran la capacidad de las entradas en las glorietas españolas.

3 Con los datos obtenidos de los aforos de la entrada de Boadilla, se intentó también, mediante la representación gráfica de los tráficos entrante y molesto, tratar de obtener una imagen de la nube de puntos y a través de ella deducir la posible recta de regresión de la relación entre ambos tráficos. Sin embargo, nada pudo obtenerse por este camino, ya que a la limitación de analizar un solo caso, venía a añadirse las especiales condiciones de la entrada de Boadilla, caracterizada en la hora punta de la mañana por un tráfico molesto elevado y casi constante procedente de Masanonda que hacía situarse a todos los puntos del gráfico muy concentrados en torno a un valor del tráfico molesto con un contorno que ofrecía una alineación casi perpendicular a la que, probablemente, sería la recta de regresión de disponerse de mayor variedad de situaciones de tráfico.

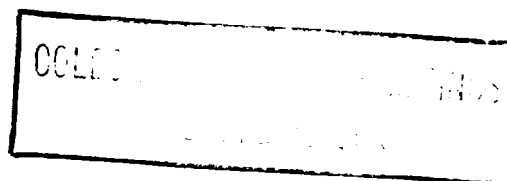
fiabiles, la capacidad teórica de una entrada saturada proporcionada por dos de las fórmulas más avaladas por la experiencia de otros países resultó notablemente inferior a los tráficos realmente registrados en ella.

Cualquier generalización de esta comprobación requeriría, sin embargo, la realización de estudios de capacidad en otras glorietas españolas que confirmaran la «especificidad» del funcionamiento de las glorietas en las condiciones españolas y, en concreto, sus mejores rendimientos en capacidad.³



Análisis del funcionamiento de intersecciones giratorias:

**Conclusiones de la observación de
doce glorietas de
la Comunidad de Madrid**



**CONSEJERIA DE TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS**



Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción | 7 |
| 1.1. Antecedentes | 7 |
| 1.2. Metodología | 7 |
| 2. Conclusiones sobre el funcionamiento de glorietas en la Comunidad de Madrid | 9 |
| 2.1. Consideraciones previas | 9 |
| 2.2. La capacidad en las glorietas madrileñas | 9 |
| 2.3. Seguridad y accidentes | 13 |
| 2.4. Entradas en doble circulación | 16 |
| 2.5. Esperas en el anillo | 18 |
| 2.6. Entradas con escaso intervalo o «gap» | 19 |
| 2.7. Esperas, entradas y circulación en paralelo | 21 |
| 2.8. El comportamiento de los ciclistas | 24 |
| 3. Referencias bibliográficas | 25 |
| Anexo: Modelo del análisis del funcionamiento de una glorieta | 27 |

I. Introducción

1.1. Antecedentes

Dada la eficacia con que venían funcionando en numerosos países las intersecciones giratorias y el interés consiguiente por introducir las en España, la Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid publicó en 1989 unas recomendaciones de diseño para este tipo de intersecciones (DE LA HOZ 1989).

Ante la escasez de experiencias españolas, las citadas recomendaciones se basaron en el análisis de la experiencia internacional sobre el tema, extraída de las numerosas publicaciones y manuales existentes, a la que se añadió alguna toma de datos puntual en glorietas madrileñas, insuficiente todavía para aportar conclusiones sobre las particularidades del uso de estas intersecciones en España.

Desde 1989 a 1993, se han construido en la Comunidad un centenar de nuevas intersecciones giratorias, estando en proyecto varias decenas más para los próximos años, sin que para ello se haya contado con un estudio sobre el funcionamiento de las mismas en las condiciones españolas.

La experiencia acumulada en estos cuatro años en construcción y funcionamiento de glorietas aconsejaron a la Dirección General iniciar un estudio sobre las glorietas en funcionamiento, de cara a contrastar la validez de las recomendaciones en uso y, en su caso, proponer las modificaciones y precisiones que se consideren pertinentes.

1.2. Metodología

Para analizar el comportamiento de las intersecciones giratorias en las carreteras competencia de la Comunidad de Madrid, se ha procedido, en una primera fase, a estudiar doce¹ de las glorietas actualmente en funcionamiento, seleccionadas para representar, en la medida de lo posible, la amplia variedad existente.

Para su estudio se han realizado las siguientes tomas de datos:

A) Se han realizado tomas fotográficas en todas las entradas a la calzada circular de las glorietas, de cara a evaluar la visibilidad de que goza el conductor en la línea de Ceda el Paso y la seguridad con que toma la decisión de atravesar la glorieta.

Estas tomas fotográficas se han considerado fiables en la reproducción de la visibilidad en la línea de acceso a la glorieta, ya que su objetivo es simplemente la comprobación de la existencia o no de obstáculos físicos que dificulten la visión del tramo de calzada anular imprescindible para iniciar la maniobra de incorporación en condiciones de seguridad.²

B) Se han examinado los planos de geometría y señalización de cada una de las doce glorietas, para analizar sus posibles defectos constructivos en relación a las recomendaciones de diseño más generalizadas y comprobar si dichos defectos se traducían en inseguridad o peligrosidad de funcionamiento.

C) Se han analizado los partes existentes sobre accidentes ocurridos en glorietas desde 1989 hasta finales de 1992.

Desgraciadamente para este estudio, aunque afortunadamente para los usuarios, el escaso número de accidentes registrado no permite extraer conclusiones demasiado significativas.

¹ En un principio, el estudio versó sobre 14 glorietas. No obstante, la número 10, por tratarse de una glorieta partida y la número 14, debido a la dificultad de la observación de incidencias, dado que está atravesada por un paso elevado ferroviario, no se han considerado en el análisis final.

² También se han realizado tomas fotográficas en todas las aproximaciones a las glorietas, a la distancia de parada, de cara a evaluar la perceptibilidad de que gozan, es decir, la mayor o menor facilidad con que los conductores reconocen la proximidad y forma de la intersección y adaptan su forma de circular a sus características. Estas tomas fotográficas, sin embargo, se han demostrado muy limitadas como instrumento de evaluación de la perceptibilidad, dada la dificultad de reproducir fotográficamente una imagen capaz de suscitar la misma impresión que recibe el conductor en la aproximación a una glorieta. Por ello, no se han considerado suficientemente fiables para extraer conclusiones definitivas y se propone para el futuro la evaluación de la perceptibilidad mediante la observación in-situ por expertos.

D) Se han realizado unas tomas cenitales de video, de 60 minutos de duración, en la hora punta de la mañana o de la tarde, en cada una de las glorietas seleccionadas. Estas tomas de video han sido analizadas anotándose las incidencias y defectos de funcionamiento que se observaban en la circulación.

Las tomas cenitales en video se han mostrado como un instrumento utilísimo para el análisis del funcionamiento de las glorietas. Realizadas mediante cámaras elevadas sobre grúas, permiten contemplar repetidamente las incidencias de la circulación, volver sobre ellas para anotar aspectos no tomados en cuenta en un primer análisis y mantenerlas archivadas para futuras comprobaciones o estudios sobre cuestiones específicas.

No obstante, las tomas en video tienen sus limitaciones. Importantes resultan, sobre todo, las derivadas del punto de toma de la cámara y la distancia a la glorieta, que condicionan, en definitiva, la mejor o peor visibilidad de cada una de las partes de la glorieta.

En general, puede decirse, que las tomas permiten formarse una idea general del funcionamiento de cada glorieta e identificar sus principales problemas. No obstante, una evaluación precisa de las retenciones en los accesos o un análisis del comportamiento de los conductores en las líneas de Ceda el Paso sólo es posible en aquellas glorietas y accesos en que las tomas lo permiten.³

E) Simultáneamente a las tomas cenitales de video se han realizado conteos en todos los ramales de acceso y salida de cada glorieta, lo que permite disponer de datos de intensidad horaria en período punta.

Toda esta información procesada ha permitido analizar, por una parte, los problemas de funcionamiento particulares de cada glorieta y sus causas (geometría,

etc) y, por otra, adelantar algunas hipótesis más generales sobre el funcionamiento de las intersecciones giratorias en la Comunidad de Madrid y el comportamiento de los conductores en su travesía.

En la medida en que han podido extraerse conclusiones generales del funcionamiento observado, se ha intentado adelantar algunas consideraciones que matizan la adecuación de las recomendaciones internacionales al caso madrileño y que permitirían, en su caso, iniciar otras más ajustadas a la realidad de la región o de España. Por otra parte, ha sido entregado a la Comunidad de Madrid una ficha-informe sobre cada una de las glorietas estudiadas que contenía, en su caso, recomendaciones para subsanar las anomalías de funcionamiento observadas.

En esta publicación se recogen, tras esta introducción, únicamente las conclusiones generales de los análisis realizados, adjuntándose como anexos una ficha completa de las observaciones realizadas en una de las doce glorietas.

³ De hecho, las tomas de video realizadas durante el mes de junio de 1993 no son propiamente cenitales, sino oblicuas. Están tomadas desde el exterior de la glorieta, lo que a veces dificulta la percepción, sobre todo, de los ramales más alejados del punto de toma.

2. Conclusiones sobre el funcionamiento de glorietas en la Comunidad de Madrid

2.1. Consideraciones previas

Antes de presentar las conclusiones generales obtenidas del estudio de glorietas en la Comunidad de Madrid, deben hacerse algunas precisiones.

En primer lugar, debe subrayarse la insuficiencia de los datos de que se parte para proceder a generalizaciones sistemáticas sobre el funcionamiento en España de las intersecciones giratorias o sobre el comportamiento de los conductores españoles.

La insuficiencia de los datos se debe, tanto al reducido número de horas de grabación de que se dispone, apenas una docena, como al hecho de que, estas grabaciones corresponden a glorietas de características físicas y de tráfico muy diversas, lo que limita la posibilidad de extraer conclusiones de validez general. Esta limitación es importantísima en todo lo referente a la geometría de detalle (ángulos de entrada, abocinamiento, etc), ya que, el reducido abanico de ejemplos de que se parte no permite comparar la eficacia de los parámetros a ese nivel.

En definitiva, la información de que se dispone permite, únicamente, adelantar hipótesis sobre las incidencias de funcionamiento que se repiten en varias glorietas y que parecen, por tanto, reflejo de actitudes o comportamientos genéricos. En cualquier caso, las hipótesis que se avanzan deberán ser contrastadas con estudios más detallados si se pretende aplicarlas normativamente.

En segundo lugar, debe indicarse que, incluso cuando se han detectado características de funcionamiento generales en las glorietas analizadas, ello no significa que se hayan podido deducir de ellas indicaciones para la mejora de la seguridad o eficacia de las mismas a través de su diseño.

En efecto, en muchas ocasiones las incidencias observadas no parecen poder ser corregidas mediante el

diseño o la señalización, sino, más bien, dado que requerirían un cambio de comportamiento de los conductores, mediante amplias campañas de educación vial.

En el marco de estas limitaciones y de acuerdo con las observaciones concretas de cada glorieta, de las que se recoge un ejemplo en anexo, se han seleccionado para una valoración global los siguientes aspectos: capacidad; seguridad y accidentes; entradas en doble circulación; esperas en el anillo; entradas con escaso intervalo o «gap»; esperas, entradas y circulación en paralelo; y comportamiento de los ciclistas.

2.2. La capacidad en las glorietas madrileñas

Las fuentes básicas utilizadas para analizar la capacidad de las glorietas en servicio en la Comunidad de Madrid y, sobre todo, su correspondencia con los resultados y fórmulas de capacidad elaborados a partir de la experiencia de otros países son las tomas de video de una hora de duración realizadas en Junio de 1993 sobre 12 de estas glorietas.

De estas tomas se han obtenido dos datos principales. Por un lado, las intensidades de entrada y salida en todos los ramales durante la hora completa de grabación, contabilizadas mediante procedimientos electrónicos para todas las glorietas estudiadas.

Por otro, las intensidades en entradas, salidas y calzada anular de un total de seis ramales de cinco glorietas, seleccionadas por funcionar en régimen de saturación, condición necesaria para medir la capacidad de las entradas. Estas intensidades han sido obtenidas para períodos de 10 minutos, en que se mantenía la saturación y sus resultados traducidos a intensidades horarias.

De acuerdo con los datos horarios obtenidos electrónicamente, los volúmenes de tráfico total que ha

entrado o salido en cada glorieta durante la hora de grabación se presentan en el cuadro siguiente.

VEHICULOS ENTRADOS POR HORA

Glorietas estudiadas, 1993

| | | | |
|---------------|-------|----------------|-------|
| Glorieta nº 1 | 3.936 | Glorieta nº 7 | 2.581 |
| Glorieta nº 2 | 4.136 | Glorieta nº 8 | 3.077 |
| Glorieta nº 3 | 3.240 | Glorieta nº 9 | 584 |
| Glorieta nº 4 | 1.867 | Glorieta nº 10 | 1.810 |
| Glorieta nº 5 | 1.406 | Glorieta nº 11 | 633 |
| Glorieta nº 6 | 1.592 | Glorieta nº 12 | 2.303 |

Fuente: GEOCISA. Elaboración propia

De este listado de intensidades globales destacan, por una parte, los altos volúmenes de tráfico de algunas glorietas con vías de 2x2 carriles, que se aproximan o alcanzan los 4.000 vehículos hora y, por otra, los considerables

CONTEOS EN GLORIETAS CONGESTIONADAS

Comunidad de Madrid, 1993

| Gta. Nº | Ramal | Periodo | Qe | Qs | Qc | Observaciones |
|---------|-------|----------|-----|-----|-----|---|
| 1 | NE | 8:30/40 | 351 | 255 | 52 | 2 carriles entrada 2 carriles anillo |
| 3 | NW | 8:30/40 | 203 | 154 | 113 | 2 carriles entrada 2 carriles anillo |
| 4 | NE | 18:30/40 | 131 | 87 | 59 | 1 carril entrada 2 carriles anillo |
| 7 | W | 8:30/40 | 163 | 60 | 100 | 1 carril entrada 2 carriles anillo |
| 7 | S | 8:30/35* | 46 | 47 | 82 | 1 carril entrada 2 carriles anillo |
| 12 | NE | 18:30/40 | 269 | 166 | 13 | 2 carriles entrada 2 carriles anillo |

Fuente: Tomas de video de GEOCISA. Elaboración propia.

* En esta glorieta el conteo se realizó durante un periodo de 5 minutos, ya que, a partir de ese minuto, la Guardia Civil comenzó a regular forzosamente el tráfico en la glorieta debido a la alta congestión y largas colas que se formaban precisamente en el ramal analizado. No obstante el periodo de observación se considera suficientemente largo para proceder a generalizaciones horarias.

volúmenes que alcanzan glorietas que, como la nº 7, llega a soportar un tráfico de más de 2.500 vehículos por hora, con sólo un carril por entrada o salida.

Estas cifras, aunque no suponen records absolutos sobre las intensidades horarias alcanzadas en otros países⁴, muestran cómo en España las glorietas constituyen una forma de intersección útil, incluso con intensidades de tráfico que, en principio, parecerían requerir enlaces a distinto nivel.

En cuanto a los conteos en glorietas congestionadas, se han realizado sobre cinco de ellas, estudiando los ramales para las que la toma de video ofrecía una visibilidad adecuada. Para cada ramal, se han anotado los tráficos de entrada (Qe) y salida (Qs) y, también, el llamado tráfico molesto (Qc), es decir, el tráfico que circula por el anillo, delante de una entrada. Los datos obtenidos para las glorietas y entradas estudiadas son los siguientes:

⁴ Las máximas intensidades comprobadas en glorietas, obtenidas en experimentos llevados a cabo en Inglaterra, indican cifras entre los 6.200 y 6.600 vehículos por hora (MARLOW 1973), por su parte, las grandes glorietas australianas alcanzaban ya en los años setenta intensidades medias diarias superiores a los 35.000 vehículos (HORMAN 1983).

De los ramales estudiados, los correspondientes a las glorietas números 1, 3, 7 y 12 presentaban tráfico denso en el período de grabación, con retenciones de mayor o menor longitud en los accesos, excepto para la glorieta nº 12, en la que aún observándose tráfico intenso, no se generaban retenciones. Por su parte, la glorieta número 4, seleccionada por su alta intensidad de tráfico en relación a su geometría (un sólo carril por entrada y salida), no presenta en la grabación ningún tipo de congestión o retenciones y la impresión que se recibe en el visionado es, más bien, de tráfico escaso.

Traduciendo los datos expuestos en el cuadro en intensidades horarias y teniendo en cuenta la equivalencia entre vehículos pesados y ligeros (1 pesado igual a 2 ligeros) se puede fácilmente realizar el cálculo de la capacidad según la fórmula francesa del CETUR⁵. Dicha fórmula, reproducida y analizada en las Recomendaciones de la Comunidad de Madrid relaciona la capacidad de una entrada (Q_{max}) con la intensidad del tráfico saliente (Q_s) y molesto (Q_c) en el mismo ramal, mediante una serie de constantes.

La fórmula del CETUR para entradas de un sólo carril y anillo de dos carriles, glorietas números 4 y 7, es:

$$Q_{max} = 1500 - 5/6 (Q_c + 0,2 \times 0,7 \times Q_s)$$

Que se transforma para entradas y anillo de dos carriles, glorietas 1, 3 y 12, en:

$$Q_e = 1,4 (1500 - 5/6 (Q_c + 0,2 \times 0,7 \times Q_s))$$

Si aplicamos ahora la fórmula correspondiente a cada glorieta y comparamos la capacidad teórica máxima así obtenida en cada entrada (Q_{max}) con las intensidades reales de la observación (Q_e), obtenemos los siguientes resultados:

**CAPACIDADES TEORICAS Y REALES
EN ENTRADAS A GLORIETAS
Comunidad de Madrid, 1993**

| Glorieta | Ramal | Q _s | Q _c | Q _{max} | Q _e | Q _e / Q _{max} |
|----------|-------|----------------|----------------|------------------|----------------|--------------------------------------|
| 1 | NE | 1.568 | 320 | 1.470 | 2.158 | 1,46 |
| 3 | NW | 977 | 717 | 1.104 | 1.274 | 1,15 |
| 4 | NE | 542 | 367 | 1.131 | 808 | 0,71 |
| 7 | W | 386 | 643 | 919 | 1.049 | 1,12 |
| 7 | S | 662 | 1131 | 480 | 629 | 1,31 |
| 12 | NE | 1100 | 81 | 1.835 | 1.668 | 0,91 |

Fuente: Tomas de video de GEOCISA. Elaboración propia.

De la observación del cuadro se deduce que las intensidades reales que están soportando las entradas estudiadas a glorietas son en cuatro de los casos significativamente superiores a la capacidad máxima que se deduce de aplicar la fórmula francesa del CETUR y que estos cuatro casos coinciden con las entradas realmente saturadas, es decir, con retenciones en la línea de Ceda el Paso.

Por su parte, las dos glorietas seleccionadas por sus altas intensidades de tráfico, la 4 y la 12, pero en las que no se observan retenciones, resultan estar todavía por debajo de la capacidad teórica.

Esta superioridad de la capacidad real frente a la teórica es especialmente significativa en los casos de las glorietas números 1 y 7 en los que la intensidad real supera en un 46 y 31%, respectivamente, a la máxima teórica.

Asimismo, los datos muestran que en la glorieta número 1, llega a sobrepasarse el valor máximo de la capacidad teórica de una entrada de dos carriles, que el centro francés cifra en 2.100 vehículos. Sin embargo, en ninguno de los conteos se ha sobrepasado la máxima capacidad de un ramal con un solo carril de entrada, que el CETUR estima en 1.500 vehículos por hora.

⁵ Se trata en realidad del método gráfico del SETRA, conocido como la regla de los 1500: tráfico molesto + tráfico entrante = 1500 v/h (SETRA 1984), recogido posteriormente por el CETUR (CETUR 1988).

La mayor capacidad observada en las entradas a glorietas españolas fué ya detectada, en 1989, en un estudio realizado sobre la glorieta de Boadilla en la ronda Sur Aravaca-Pozuelo, en Madrid⁶.

En aquella ocasión, se adelantó la hipótesis de que el intervalo o «gap» necesario para acceder al anillo en las glorietas madrileñas podría ser inferior al habitual en las glorietas francesas o inglesas, lo que explicaría los excesos de capacidad detectados.

Y, en efecto, en la glorieta de Boadilla, se observaron intervalos críticos de 3,5 segundos e, incluso, inferiores con cierta frecuencia. Intervalos ciertamente inferiores a los que empíricamente se han comprobado y se reflejan en las fórmulas francesa e inglesa, en ambos casos de 4 segundos (DEPARTMENT OF TRANSPORT 1981), o a los teóricos utilizados en las fórmulas probabilísticas (NOELLE 1985) o, por ejemplo, en el manual americano de capacidad (TRB 1985), que lo considera de 5 segundos para las intersecciones en «T».

Con objeto de aportar más datos sobre esta cuestión, se procedió a medir los intervalos críticos que los conductores utilizaban para acceder al anillo en las grabaciones disponibles de las entradas congestionadas.

Pués bien, en estas medidas, se han comprobado los siguientes extremos:

- Con intervalos por encima de los 4 segundos, la práctica totalidad de los vehículos ligeros situados en la línea de Ceda el Paso acceden al anillo sin incidencias. Este mismo intervalo se comprueba que es suficiente para algunas furgonetas.
- Los autobuses y vehículos pesados comienzan a acceder a partir de intervalos de 5 o más segundos.
- Un cierto porcentaje de vehículos ligeros, difícil de precisar cuantitativamente, pero en todo caso

significativo, accede al anillo con intervalos comprendidos entre 3 y 4 segundos, sin incidencias notables.

- Un pequeño porcentaje de vehículos ligeros accede a la glorieta con intervalos entre los 2 y 3 segundos, en general, de forma apurada y provocando algún incidente.
- No se observan entradas con intervalos inferiores a los dos segundos.

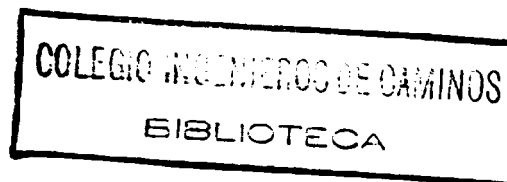
Estos datos sobre el comportamiento de los conductores en la línea de Ceda el Paso de las glorietas madrileñas parecen confirmar que el intervalo crítico o «gap» que realmente opera en España para decidir a un conductor a acceder a la calzada anular en condiciones de congestión es significativamente inferior a los que reflejan las fórmulas francesas o inglesas de capacidad, lo que aumentaría la capacidad real de las entradas. Ello explicaría las intensidades registradas en algunas de ellas.

Esta circunstancia podría deberse a la idiosincrasia de los conductores madrileños⁷, acostumbrados tal vez a un tipo de conducción más «nerviosa». No obstante, la confirmación de una conclusión en este sentido precisaría de estudios más detallados que no son, por ahora, objeto de este trabajo.

Finalmente y aunque se analizará más detalladamente en el apartado 2.7, conviene reseñar aquí una conclusión general extraída de la observación del funcionamiento de las glorietas madrileñas: la escasez de incorporaciones al anillo que se producen cuando ya otro vehículo circula por el mismo, por el carril interior, en los casos de anillo con dos carriles.

⁶ Con los datos obtenidos entonces se comprobaron intensidades reales un 50% superiores a la fórmula inglesa y un 40% superiores a la fórmula francesa. Ver: DE LA HOZ, C. «Recomendaciones para el diseño de glorietas en carreteras suburbanas». Consejería de Política Territorial. Comunidad de Madrid, 1989, anexo nº 3.

⁷ En el estudio citado en la nota anterior se comprobaron, también, numerosas entradas a glorietas con intervalos entre 3 y 4 segundos.



Esta constatación limitaría la hipótesis del CETUR de que la capacidad de una entrada aumenta en un 40% al disponer de doble carril (CETUR 1988), únicamente a las glorietas con anillo, también, de dos carriles.

De acuerdo con los comportamientos observados en las glorietas de la Comunidad de Madrid, la ampliación de una entrada a dos carriles sólo es positiva si el anillo es de dos carriles. De otro modo, la doble fila de entrada debe reducirse a una única fila en el anillo, lo que impide realizar el aumento de capacidad previsto y, además, ese proceso provoca a menudo situaciones de inseguridad.

De la misma forma, la construcción de calzadas anulares de dos carriles nada aporta a la capacidad de una glorieta con entradas y salidas de un solo carril.

2.3. Seguridad y accidentes

En los últimos cinco años, desde 1989 a 1993 ambos inclusive, se han registrado por la Guardia Civil o las policías locales⁸ un total de 35 accidentes en glorietas competencia de la Comunidad de Madrid.

La evolución en estos años del número de accidentes registrados es la siguiente:

ACCIDENTES EN GLORIETAS Comunidad de Madrid (1989-93)

| Año | Nº de accidentes |
|--------------|------------------|
| 1989 | 4 |
| 1990 | 4 |
| 1991 | 9 |
| 1992 | 6 |
| 1993 | 12 |
| TOTAL | 35 |

Fuente: Partes de Estadística de la Dirección General de Tráfico. Elaboración propia.

Tanto por su escaso número, como por lo reciente del funcionamiento de intersecciones giratorias en la Comunidad, el análisis de los datos correspondientes a

estos accidentes puede ser prematuro y requerir continuas precisiones para valorar de forma rigurosa la evolución de cifras e índices.

Así, por ejemplo, el importante crecimiento del número de accidentes, que se ha triplicado en estos cinco años, pasando de 4 en 1989 a 12 en 1993, debe ser inmediatamente matizado con el dato de que en 1989 funcionaban en la Comunidad menos de 30 glorietas, mientras que, en la actualidad, están en servicio más de un centenar.

Incluso, la obtención de un número medio de accidentes por glorieta, un índice en cualquier caso poco representativo de su peligrosidad ya que no considera la intensidad de circulación, resulta difícil, dada la escasa duración del periodo considerado y el hecho de que la puesta en servicio de cada glorieta se produce en una fecha peculiar.

Esto sucede igualmente si se analiza la gravedad de los accidentes. En efecto, las series disponibles indican que el porcentaje de accidentes mortales sobre el total en las glorietas de la Comunidad de Madrid es del 8,5%, un porcentaje mucho más elevado que el que se registra por ejemplo en Inglaterra, en torno al 0,7%. Aunque esta diferencia es en parte atribuible a la distinta accidentalidad general de ambos países, podría deberse, también, a lo limitado de las series de datos disponibles, en las que un sólo accidente mortal puede ser cuantitativamente muy importante, a la falta de experiencia de los conductores españoles en la travesía de glorietas o a deficiencias de diseño.⁹

⁸ La fuente de este registro de accidentes son los impresos «Estadística de accidentes de tráfico», de la Dirección General de Tráfico. Estos impresos recogen las características de los accidentes en que ha sido necesaria la intervención de los agentes, por tener consecuencias de cierta consideración para las personas o vehículos implicados. No recogen, sin embargo, los accidentes menores, con consecuencias leves para los vehículos o sus ocupantes, y que habitualmente son solucionados por los propios conductores sin la intervención de la policía. Ello hace de ésta una fuente parcial de información, aunque significativa.

⁹ Debe tenerse en cuenta que, el total de accidentes incluidos en la estadística madrileña es considerablemente más bajo que el real, debido a que, como ya se ha indicado, sólo se consignan en la estadística aquellos en que intervienen los agentes de policía o Guardia Civil. Ello puede hacer elevarse el porcentaje de muertos sobre el total y resultar desproporcionado respecto a otros países, en los que la presencia de los agentes en los accidentes se requiere en la mayoría de los casos. Las cifras inglesas están tomadas de DEPARTMENT OF TRANSPORT 1984.

Admitiendo la dificultad inherente al análisis de la seguridad en las glorietas de la Comunidad de Madrid, de los datos disponibles pueden desprenderse, sin embargo, algunos rasgos del comportamiento de estas intersecciones en materia de seguridad, aunque dichos rasgos hayan de interpretarse con suma cautela y considerarse provisionales, hasta en tanto no se disponga de series de datos más completas.

GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES EN GLORIETAS Comunidad de Madrid (1989-1993)

| Año | Nº accidentes | Muertos | H. graves | H. Leves | Total |
|---------|---------------|---------|-----------|----------|-------|
| 1989 | 4 | 1 | | 5 | 6 |
| 1990 | 4 | - | 2 | 7 | 9 |
| 1991 | 9 | 1 | 3 | 2 | 6 |
| 1992 | 6 | - | 5 | 3 | 8 |
| 1993 | 12 | 1 | 7 | 9 | 17 |
| 1989-93 | 35 | 3 | 17 | 26 | 46 |

Fuente: Partes de Estadística de la Dirección General de Tráfico. Elaboración propia

Así, retomando el tema de la gravedad, el 7,5% de mortalidad de los accidentes en glorietas parece demostrar la supremacía de éstas respecto a otros tipos de intersección, al resultar muy inferior al porcentaje de mortalidad en accidentes en intersecciones en la Comunidad, que alcanzó en 1992 el 14,6%. Lo mismo sucede si la gravedad de los accidentes la medimos por el número medio de víctimas por accidente que, para el conjunto de intersecciones de la Comunidad resulto ser de 2,0 (2,0 víctimas por accidente), mientras en glorietas este media se reduce a 1,3.

Si se analizan los tipos de accidentes, en los partes consultados destaca la presencia de dos causas principales. En primer lugar, las pérdidas de control a la entrada, en gran medida consecuencia de una excesiva velocidad de acceso¹⁰, que representan un 51% del total de los accidentes registrados y, en segundo lugar, las incorporaciones en que no se respeta el Ceda el Paso, que alcanzan un 28,5%.

CAUSAS DE LOS ACCIDENTES EN GLORIETAS Comunidad de Madrid (1989-1993)

| Año | No respetar Ceda el Paso | Pérdida de control | Alcance | Otros | Total |
|---------|--------------------------|--------------------|---------|-------|-------|
| 1989 | 1 | 3 | - | - | 4 |
| 1990 | 1 | 2 | 1 | - | 4 |
| 1991 | 5 | 3 | 1 | - | 9 |
| 1992 | 2 | 3 | - | 1 | 6 |
| 1993 | 1 | 7 | 1 | 3 | 12 |
| 1989-93 | 10 | 18 | 3 | 4 | 35 |

Fuente: Partes de Estadística de la Dirección General de Tráfico. Elaboración propia.

Comparando estos resultados con los porcentajes obtenidos en estudios franceses o ingleses, las diferencias podrían indicar una mayor incidencia de los accidentes por pérdidas de control en la entrada en la experiencia madrileña, 51% frente al 30% en las fuentes inglesas, 37% en las francesas, 27% en las suecas y 20% en las danesas¹¹, lo mismo que de los accidentes provocados por no ceder el paso, que en dichos países se sitúan entre el 20 y el 24%, frente al 28,5% madrileño. No obstante, también en este aspecto debe hacerse la salvedad de la escasez de series de datos para confirmar plenamente estos rasgos.

Hay que resaltar que los tres accidentes mortales ocurridos en glorietas de la comunidad de Madrid en los cinco últimos años se debieron a pérdidas de control en las entradas.

En cualquier caso, la importancia de los accidentes por pérdidas de control en la entrada subraya la necesidad de una buena perceptibilidad de las glorietas y de una buena señalización, para que los conductores sean

¹⁰ No todos los partes de accidentes contienen información sobre las causas de los accidentes. Sin embargo, en la mayoría de los que se describen como «pérdida de control», se anota como factor concurrente en 1993, primer año en que se solicita esta información, el de «velocidad inadecuada».

¹¹ Los datos sobre accidentalidad en otros países están tomados básicamente de: ALP-HAND, 1991; SETRA, 1983; DEPARTMENT OF TRANSPORT 1984; RUTHEFORD, 1984; JOHANNESSEN 1984; DALEY, 1981; CEDERSUND, 1983; MAYCOCK, 1984.

conscientes del tipo de intersección a que se aproximan y adapten su velocidad en consecuencia.

Si se analizan los accidentes desde la perspectiva del tipo de vehículos involucrados, destaca la presencia de motocicletas, en 12 de los 35 accidentes, lo que supone más de un 34% de los mismos y, en menor medida, el de peatones o peatones con bicicleta, que se indica en tres de los accidentes. Sobre esta cuestión, las fuentes inglesas dan entre el 30 y el 40% de accidentes con motocicletas y las francesas el 28%, porcentajes en ambos casos similares al madrileño.

Por lo que se refiere a los peatones, de acuerdo a los datos disponibles sobre carreteras competencia de la Comunidad de Madrid, estos se ven involucrados en el 8,5% de los accidentes en glorietas, porcentaje ligeramente más alto que los obtenidos en los estudios ingleses, el 6,4%, o franceses, el 4%, pero poco significativo, habida cuenta de la limitación de las series de datos disponibles.

En cuanto a las horas o, con más precisión, a las condiciones de iluminación de la intersección, los datos muestran la importancia de los accidentes nocturnos, que suponen el 51% del total, un porcentaje muy superior a la distribución del tráfico.

CONDICIONES DE ILUMINACION EN LOS ACCIDENTES

Glorietas de la Comunidad de Madrid (1989-1993)

| Condiciones de iluminación | Nº de accidentes |
|--|------------------|
| Iluminación natural | 17 |
| Nocturnos sin iluminación | 10 |
| Nocturnos con iluminación insuficiente | 2 |
| Nocturnos sin iluminar | 3 |
| Nocturnos sin especificar | 3 |

Fuente: Partes de Estadística de la Dirección General de Tráfico. Elaboración propia.

Los 18 accidentes nocturnos registrados suponen el 51% del total, proporción sensiblemente más elevada que el 36% que alcanzaron los accidentes nocturnos en el conjunto de las carreteras de la Comunidad en 1992¹². Doce de los 18 accidentes tuvieron lugar en glorietas con poca o ninguna iluminación. Más todavía, dos de los tres accidentes mortales se produjeron por la noche, en glorietas sin iluminación, mientras el tercero tuvo lugar durante el crepúsculo. Ello subraya la importancia que una buena visibilidad tiene en la seguridad y la conveniencia de iluminar adecuadamente las intersecciones giratorias.

Por lo que se refiere a las glorietas concretas en que se producen los accidentes, debe subrayarse que los 35 accidentes reseñados se han localizado en un total de 20 glorietas de la Comunidad, 7 de las cuales concentran 20 accidentes.

Las glorietas en las que se concentran los accidentes son:

LOCALIZACION DE GLORIETAS CON MAS DE UN ACCIDENTE Comunidad de Madrid (1989-1993)

| Localización | Nº de accidentes |
|----------------|------------------|
| M-503, km 2,1 | 3 |
| M-503, km 6,3 | 5 |
| M-603, km 14,9 | 3 |
| M-603, km 13,6 | 3 |
| M-603, km 12,5 | 3 |
| M-402, km 2,2 | 3 |

Fuente: Partes de Estadística de la Dirección General de Tráfico. Elaboración propia.

Como puede verse, 5 de las glorietas con accidentes repetidos se sitúan sobre dos ejes viarios, la ronda Sur

¹² Los datos generales de accidentes en carreteras competencia de la Comunidad de Madrid están tomados del «informe de accidentalidad de 1992», un documento interno de la Dirección General de Carreteras, en que se presentan y analizan las estadísticas de accidentes del año.

Aravaca-Pozuelo (M-503) y la carretera de Fuencarral a Alcobendas (M-603), mientras en un caso se trata de una glorieta aislada (M-402).

Las glorietas de la carretera M-603 fueron construidas antes de 1989, las de la M-603 se pusieron en servicio en Abril de ese año y la correspondiente a la M-402 en 1990.

En todos los casos se trata, no obstante, de glorietas con altas intensidades de tráfico. Así, la carretera M-603, sobre la que se sitúan 3 de ellas, tiene en la actualidad una IMD superior a los 25.000 vehículos. Por su parte, la M-603 alcanza más de 38.000 en su extremo más próximo a Madrid y no baja de los 29.000 en su extremo más alejado. Finalmente, la M-402 arroja una IMD en 1993 de 43.271 vehículos.

En cuanto a las intensidades de las carreteras secundarias que confluyen en ellas, son también considerables en las dos intersecciones de la M-503 (15.429 y 18.547 vehículos respectivamente), mientras para las vías secundarias en la M-402 y en la M-603 no se dispone de datos precisos.

En este contexto de carreteras de circulación intensa y aunque los partes de accidentes no permiten discernir si los accidentes pueden deberse a una inadecuada geometría, destaca el hecho de que las glorietas situadas sobre la M-603, disponen todas ellas de islote central elipsoidal, con una excentricidad en torno a 0,6, notablemente por debajo de la recomendable (de 0,75 a 1, en todos los manuales). Esta peculiaridad geométrica podría, tal vez, ser la causa de la repetición de accidentes en estas glorietas.

En cualquier caso, con las series de datos disponibles resulta arriesgado avanzar conclusiones firmes sobre la peligrosidad específica de cada glorieta o de sus características geométricas.

2.4. Entradas en doble circulación

De acuerdo con la literatura internacional, la entrada en doble circulación, es decir, la entrada de un vehículo a la calzada anular mientras otro circula por el carril interior de la misma y sin que exista el intervalo necesario entre ambos, algo que sólo puede producirse cuando ésta consta de dos o más carriles, es un fenómeno muy esporádico en las glorietas, normalmente restringido a vehículos que abandonan la calzada anular en la siguiente salida y que aumenta, en general, la peligrosidad y accidentalidad de las intersecciones (CETUR 1988).

Con objeto de comprobar la veracidad de esta conclusión, en el análisis de las tomas de video realizadas para este trabajo, se anotaron y estudiaron todos los casos en que se observaron entradas en doble circulación. Una síntesis de estas observaciones se presenta en el cuadro adjunto, en el que se han clasificado todos los casos detectados, en función del tipo de vehículo, de la trayectoria del mismo en la glorieta (en particular, de la salida a que se dirige) y de si crea o no situación de inseguridad.

A la vista del cuadro, pueden hacerse las siguientes observaciones:

En primer lugar, se comprueba el carácter absolutamente minoritario de este tipo de entradas que, con 26 casos detectados, es del orden del uno por mil de los vehículos entrados en glorietas con anillo de dos o más carriles.

En segundo lugar, una parte importante de los casos observados de entrada en doble circulación, 10 sobre un total de 26, van acompañados de situaciones de inseguridad (frenazos, etc).

Ambas conclusiones parecen confirmar la experiencia internacional en el sentido de la escasa significación cuantitativa de este tipo de entradas, que resultan irrelevantes desde el punto de vista de la capacidad, y por el contrario su alta conflictividad.

En tercer lugar, se observa la alta proporción de estas entradas que corresponden a vehículos que abandonarán la glorieta en la siguiente salida, 19 sobre 26, lo que termina de corroborar la experiencia internacional en la materia.

En cuarto lugar, una característica interesante de estas entradas en doble circulación, de la que no se han encontrado referencias en la literatura especializada, es que más de la mitad de los vehículos protagonistas de estas entradas han resultado ser vehículos pesados. En efecto, camiones (4), autobuses (2) y furgonetas (8) suponen 14 de los 26 casos detectados.

El protagonismo de los vehículos pesados en algunos comportamientos singulares a la entrada de glorietas tiene, probablemente, su explicación en las limitaciones de maniobrabilidad de este tipo de vehículos y en la

necesidad consiguiente de aprovechar al máximo las posibilidades que la intersección les ofrece. Es de destacar, también, la mayor conflictividad que representan las entradas en doble circulación de vehículos pesados (7 sobre 14 provocaron inseguridad), frente a los ligeros (3 sobre 12 casos).

Finalmente, es interesante comprobar que las entradas en doble circulación se producen sobre todo en algunas glorietas, habiendo otras en las que no se ha detectado ningún caso. En las observaciones realizadas, sólo se han producido entradas en doble circulación en las glorietas números 3, 4, 7, 9, 11 y 12. No se han observado casos en las glorietas nº 1, 2 y 6, todas ellas con doble carril en el anillo. No obstante, no se han encontrado razones geométricas en el diseño de las glorietas que expliquen la existencia o no de este tipo de comportamientos.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ENTRADAS EN DOBLE CIRCULACION

| | Vehículos pesados | | | | Vehículos ligeros | | | | TOTAL | | | |
|-----------------|------------------------------|----------|---------------|----------|------------------------------|----------|---------------|----------|------------------------------|----------|---------------|----------|
| | Saliendo en salida inmediata | | Otras salidas | | Saliendo en salida inmediata | | Otras salidas | | Saliendo en salida inmediata | | Otras salidas | |
| | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. |
| Glorieta nº 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 3 | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 |
| Glorieta nº 4 | - | 2 | - | - | - | 1 | 1 | - | - | 3 | 1 | - |
| Glorieta nº 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 7 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 2 | 1 | 2 | - |
| Glorieta nº 8** | | | | | | | | | | | | |
| Glorieta nº 9 | - | - | - | - | - | 2 | - | - | - | 2 | - | - |
| Glorieta nº 10* | | | | | | | | | | | | |
| Glorieta nº 11 | - | - | - | - | 2 | - | - | - | 2 | - | - | - |
| Glorieta nº 12 | 4 | - | - | 2 | 4 | - | - | - | 8 | - | - | 2 |
| TOTAL | 5 | 4 | 2 | 3 | 7 | 3 | 2 | - | 12 | 7 | 4 | 3 |

S.I. = sin incidencias; C.I. = con incidencias.

* Se trata de una glorieta partida. No se considera a estos efectos.

** Se trata de una glorieta con entradas y anillo de 3 carriles, donde las entradas en doble circulación son habituales.

Fuente: Tomas de video de GEOCISA. Análisis y elaboración propia.

2.5. Esperas en el anillo

Uno de los comportamientos irregulares observados en glorietas es la espera de los vehículos parcial o totalmente dentro del anillo, es decir, adelantados respecto a la línea de Ceda el Paso, donde deberían detenerse.

En las observaciones realizadas, este tipo de esperas se ha repetido en algunas glorietas, habiéndose considerado conveniente su estudio para investigar sus causas y proponer medidas para evitarlo, dada su inherente peligrosidad al ocupar los vehículos parados parte de la calzada anular.

Tal como puede verse en el cuadro adjunto, el número de casos detectado es cuantitativamente escaso (18) y probablemente irrelevante desde un punto de vista estadístico. Su conflictividad sin embargo es alta, habiéndose observado situaciones de inseguridad en 7 de los 18 casos.

Resulta interesante comprobar la mayoritaria presencia de vehículos pesados en este tipo de comportamientos, que alcanza a 12 casos (4 camiones, 4 autobuses y 4 furgonetas) sobre un total de 18. Al igual que en las entradas en doble circulación, las limitaciones de maniobrabilidad de estos vehículos pueden estar en la base de estos comportamientos.

De las 12 glorietas estudiadas, únicamente en tres de ellas, las números 4, 5, que cuentan con vías de giro directo a la derecha, y la 8, no se han detectado este tipo de esperas. Asimismo, debe subrayarse la importancia relativa que este tipo de esperas tiene en la glorieta nº 9, con tres casos detectados, cuando el total de vehículos que la atravesaron en la hora de observación fué de 584, cifra muy inferior al resto de las glorietas donde se ha detectado el fenómeno (nº1, 3.936; nº 2, 4.136 ; nº3, 3.240; nº4, 1.867; nº7, 2.581 y nº 12, 2.303), salvo en el caso de la nº 11, en la que, con 633 vehículos entrantes por hora, se ha detectado un caso.

A pesar de que el reducido número de casos observados no permite extraer conclusiones muy generales, en lo que respecta a la glorieta nº 9, la explicación de una mayor presencia de este tipo de comportamientos parece residir en su propia geometría. En efecto, la existencia de un acceso prácticamente tangente al anillo, el Este, y alineado con la salida Noroeste, destino casi exclusivo de los vehículos entrantes por Este, puede animar a los conductores a no respetar la línea de Ceda el Paso.

Y, en efecto, el estudio del acceso por el brazo Este a la glorieta nº 9 muestra que, en general, los vehículos llegan a la línea de Ceda el Paso a una velocidad excesiva, confiados probablemente en la fácil geometría de la intersección. La espera en el interior del anillo se produce cuando estos vehículos, que llegan a velocidad excesiva, no encuentran intervalo suficiente para atravesar la glorieta y deben detenerse. La velocidad excesiva y la doble anchura del anillo les impulsan a hacerlo en el interior del anillo.

Debe subrayarse que el reducido número de casos detectados, tres en total, se debe en gran parte a la escasa circulación en la glorieta nº 9, lo que permite a la inmensa mayoría de los vehículos que acceden por el brazo Este, 95 en la hora de observación, atravesar la glorieta sin detenerse. Ello explica también la baja peligrosidad observada en estas esperas, que podría aumentar notablemente de aumentar la intensidad del tráfico.

El especial comportamiento de los conductores en el acceso Este de la glorieta nº 9 parece confirmar dos extremos generalmente admitidos sobre la geometría recomendable en glorietas:

- La inadecuación de las entradas tangentes o con ángulo muy abierto.
- La conveniencia de que la anchura del anillo no supere a la entrada más amplia en número de carriles.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPERAS EN EL INTERIOR DEL ANILLO

| | Vehículos pesados | | | | Vehículos ligeros | | | | TOTAL | | | |
|-----------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| | Con efecto arrastre | | Sin efecto arrastre | | Con efecto arrastre | | Sin efecto arrastre | | Con efecto arrastre | | Sin efecto arrastre | |
| | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. | S.I. | C.I. |
| Glorieta nº 1 | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - |
| Glorieta nº 2 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 2 | - | - | - |
| Glorieta nº 3 | - | 2 | 1 | - | - | 3 | - | - | - | 5 | 1 | - |
| Glorieta nº 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 7 | - | - | 1 | 2 | - | - | - | - | - | - | 1 | 2 |
| Glorieta nº 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 9 | - | - | 2 | - | - | - | 1 | - | - | - | 3 | - |
| Glorieta nº 10* | | | | | | | | | | | | |
| Glorieta nº 11 | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | 1 | - |
| Glorieta nº 12 | 1 | - | - | - | 1 | - | - | - | 2 | - | - | - |
| TOTAL | 3 | 2 | 5 | 2 | 1 | 3 | 2 | - | 4 | 5 | 7 | 2 |

* Se trata de una glorieta partida. No se considera a estos efectos.

Fuente: Tomas de video de GEOCISA. Análisis y elaboración propia.

Con independencia de lo señalado para la glorieta nº 9, no se ha encontrado otro tipo de correlaciones entre las glorietas en que se observan esperas dentro del anillo y la geometría de las mismas. Por ello, tal vez podría concluirse que se trata de comportamientos genéricos, ligados a la forma actuar de un porcentaje de conductores, que pueden presentarse en todas las glorietas, cualquiera que sea su geometría.

2.6. Entradas con escaso intervalo o «gap»

Otro de los comportamientos irregulares en la circulación en glorietas es la entrada a la calzada anular cuando los vehículos que circulan por ella no dejan el intervalo suficiente para la incorporación en condiciones de seguridad¹³. Estas entradas con escaso «gap» provocan, lógicamente, situaciones de cierta inseguridad,

al obligar a reducciones de velocidad a los vehículos que circulan por el anillo.

Tal como puede verse en el cuadro adjunto, se han observado un total de 22 entradas con escaso «gap» en las horas de grabación estudiadas. Un número estadísticamente poco significativo, pero que, habida cuenta de la peligrosidad inherente a estas maniobras, debe ser adecuadamente considerado.

Al igual que en el caso anterior, resulta evidente el protagonismo de los vehículos pesados en este tipo de entradas (16 sobre un total de 22). Protagonismo que,

¹³ En el apartado 2.2 se hace mención del intervalo crítico o «gap», utilizado en los cálculos y fórmulas de capacidad. Sin embargo, en este apartado, el término se utiliza de forma genérica, sin referencia a un umbral crítico. Senillamente, se interpretan como entradas con escaso intervalo aquellas que obligan a frenar a otros vehículos que llegan por el anillo, independientemente del tiempo que los separa.

en estas maniobras, resulta claramente consecuencia de la menor capacidad de aceleración y giro de los pesados, que se traduce en la necesidad de un mayor intervalo de tiempo entre los vehículos circulantes por el anillo para que un vehículo de este tipo pueda proceder a entrar en él. Las esperas prolongadas de los vehículos pesados en las entradas a glorietas y la posibilidad, real o psicológica¹⁴, de no contar durante un gran período de tiempo con el intervalo suficiente para acceder al anillo, parecen animar a sus conductores a entrar con escaso intervalo, a esperar dentro del anillo o a forzar la entrada en doble circulación.

El Efecto Arrastre:

En muchos de los casos estudiados de esperas en el interior del anillo o de entradas con escaso «gap» se ha observado que el vehículo protagonista de este

comportamiento formaba parte de un grupo-fila de vehículos que entraban a la glorieta seguidos, la mayor parte de las veces sin detenerse. La impresión de la observación de estos casos sugiere que este grupo-fila, que entra a la glorieta inmediatamente antes, «arrastra» de alguna forma al vehículo que, ya sin el intervalo necesario, procedía a entrar con escaso «gap» o abortaba a medias la maniobra de entrada, quedando detenido dentro del anillo.

A este tipo de fenómeno, se le ha denominado en este trabajo «efecto arrastre» y, una vez definido, ha resultado ser relativamente frecuente. Así, de las esperas en el interior del anillo, la mitad se han estimado consecuencia de este efecto, mientras que de las entradas con escaso intervalo, 13 sobre 22 podrían ser, también, consecuencia del «arrastre» de otros vehículos.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ENTRADAS CON ESCASO «GAP»

| | Vehículos pesados | | Vehículos ligeros | | TOTAL | |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Con efecto arrastre | Sin efecto arrastre | Con efecto arrastre | Sin efecto arrastre | Con efecto arrastre | Sin efecto arrastre |
| Glorieta nº 1 | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 2 | 3 | - | - | - | 3 | - |
| Glorieta nº 3 | - | - | 2 | - | 2 | - |
| Glorieta nº 4 | 1 | - | - | - | 1 | - |
| Glorieta nº 5 | 1 | - | - | - | 1 | - |
| Glorieta nº 6 | 2 | - | 1 | - | 3 | - |
| Glorieta nº 7 | 1 | 6 | - | - | 1 | 6 |
| Glorieta nº 8 | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 9 | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 10* | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 11 | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 12 | - | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| TOTAL | 8 | 8 | 5 | 1 | 13 | 9 |

* Se trata de una glorieta partida. No se considera a estos efectos.

Fuente: Tomas de video de GEOCSA. Análisis y elaboración propia.

¹⁴ Se han observado casos en que un vehículo pesado permanece en espera de entrada en el acceso a una glorieta mientras varios vehículos ligeros logran entrar al anillo por el mismo acceso (glorieta nº 2, nº 1.465, contador toma de video). Ello demuestra la necesidad de un «gap» más prolongado para los vehículos pesados.

En la literatura especializada no se han encontrado referencias a este fenómeno, que influye en la mayor parte de las situaciones de inseguridad observadas. La ausencia de referencias puede deberse a la inexistencia de este fenómeno en Gran Bretaña, país de donde proceden la mayor parte de las investigaciones sobre funcionamiento de glorietas, lo que significaría que se trata de un comportamiento «peculiar» de los conductores madrileños, en línea con las diferencias de comportamiento existentes frente a otras regulaciones de la circulación.

2.7. Esperas, entradas y circulación en paralelo.

En la mayoría de las glorietas estudiadas se observan esperas, entradas y circulación de varios vehículos en paralelo por el anillo, procedentes de un mismo acceso.

Este comportamiento es habitual y forma parte del funcionamiento normal de las glorietas con entradas y anillo de varios carriles. De las glorietas estudiadas, se han observado entradas en paralelo, normalmente de forma sistemática, en 8 de ellas, prácticamente la totalidad de las que disponen de anillo y entradas de varios carriles.

En este tipo de glorietas, los vehículos esperan en paralelo en una entrada de varios carriles hasta disponer del intervalo suficiente para iniciar la maniobra de entrada, momento en el cual acceden a la calzada anular simultáneamente y circulan por ella en paralelo.

Este tipo de esperas y entradas en paralelo no produce, normalmente, aumento de la inseguridad, ya que, en general, el destino del par o trio de vehículos que circulan en paralelo es la misma salida, dado el carácter marcadamente pendular del tráfico suburbano o, de ser diferente, no implica cruce de trayectorias entre ellos. De ahí que, sólo muy excepcionalmente, se hayan observado situaciones de inseguridad producidas por

esperas, entradas y circulación en paralelo en las glorietas estudiadas.¹⁵

Con independencia de estos casos funcionalmente correctos, se han detectado sin embargo en las observaciones realizadas esperas, entradas y circulaciones en paralelo irregulares, que sí suponen un aumento de la peligrosidad en la circulación del anillo.

Se trata, fundamentalmente, de los siguientes comportamientos:

- A) Esperas y entradas en paralelo de un número de vehículos superior al número de carriles existentes en la entrada o en el anillo.
- B) Entradas en paralelo desde un acceso de varios carriles con salida por brazo de un solo carril.
- C) Utilización de los anillos de varios carriles para adelantamientos entre vehículos procedentes de entradas de un solo carril.

A. Las esperas y entradas en paralelo de un número de vehículos superior al número de carriles existentes en la entrada y en el anillo

lleva, normalmente, asociado un aumento de peligrosidad, ya que los vehículos que entran en paralelo deben trenzarse para reducir las líneas de circulación al número de carriles del anillo. Ello hace que, en general, se produzcan fuertes aceleraciones y frenazos en ese proceso de reducción de filas, con la consiguiente inseguridad.

Este tipo de esperas y entradas se ha observado de forma sistemática en la glorieta nº 1 y, en concreto, en su ramal Noroeste, que cuenta con dos carriles de acceso al anillo en la línea de Ceda el Paso. En este

¹⁵ De hecho, en las incidencias anotadas de las observaciones de las tomas de vídeo sólo se ha reseñado un caso de inseguridad provocado por cruce de trayectorias entre vehículos que acceden en paralelo a la calzada anular (glorieta nº 3, 535).

acceso, se forman esperas de tres y hasta de cuatro vehículos en paralelo, que tratan de acceder al anillo simultáneamente cuando cuentan con el intervalo suficiente.

También se han observado algunos casos de entradas en paralelo de dos vehículos en ramales de un solo carril de acceso y doble carril en el anillo, aunque no en la forma sistemática en que sucede en la glorieta nº 1 (glorietas números 4, 6 y 7).

Sobre estos comportamientos cabe indicar que se producen normalmente en entradas congestionadas, bien por fuerte intensidad, bien por escasez de intervalos de acceso. Así, las retenciones son frecuentes en el acceso Noroeste a la glorieta nº 1.

Otra circunstancia es común y obligada en estas glorietas con entradas en paralelo de más vehículos que carriles: la existencia de una anchura excesiva de la entrada en la línea de Ceda el Paso, tanto sea porque la señalización horizontal acota una franja en la que caben más vehículos que carriles, como si la inexistencia de protecciones o aceras permite a los vehículos utilizar los arcenes laterales, tal y como sucede en la glorieta nº 1.

También debe subrayarse que este tipo de entradas no supone un aumento de capacidad del ramal en el caso de la glorieta nº 1, ya que en ésta la capacidad de la entrada está limitada por el número de carriles del anillo, a los que deben reducirse los vehículos entrados simultáneamente. De forma que, en este caso, estos comportamientos no aportan sino conflictividad.

En las glorietas con acceso de un sólo carril y anillo de dos carriles, la formación de entradas en paralelo puede aumentar la capacidad de la entrada al anillo.

En definitiva, si se quiere reducir o imposibilitar este tipo de comportamientos, que resultan en muchos casos conflictivos y que sólo aumentan la capacidad, cuando el anillo dispone de más carriles que la entrada, debería

procederse a reducir la anchura de las entradas y adecuarlas al número de carriles previsto. Vista la experiencia de utilización de arcenes, esta reducción conviene hacerla físicamente, mediante bordillos, que definan claramente los carriles utilizables.

Sólo en los casos de un acceso con menor número de carriles que el anillo, sería claramente recomendable ampliar su anchura o consentir de una u otra forma la formación de entradas en paralelo.

B. Las entradas en paralelo de pares o filas de vehículos a una glorieta con salidas de un sólo carril es otro de los tipos de entradas y circulación en paralelo observadas que resultan parcialmente inadecuadas.

En efecto, este tipo de entradas, que se ha observado de forma sistemática en las glorietas 6 y 11, obligan a los vehículos, bien a trenzarse en el anillo, antes de la salida, bien a trenzarse en el abocinamiento de la salida para reducir las dos filas de entrada a la única de la carretera a la que acceden.

Este tipo de funcionamiento pueden suponer aumento de la capacidad de la intersección, en aquellas glorietas en que el tráfico procedente de una entrada se divide entre varias salidas o, en caso de que muy mayoritariamente utilice la misma salida (algo común en los movimientos pendulares de las carreteras suburbanas), siempre que la capacidad de ésta sea superior a la de la entrada y, como mínimo, similar a la del anillo.

En el primer caso, el «doble» volumen de vehículos de la entrada y el anillo, al dividirse entre varias salidas, se reduciría lo suficiente en cada una de ellas como para no provocar problemas de capacidad, habida cuenta de la generosa geometría con que deben proyectarse éstas.

En el segundo caso, si el abocinamiento de la salida, tanto en longitud como en anchura permiten que sea en

él donde se produzca el alineamiento de los vehículos procedentes de los dos carriles del anillo, sin que ello obligue a una reducción de la velocidad que pudiera transmitirse hacia atrás, hacia la glorieta, el funcionamiento puede ser correcto.

Sin embargo, en aquellas glorietas, en que el alineamiento-trenzado deba producirse en el propio anillo, antes de iniciar la salida o en aquellas otras, en que el abocinamiento de la salida resulta insuficiente para absorber el volúmen de vehículos procedentes del anillo, este tipo de funcionamiento puede provocar un aumento sensible de la inseguridad y provocar conflictos importantes en el anillo.

En estos casos, este funcionamiento sólo aporta aumentos de la peligrosidad a la circulación, sin ninguna ventaja e incluso con posibilidad de reducir la capacidad de la intersección, como lo demuestra el caso observado en una glorieta madrileña, la número 6, en la que la entrada en paralelo continua de vehículos por el acceso Oeste, de dos carriles, y la necesidad de reducirse a una fila para salir por el ramal Este, de un solo carril, llegó a provocar el colapso total del anillo, transmitiendo a éste la congestión que debería haberse limitado y permanecido en el acceso Oeste, aguas arriba de la glorieta.

Todo ello recomienda evitar en lo posible estos comportamientos, peligrosos y perjudiciales para la eficacia de la intersección. Las formas de impedir este tipo de entradas múltiples, sin perspectiva simultánea de salida, pueden ser el diseño específico de las salidas, para que puedan absorber los aumentos de capacidad de las entradas, sobre todo, aumentando la longitud del abocinamiento para permitir una correcta integración de las dos líneas de circulación en una sola.

C. En cuanto a la utilización del anillo como área de adelantamiento entre vehículos procedentes de ramales de un sólo carril por sentido, se ha detectado como un comportamiento habitual en las glorietas 6 y 11 y, más esporádicamente, en la glorieta nº 4.

Estos adelantamientos, impulsados probablemente por la baja velocidad de circulación de algunos vehículos en los ramales de aproximación, son casi siempre problemáticos, dada la escasez de tramo para adelantar (la distancia entre la entrada y la salida), su fuerte curvatura y el posible cruce de trayectorias entre vehículos.

Por ello y porque en poco contribuyen a aumentar la capacidad de las vías, parece que debería procederse a imposibilitarlos siempre que sea posible.

La forma más obvia de imposibilitarlos es, naturalmente, la reducción de la anchura del anillo y su adaptación real, en número de carriles, a las de las entradas de los ramales.

Los tres tipos de entradas o circulaciones en paralelo funcionalmente irregulares que se han detectado y analizado provienen en todos los casos de una inadecuada geometría y, en concreto, de la falta de correspondencia entre las anchuras de las entradas, las salidas y el anillo.

Ello quiere decir que, probablemente, sea conveniente precisar las recomendaciones existentes sobre el tema de forma a evitar estas situaciones. En concreto, las líneas maestras de esta precisión serían:

- La anchura del anillo nunca debe ser superior en número de carriles a la de la entrada más ancha.
- La anchura de las entradas no deberá ser superior a la de las salidas, si éstas no están especialmente diseñadas para absorber el aumento de capacidad que suponen las entradas en paralelo.
- Sólo en el caso de una entrada con número de carriles inferior a los del anillo y a los del resto de las salidas, puede recomendarse genéricamente su ampliación.

FORMAS DE CIRCULACION CICLISTA EN GLORIETAS

| | Por exterior del anillo | Exterior anillo con paraca | Ocupando carril exterior | Cruzando a interior | Otros | TOTAL |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|----------|-----------|
| Glorieta nº 1 | 6 | 1 | 2 | - | - | 9 |
| Glorieta nº 2 | 1 | 1 | 1 | - | - | 3 |
| Glorieta nº 3 | 1 | - | 2 | - | - | 3 |
| Glorieta nº 4 | - | - | 9 | 1 | - | 10 |
| Glorieta nº 5 | - | - | - | - | - | - |
| Glorieta nº 6 | 4 | 1 | 5 | 1 | - | 11 |
| Glorieta nº 7 | 2 | - | - | - | - | 2 |
| Glorieta nº 8 | - | - | 18 | - | 6 | 24 |
| Glorieta nº 9 | 1 | - | - | - | - | 1 |
| Glorieta nº 10* | | | | | | |
| Glorieta nº 11 | 1 | - | - | - | - | 1 |
| Glorieta nº 12 | 5 | 3 | - | 1 | - | 9 |
| TOTAL | 21 | 6 | 37 | 3 | 6 | 73 |

* Se trata de una glorieta partida. No se considera a estos efectos.

Fuente: Tomas de video de GEOCISA. Análisis y elaboración propia.

2.8. El comportamiento de los ciclistas

A lo largo de las doce horas de funcionamiento estudiadas, se ha observado el paso por las glorietas de la Comunidad de un total de 73 ciclistas.

Del análisis de su comportamiento en la travesía de la glorieta, que se resume en el cuadro adjunto, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

La gran mayoría de los ciclistas circulan regularmente por el exterior del anillo (58 sobre 74), bien pegados al bordillo o arcén derecho (21), bien circulando por el centro del carril exterior (37).

No obstante, un número apreciable (15) circulan de forma irregular, bien porque se detienen antes de cruzar una salida (6), bien porque cruzan al interior del anillo (3), bien porque siguen trayectorias extrañas (a contracorriente por el arcén, etc).

En cuanto a peligrosidad, únicamente en un caso, en el que el ciclista circulaba regularmente por el carril exterior del anillo, se ha observado una situación conflictiva.

3. Referencias bibliográficas

- ALPHAND, F.; NOELLE, U.; GUICHET, B. (1991): «Roundabouts and road safety: State of the art in France». *Intersections without Traffic Signals II*. Proceedings of an International Workshop, 18-19 July 1991, pp. 107-25. Bochum, Germany. Springer-Verlag, Berlin.
- CEDERSUND, H. (1983): «Cirkulationsplatser i Svrige. Inventering och Olycksstudie». *VTI-Meddelande*, 361/1983. Linköping, Suecia.
- CETUR (1988): *Conception des carrefours a sens giratoire implantés en milieu urbain*. Centre d'Études des Transport Urbains. Bagneux, France.
- DALEY, K. (1981): Roundabouts: A Review of Accident Patterns. *First National Local Government Engineering Conference*, Adelaida, 24-27 Agust, 1981, Institution of Engineers Australia, 1981, pp 31-35.
- DE LA HOZ, C.; POZUETA, J. (1989): *Recomendaciones para el diseño de glorietas en carreteras suburbanas*. Comunidad de Madrid. Consejería de Política Territorial.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT (1984A): *The Geometric Design of Roundabouts*, Department of Transport, TD 16/84, Londres, 1984.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT (1984B): *The Geometric Design of Roundabouts*, Department of Transport, Advice Note TA 42/84, Londres, 1984.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT (1981): *Junctions and Access: Determination of Size of Roundabout and Major/Minor Junctions*. Department of Transport, Great Britain, Advice Note TA 23/81.
- HORMAN, C. B. (1983): «Experience with Roundabouts in the Australian Capital Territory». *Second National Conference on Local Government Engineering*, 1983. Institution of Engineers, Brisbane, 1983, pp.147-152.
- JOHANNESSEN, S. (1984): «Experience with Small Roundabouts in Norway». *Highway Appraisal and Design*. Summer Annual Meeting, University of Sussex, Londres, 1984, pp 1-14.
- MARLOW, M.; BLACKMORE, F.G. (1973): *Experiment at Brook Hill Roundabout, Sheffield, Yorkshire*. Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 562, 1973. Crowthorne, Berks.
- MAYCOCK, G.; HALL, R. (1984): *Accidents at 4-arm Roundabouts*, Transport and Road Research Laboratory, Laboratory Report 1120. Crowthorne, Berks.
- NOELLE, U. (1985): *Carrefours giratoires: Note sur le calcul de la capacité*. E.N.P.C. Sesi3n de Formati3n Continue, 21-22, Mai 1985. C.E.T.E. M3diterran3e, Francia.
- RUTHEFORD, G. (1985): «Traffic Circles As Residential Intersection Control: A Comparison with Yield Signs Based on Seattle's Experience», en *Transportation Research Record*, 1985, n. 1010, pp.65-68.
- SETRA (1984): *Les carrefours plans sur routes interurbaines. Carrefours giratoires.*, SETRA, Bagneux, Francia.
- SETRA (1983): *Carrefours giratoires: Analyse de la securit3*. Rapoort d'3tude. C.E.T.E. Nantes. Bagneux, France.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB 1985) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board Special Report 209, National Research Council, National Academy of Science. Washington.

Anexo

**Modelo de análisis del
funcionamiento de una glorieta.
Intersección giratoria nº 1, Pozuelo de
Alarcón, M-508 y M-503**

I. Datos físicos y de proyecto

I.1. Geometría

Descripción general:

Glorieta circular de cuatro brazos. Suroeste¹, Noroeste y Nordeste con dos carriles por sentido y Sureste un sólo carril por sentido, aunque dos carriles en la línea de Ceda el Paso. Anillo de dos carriles.

Parámetros geométricos:

| | |
|--|----------------|
| Radio interior del anillo: | 30,00 m. |
| Radio exterior del anillo: | 38,00 m. |
| Anchura de la calzada anular: | 8,00 m. |
| Radios de entrada: | 25 y 180,00 m. |
| Radios de salida: | 25 y 180,00 m. |
| Anchura arcén interior: | 0,50 m. |
| Anchura arcén exterior: | 1,50 m. |
| Anchura del carril en la línea del CEDA EL PASO: | 7,00 m. |
| Anchura del carril en salidas: | 7 y 3,50 m. |

I.2. Acondicionamiento

Señalización horizontal:

Señalización horizontal borrada en parte por el uso, sobre todo en los movimientos más frecuentes.

Señalización vertical:

R-400a frente a cada acceso, acompañada de cartel de flechas de dirección. Preseñalización mediante carteles a cien metros del Ceda el Paso.

Acondicionamiento:

El islote central y las isletas deflectoras están delimitados mediante bordillos montables y presentan una vegetación interior espontánea, excepto un bosque de árboles en el islote central y algún arbusto en las isletas deflectoras.

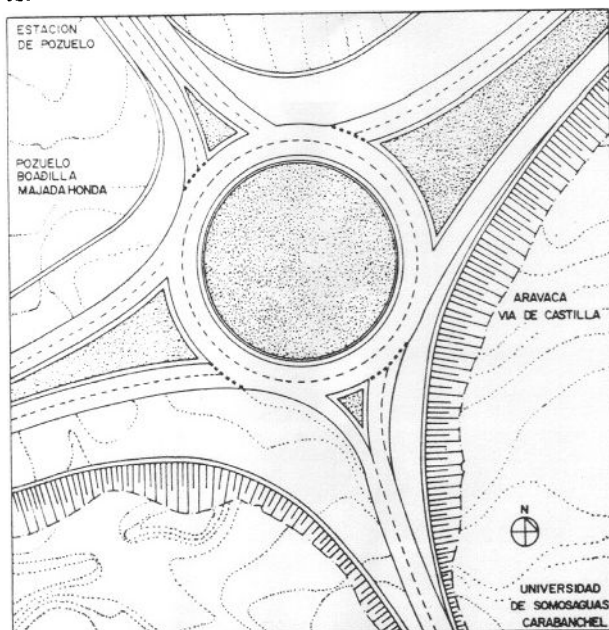
El islote central se encuentra sobreelevado en relación con las calzadas adyacentes.

Iluminación mediante báculos perimetrales.

I.3. Visibilidad en la línea de Ceda el Paso

En todas las entradas la visibilidad es correcta tanto a izquierda como a derecha estando impedida solamente al frente, a causa del acondicionamiento del anillo interior.

GLORIETA Nº1 POZUELO DE ALARCON



¹ La correspondencia entre referencias cardinales y direcciones de los ramales es la siguiente: El ramal Nordeste corresponde a la dirección hacia Madrid, el Noroeste a la dirección hacia Pozuelo Estación, el Sureste a la dirección hacia la Universidad de Somosaguas y Carabanchel y el Suroeste a la dirección hacia Majadahonda.

2. Análisis funcional

2.1. Condiciones de la observación

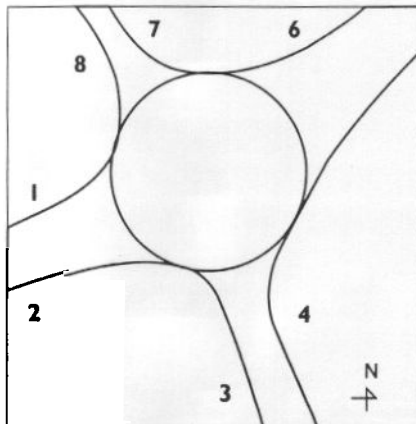
El análisis se basa, fundamentalmente, en el estudio de la toma de video realizada el 4 de Junio de 1993, lunes, entre las 18:29 y las 19:30, con buen tiempo.

La toma de video proporciona visibilidad detallada en los accesos Noroeste y Suroeste. Visibilidad de colas en Sureste y parcialmente en Nordeste.

2.2. Intensidades de circulación

De acuerdo a los datos proporcionados por GEOCISA, las intensidades de tráfico en cada brazo son las que figuran en el cuadro y esquema adjunto.

| | Ligeros | Camiones | Autobuses | Total |
|-------|---------|----------|-----------|-------|
| Vía 1 | 1.782 | 8 | 7 | 1.797 |
| Vía 2 | 843 | 11 | 4 | 858 |
| Vía 3 | 610 | 7 | 14 | 631 |
| Vía 4 | 517 | 5 | 13 | 535 |
| Vía 5 | 1.235 | 20 | 11 | 1.266 |
| Vía 6 | 1.941 | 16 | 14 | 1.971 |
| Vía 7 | 233 | 3 | 6 | 242 |
| Vía 8 | 559 | 6 | 7 | 572 |



2.3. Incidencias observadas

- 0034² Entrada simultánea de tres vehículos por acceso Noroeste.
- 0066 Entradas en paralelo de pares de vehículos por Noroeste.
- 0100 Entrada simultánea de tres vehículos por acceso Noroeste. Situación de inseguridad.
- 0111 **Espera dentro del anillo** de autobús en Noroeste.
- 0127 Entrada simultánea de tres vehículos por acceso Noroeste. Situación de inseguridad,
- 0151 Entrada simultánea de tres vehículos por acceso Noroeste. Situación de inseguridad,
- 0157 Entrada simultánea de cuatro vehículos por acceso Noroeste. Situación de inseguridad,
- 0167 Entrada simultánea de tres vehículos por acceso Noroeste. Situación de inseguridad,
- 0183 Entrada simultánea de cuatro vehículos por acceso Noroeste. Situación de inseguridad.³
- 0393 Entrada de un **ciclista** por acceso Noroeste, que circula por el exterior del anillo y sale por Nordeste. Sin incidencias.
- 0543 Entrada de **ciclista** por acceso Nordeste, que circula por el exterior del anillo y sale por Noroeste. Sin incidencias.

² La numeración corresponde al contador de vueltas de un reproductor de video, puesto a cero al inicio de la grabación. Debe advertirse que no todos los reproductores de video proporcionan conteos iguales, por lo que pueden producirse algunas diferencias en la numeración según el aparato utilizado.

³ Las entradas simultáneas de tres o cuatro vehículos por Noroeste se repiten habitualmente, por lo que no se registran como incidencias a partir de ésta.



Entrada de **ciclista** por acceso Noroeste, que circula por el exterior del anillo y sale por Sureste. Sin incidencias.

Entrada de **ciclista** por acceso Suroeste, circula por el exterior del anillo y sale por Nordeste. Sin incidencias.

- 0740 Entrada de **ciclista** por acceso Nordeste, que circula ocupando el carril externo del anillo y sale por Sureste. Provoca inseguridad y frenadas.
- 0743 Entrada de **ciclista** por acceso Nordeste, que circula ocupando por el exterior del anillo, se detiene antes de atravesar la salida Suroeste y sale por Sureste.
- 0777 **Ciclista** que entra por Nordeste, circula por el exterior del anillo y sale por Suroeste.
- 0982 Entrada de un **ciclista** por acceso Noroeste, que cruza al interior del anillo, circula pegado al islote, vuelve a cruzar la calzada anular y sale por Nordeste. Sin incidencias.
- 1272 Entrada de **ciclista** por Suroeste, que circula por el exterior del anillo y sale por Nordeste.
- 1614 Entrada de un **ciclista** por acceso Nordeste, que circula ocupando el carril derecho del anillo y sale por Noroeste. Sin incidencias.

2.4. Otras observaciones

En el acceso Noroeste se observan continuamente entradas en paralelo de tres y cuatro vehículos con creación de situaciones de inseguridad.

Se observan retenciones en accesos Noroeste y Nordeste, aunque las condiciones de la toma no permiten apreciar su longitud. Esporadicamente, también en accesos Sureste y Suroeste.

No se observan casos de doble circulación en el anillo, salvo por entrada en paralelo de dos vehículos desde el mismo ramal.

2.5. Conclusiones de la observación.

En general, puede decirse, que la glorieta tiene un buen funcionamiento, excepto en el acceso Noroeste.

El funcionamiento de esta glorieta parece confirmar en líneas generales la idea comúnmente aceptada de que la doble circulación en el anillo sólo se produce por entrada en paralelo de dos vehículos procedentes de una entrada con dos carriles.

Los casos de triple y cuádruple entrada por Noroeste parecen favorecidos por la amplitud de la anchura de este acceso y de su arcén.

La suciedad en el pavimento parece mostrar, también, un exceso en la anchura de la calzada anular.

Un total de diez ciclistas circulan por esta glorieta durante la hora de grabación. Uno de ellos se ve involucrado en un incidente, al cruzarse en la trayectoria de un vehículo, que pretende abandonar la glorieta en una salida, cuyo arco atraviesa el ciclista.

3. Recomendaciones

Si se desea corregir la inseguridad provocada por las entradas triples o cuádruples en Noroeste, debería procederse a una reducción de su anchura, ajustándola estrictamente a los dos carriles necesarios.

Aunque no se han observado situaciones de inseguridad relacionadas con la anchura del anillo, puede ser que su exceso favorezca la invasión del anillo en el acceso Noroeste (no se aprecia bien en la toma de video) y las entradas triples o cuádruples. Por ello puede ser conveniente reducir su anchura o, en cualquier caso, proceder a una señalización horizontal que marque claramente las calzadas y líneas de CEDA EL PASO, en la actualidad prácticamente borradas.