

19

dossier tècnic de seguretat viària



Millora de la seguretat de les rotondes



servei català de

Trànsit



Generalitat de Catalunya
Departament d'Interior,
Relacions Institucionals i Participació

Propòsit

A partir dels anys 90 les rotondes van aparèixer al nostre país, i des de llavors s'han transformat en un element freqüent i habitual de les nostres xarxes viàries.

Malgrat que la rotonda és una solució d'ordenació que incrementa la seguretat viària de les interseccions, errors de concepció deguts a l'aparent simplicitat de la seva projectació han induït unes configuracions accidentògenes que, amb un disseny més acurat, es podrien evitar.

El *Dossier tècnic* repassa en un primer bloc l'accidentalitat a les rotondes i determina els factors de risc que s'han de considerar a l'hora de projectar-les. Posteriorment exposa la geometria dels diferents elements que componen una rotonda, posant l'èmfasi en els elements de seguretat per protegir els col·lectius més vulnerables, o sigui, els vianants i els ciclistes. I finalment, presenta les actuacions més innovadores realitzades als països europeus per incrementar-ne la seguretat.

L'objectiu d'aquest *Dossier tècnic* és facilitar als responsables municipals un recull de punts de reflexió per a la correcta implantació de les rotondes, establint de manera clara i sintètica un seguit de principis i recomanacions que cal tenir en compte per tal que el seu disseny sigui eficaç en termes de funcionalitat i seguretat viària.

Josep Pérez Moya
Director del Servei Català de Trànsit



1	Introducció	6
2	Accidentalitat a les rotondes	8
	2.1 Tipologia, lesivitat i factors concurrents dels accidents en rotonda	8
	2.2 Factors de risc i problemes de concepció	10
3	Dimensionament de les rotondes	16

4	Tipologia de les rotondes	18
5	Característiques geomètriques per a la millora de la seguretat de les rotondes	20
6	Seguretat dels vianants i ciclistes	24
	6.1 Vianants	24
	6.2 Ciclistes	26
7	Semaforització de rotondes	28
8	Senyalització	30
	8.1 Senyalització vertical	30
	8.2 Marques viàries	31
9	Tendències de futur per millorar la seguretat de les rotondes	32
10	Conclusions i recomanacions finals	34

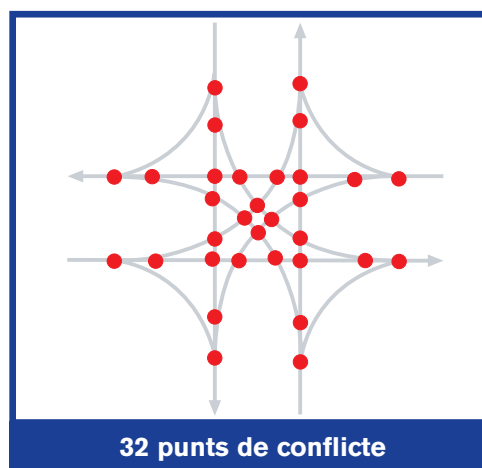
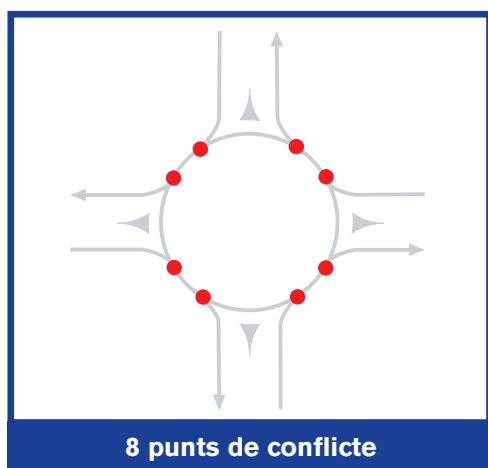
1

Introducció

El Reglament general de circulació, recollit en el Decret 1428/2003, defineix la *rotonda* com un tipus especial d'intersecció caracteritzat perquè els trams que hi conflueixen es comuniquen a través d'una anella en què s'estableix una circulació rotatòria al voltant d'un illot central. Aquesta circulació rotatòria és de sentit únic invers a les agulles del rellotge i té preferència de pas respecte als que pretenen incorporar-se.

Els darrers anys, hi ha hagut una creixent difusió de la rotonda ja que s'ha comprovat que resulta una forma de gestió del trànsit eficient i segura, i a més és aplicable a entorns de característiques ben diferents. En un gran nombre de casos i en àmbits d'aplicació diferents, s'ha conclòs que la conversió de les interseccions convencionals en rotondes ha comportat una important reducció de l'accidentalitat. Aquest fet es deu a un seguit de beneficis que deriven de la seva configuració:

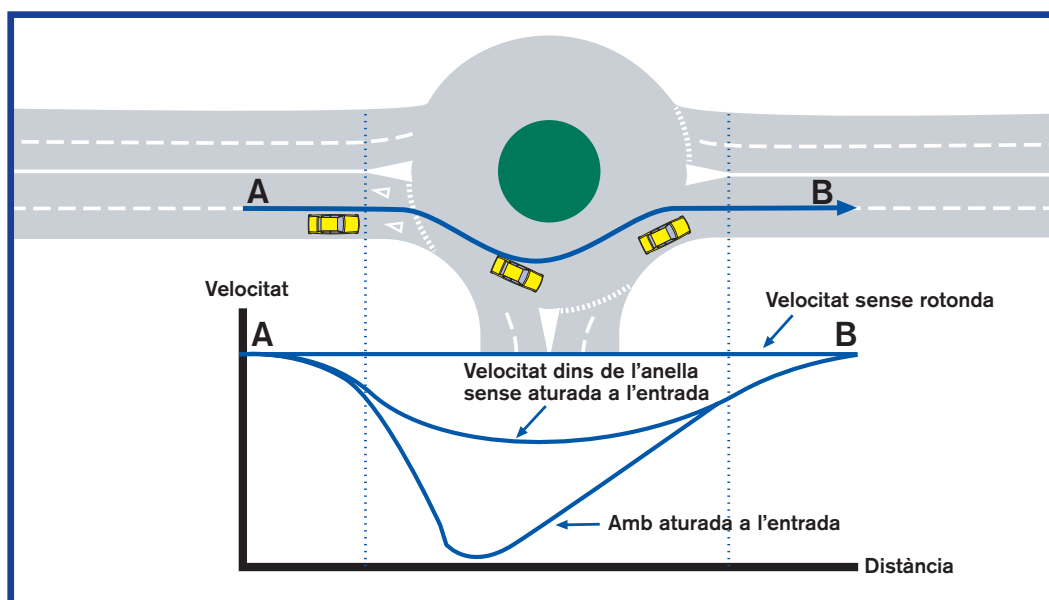
- La regla de prioritat a l'anella facilita una millor comprensió de la intersecció i del seu funcionament i evita el seu autobloqueig. Per la seva geometria i funcionament, la rotonda resol automàticament tots els moviments possibles en una intersecció, inclosos els canvis de sentit i la rectificació d'errors.
- L'organització de la circulació en sentit únic anular redueix el nombre de punts de conflicte i els punts secants, els més accidentògens, s'eliminen. A més, la integració del trànsit secundari al trànsit principal es realitza amb més seguretat.



- Estalvia la necessitat de reservar carrils de circulació com a carrils de preselecció, fet que contribueix a no fer perdre capacitat a la via i s'eviten els girs a l'esquerra, que solen protagonitzar els accidents més greus. A més, la capacitat que s'aconsegueix representa una reserva per a les puntes de demanda, de manera que s'evita en molts casos el recurs de l'ordenació per semàfors.

introducció

- Es moderen les velocitats a l'entrada, a l'anella de circulació i a la sortida de manera que inherentment representa una mesura per “calmar” el trànsit. En el mateix sentit, en imposar la pèrdua de prioritat de totes les vies que hi conflueixen, són interseccions molt adequades per marcar canvis en el règim de circulació. En particular, resulten molt útils:
 - Per realitzar la transició del règim de circulació de camp obert al règim urbà.
 - Per conformar la “porta d'entrada” a un nucli urbà o una àrea, residencial, industrial o comercial.
 - Com a reductors de velocitat en general.



- L'homogeneïtzació de les velocitats dels diferents vehicles afavoreix la seguretat dels vehicles més lents.
- Mitjançant un tractament adequat, contribueix a l'harmonització i a la qualitat del paisatge urbà. En altres paraules, les rotondes urbanes tenen la capacitat de produir un augment de la qualitat urbanística del medi adjacent.

Nota: Tot i els avantatges exposats, cal assenyalar que la difusió creixent de les rotondes no sempre ha anat acompanyada d'un disseny adequat a la seva funcionalitat. Errors de concepció, producte de l'aparent simplicitat de la seva projectació, han comportat en molts casos configuracions accidentògenes. Cal posar l'accent, per tant, en un disseny que contribueixi a reduir l'accidentalitat existent. A tal efecte, aquest dossier pretén contribuir a la divulgació d'aquestes bones pràctiques.

2

Accidentalitat a les rotondes

Per apropar-se als elements o condicions que afavoreix l'existència i la magnitud d'un risc d'accident, s'han considerat les dades d'accidents amb víctimes recollides pel Servei Català de Trànsit durant l'any 2006. Cal tenir en compte que aquestes dades estan vinculades, eminentment, a entorns interurbans, per la qual cosa representen una aproximació significativa però parcial a l'accidentalitat en rotondes.

2.1. Tipologia, lesivitat i factors concurrents dels accidents en rotonda

Les dades del Servei Català de Trànsit denoten que la tipologia d'accident amb víctimes predominant en rotondes és la col·lisió frontolateral (23%), seguit de la sortida de la calçada sense col·lisió (17%) i de la col·lisió lateral (13%) i per darrere (13%).

Tipus d'accident	Casos	%
Col·lisió de vehicles en marxa: frontolateral	65	23%
Sortida de la calçada dreta sense col·lisió: altres	48	17%
Col·lisió de vehicles en marxa: lateral	36	13%
Col·lisió de vehicles en marxa: per darrere	35	13%
Col·lisió de vehicles en marxa: múltiple o en cua	29	10%
Bolcada a la calçada	25	9%
Altres	40	14%
Total	278	100%

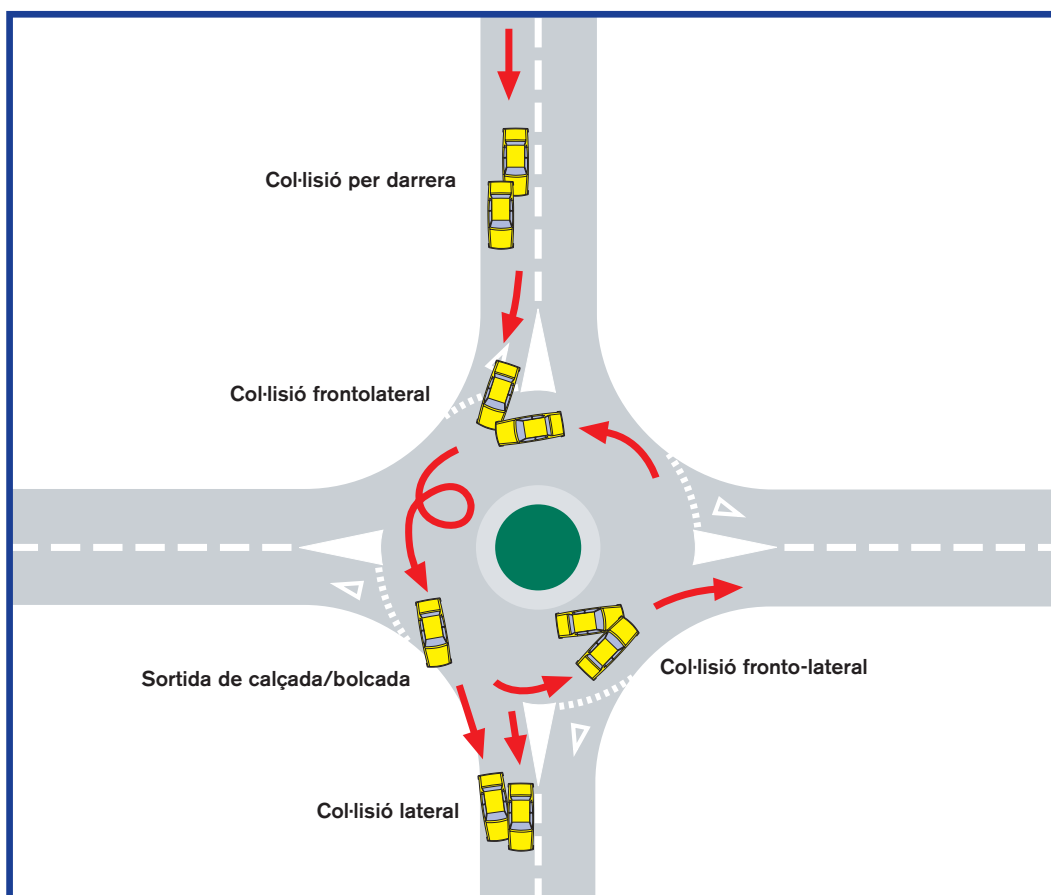
Per nombre de damnificats, la col·lisió de vehicles en marxa frontolateral i la de caràcter múltiple o en cua són les que tenen més incidència.

accidentalitat a les rotondes

Si tenim en compte la gravetat dels accidents, la col·lisió de vehicles en marxa de caràcter múltiple i la categoria "altres", on s'agrupen diferents tipus d'accidents no categoritzats, són sens dubte els que tenen més repercussió, tant pel que fa al nombre de morts com de ferits greus.

Tipus d'accident	Mort	Ferit greu	Ferit lleu	Il·lès	Total
Col·lisió de vehicles en marxa: frontolateral	0	3	77	74	154
Sortida de la calçada dreta sense col·lisió: altres	0	0	3	1	4
Col·lisió de vehicles en marxa: lateral	0	4	46	39	89
Col·lisió de vehicles en marxa: per darrere	0	0	41	43	84
Col·lisió de vehicles en marxa: múltiple o en cua	3	8	37	54	102
Bolcada a la calçada	0	2	25	2	29
Altres	3	16	11	9	39
Distribució total (%)	1,2%	6,6%	47,9%	44,3%	100,0%

D'entrada cal remarcar l'elevat grau de seguretat de les rotondes com a solució d'ordenació de cruïlles. De fet, tan sols l'1,2% del total implicats en accidents en rotondes han resultat morts, i el 6,6%, ferits greus, ràtios baixes en relació amb les dades d'accidentalitat global.



Els accidents de trànsit són el producte de la conjunció de múltiples factors de diferent importància. Al llarg de dècades s'han realitzat nombroses investigacions per veure el pes diferencial que pot tenir en l'accidentalitat cadascun dels grans components del sistema de trànsit. S'hi ha constatat repetidament que, tot i la importància dels errors tècnics del vehicle, dels derivats dels factors atmosfèric i del disseny de les vies públiques, és el denominat *factor humà* el principal factor explicatiu de l'accidentalitat. Així, es fa palès en les dades sobre els accidents en les rotondes catalanes de l'any 2006, on en un 32% dels accidents s'ha produït una infracció d'una norma de circulació, en un 15% una errada del conductor, en un 13% una distracció, en un 10% una velocitat inadequada i en un 8% l'accident ha estat vinculat a altres factors relacionats amb els conductors (consum d'alcohol o drogues, poca experiència...).

Factor concurrent	Casos	%
Infracció d'una norma de circulació	127	32%
Errada del conductor	59	15%
Distracció	52	13%
Velocitat inadequada	39	10%
Estat o condició de la via	19	5%
Alcohol o drogues	15	4%
Un altre factor	12	3%
Malaltia, cansament o son	11	3%
Mal temps	5	1%
Conductor inexpert	3	1%
Sense opinió precisa	52	13%

2.2. Factors de risc i problemes de concepció

La transgressió conscient d'una norma de circulació és difícilment abordable des de la perspectiva del disseny viari, però, tanmateix, existeix un important marge d'intervenció en molts altres factors d'accidents que depenen del conductor. A continuació s'enumeren els factors que repercuteixen més en l'accidentalitat en rotondes i determinats problemes de configuració que hi estan estretament associats.

accidentalitat a les rotondes

Visibilitat i llegibilitat d'aproximació

Un dels factors més influents en l'accidentalitat en rotonda, especialment en l'àmbit interurbà i periurbà, és la visibilitat i llegibilitat en l'aproximació a la rotonda. Per tal que els conductors puguin percebre adequadament la proximitat d'una rotonda, cal advertir-los mitjançant un tractament específic de la zona d'aproximació. Aquest tractament passa per un tractament paisatgístic diferencial, la disposició acurada de la senyalització, dels illots d'entrada i la col·locació, en zones amb il·luminació insuficient, de balises reflectores.

Diferents estudis demostren que l'ús de balises al voltant de l'illot central, en combinació amb el seguiment d'un criteri estàndard d'il·luminació, permeten una important reducció dels accidents de vehicles que envaeixen l'illot central al llarg del dia i de la nit.

Excés de velocitat a l'entrada a la rotonda

Un altre factor de gran rellevància en la causalitat dels accidents en rotondes és la velocitat d'aproximació. Els elements següents contribueixen a l'excés de velocitat:

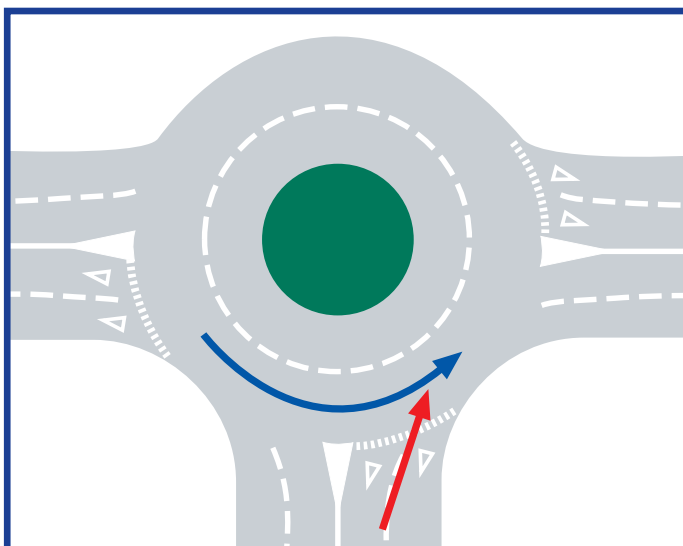
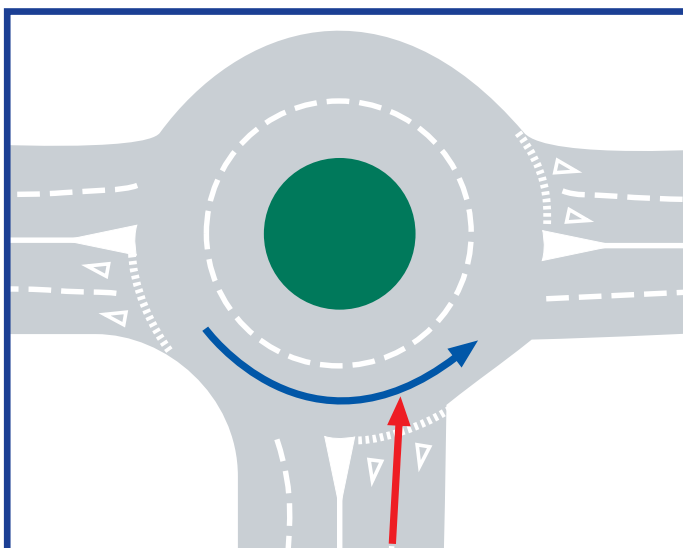
- El ramal d'entrada rectilini.
- El sobredimensionament del/s carril/s d'entrada.
- Una insuficient deflexió a l'entrada a l'anella.
- Els fluxos circulatoris baixos i/o desequilibrats.
- La bona visibilitat a l'esquerra.
- Les dimensions insuficients de l'illot central (per tal que imposi el radi de curvatura a la circulació anular).

No n'hi ha prou de col·locar senyals de trànsit amb la velocitat màxima, sinó que la via, mitjançant el seu disseny, ha de representar un factor limitador de la velocitat. A les entrades calen radis petits, i estrènyer els carrils d'entrada i de sortida. També cal dimensionar el diàmetre de l'illot central per tal que vehiculi de manera adequada la circulació anular, és a dir, que imposi un radi que hi faci disminuir la velocitat.

Infracció de la norma de preferència de pas a l'entrada de la rotonda

Si bé és cert que la infracció de la norma de preferència de pas a l'entrada d'una rotonda és conseqüència del comportament dels conductors, cal apuntar que en particular la geometria de les entrades de les rotondes pot influenciar aquest comportament. En aquest sentit, cal destacar un estudi britànic de mitjans dels anys 80, que va comprovar la correlació entre el radi de curvatura a l'entrada de la rotonda i la concentració de col·lisions a l'entrada. Es va concloure que les rotondes sense deflexió tenien una ràtio 8,5 vegades més grans que les configurades amb deflexió.

A més, cal tenir en compte que la deflexió de la trajectòria a l'entrada redueix la gravetat dels accidents. Això es deu al fet que els punts de conflicte (resultants de la intersecció de la trajectòria de la circulació entrant i la circulació de l'anella) prenen una tangent major, per la qual cosa, en cas de col·lisió, comporten l'afectació tan sols de les parts laterals del vehicle.

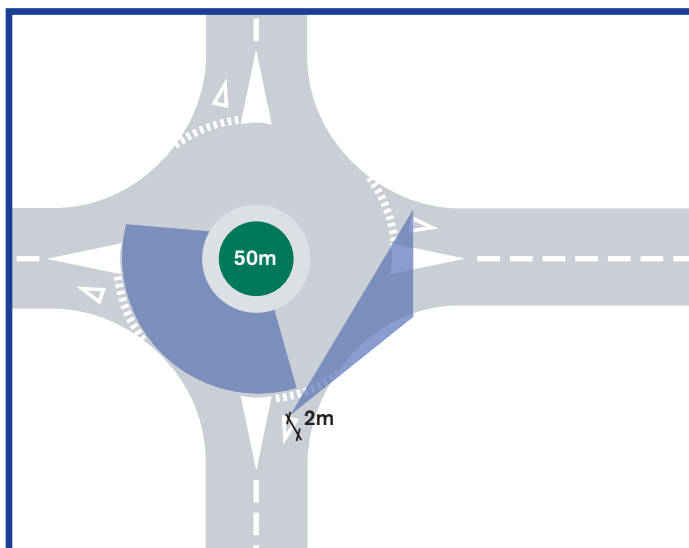
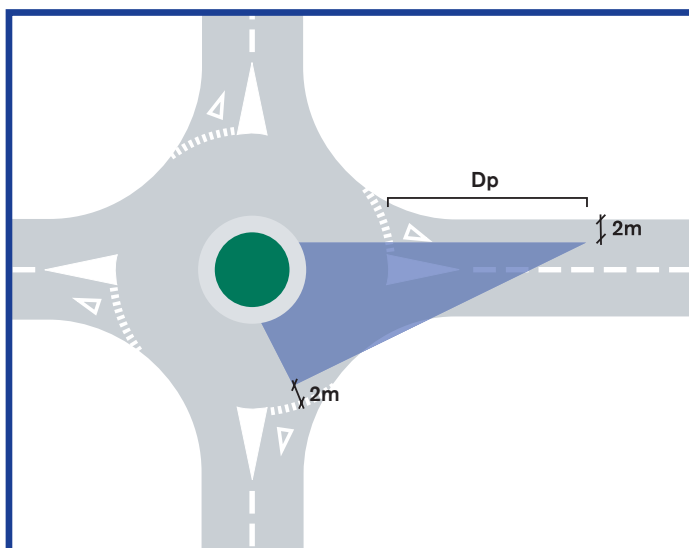


accidentalitat a les rotondes

Visibilitat a l'anella

La lògica de la circulació d'una rotonda es basa en la incorporació dels vehicles entrants en els intervals lliures que es produeixen en el corrent circular. Això determina que la visibilitat sigui un altre dels punts importants a l'hora de dissenyar una intersecció giratòria.

Cal garantir la visibilitat del conductor que circula pel carril entrant per tal que pugui controlar tant la circulació que transcorre per l'anella de la rotonda com la que prové de l'entrada anterior a la seva i perquè pugui incorporar-s'hi de forma segura. Per a una bona visibilitat, és imprescindible que la calçada anular i l'entrada anterior a aquella en què es troba el vehicle entrant siguin visibles en una longitud que garanteixi que no hi hagi risc de col·lisió amb els vehicles que transitin per la calçada anular. A aquest efecte, es recomana que les entrades es dissenyin de manera que permetin una visibilitat mínima de 50 metres cap a l'un costat i l'altre.

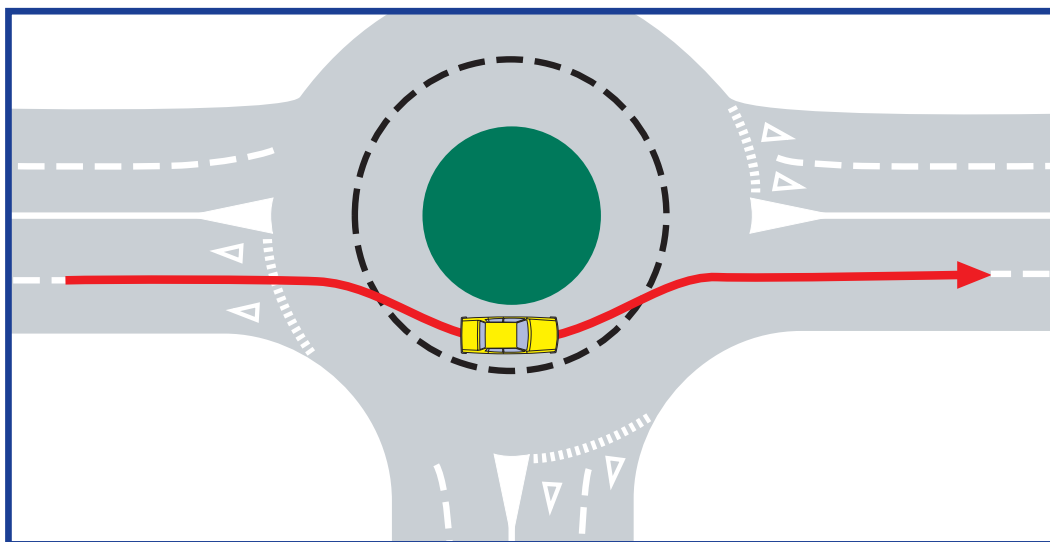


Velocitat a l'anella

El diàmetre de la rotonda és l'element que més condiona el desenvolupament de velocitats a l'anella. En rotondes amb diàmetres grans s'hi recullen velocitats molt més elevades que en rotondes petites. Per tant, cal que el dimensionament de la rotonda en qüestió s'adeqüi a les necessitats de l'entorn on s'ubica.

Per altra banda, els vehicles no segueixen necessàriament l'itinerari indicat per les línies adjacents al carril de circulació. Sovint els conductors alteren aquests itineraris preestablerts amb l'objectiu de traçar el radi més gran possible i així minimitzar la reducció de la velocitat imposada per la mateixa geometria de la rotonda. Un estudi australià mostra que aquest tipus de comportament està estretament relacionat amb els següents factors:

- La ràtio de la velocitat assolible si el conductor talla completament el carril adjacent per ampliar el radi de curvatura o si bé resta en el seu propi carril.
- La presència de línies de separació: si són presents, els conductors tenen una menor tendència a envair el carril adjacent.
- La proporció de vehicles que circulen per l'anella: el percentatge de vehicles que tallen el carril confrontant.



Per això, a les rotondes de més d'un carril, ubicades en zones de caràcter interurbà, s'ha de dimensionar l'illot central de manera que impedeixi que puguin ser travessades de manera longitudinal. A més, s'ha de posar l'accent en l'estat de conservació de les línies de separació dels carrils de la calçada anular.

accidentalitat a les rotondes

Infracció de la norma de prioritat dins de l'anella

La infracció de la norma de prioritat dins de l'anella es sol produir en rotondes de doble carril on conflueixen vies d'un sol carril, quan es realitza la transició d'un tipus de secció a l'altre (o bé a la mateixa sortida de la calçada anular, o bé en el ramal de sortida quan es passa de dos a un sol carril). Cal recordar que la calçada anular es regeix per la mateixa norma general que s'aplica a una calçada convencional, de manera que s'hi ha de circular, sempre que sigui possible, per la dreta. L'ús del carril de l'esquerra resta limitat per als girs a l'esquerra i al canvi de sentit de la marxa.

Per evitar aquestes conductes, tal com s'amplia en el capítol dedicat a les tendències de futur, nombrosos països proposen l'habilitació de fletxes de direcció a l'entrada que limitin l'ús del carril interior en funció de les característiques de la rotonda.



Canvis bruscos de la curvatura

Els canvis bruscos de la curvatura del traçat de la rotonda són un dels factors més determinants en la causalitat de les sortides de la via o de les bolcades. De fet, nombrosos estudis mostren que una doble corba amb un radi inferior a 50 m, no pot ser recorreguda de manera segura per un vehicle articulat a més de 50 km/h. Per tant, cal fer adequar les velocitats de circulació a les característiques de la intersecció giratòria.

Excés de velocitat a la sortida

De la mateixa manera que, en el cas de l'excés de velocitat a l'entrada d'una rotonda, el radi de curvatura respecte a la calçada anular i l'amplada dels carrils són els elements geomètrics que incideixen més en la configuració d'aquest factor.

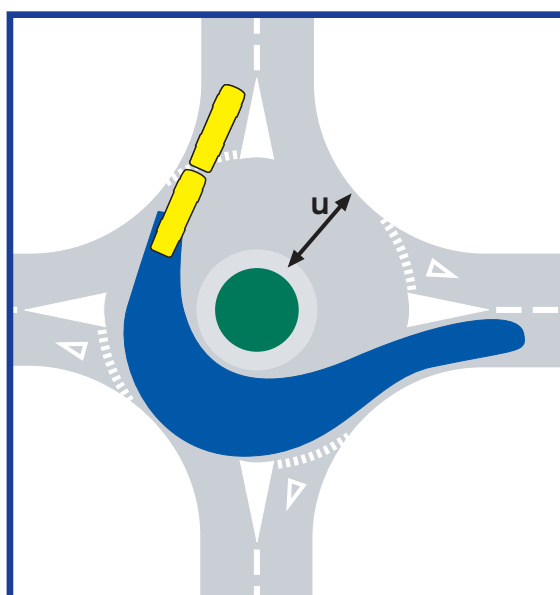
3

Dimensionament de les rotondes

El dimensionament de la rotonda s'ha de realitzar en funció del que es coneix com a *vehicle determinant*, és a dir, el vehicle que, amb una presència significativa en la composició del trànsit del tram, presenta les dimensions més grans. Així, per exemple, si una rotonda es troba ubicada en un polígon industrial, caldrà que sigui dimensionada per donar servei a un vehicle pesant articulat, mentre que en un centre urbà probablement n'hi haurà prou que sigui dimensionada en funció de les característiques de l'autobús o del camió de les escombraries.

Del que s'ha definit com a *vehicle determinant*, se'n té en compte, en primer lloc, el seu Gàlib Lliure d'Obstacles (GLO). Aquest permetrà, entre altres coses, ubicar els senyals a una alçada convenient i dimensionar el perfil de les infraestructures. La taula següent presenta les dimensions del gàlib per tipus de vehicle.

Tipus de vehicle	Gàlib lliure d'obstacles				
	Longitud (m)	Batalla (m)	Vol davanter (m)	Vol posterior (m)	Amplada (m)
Turisme de dimensions mitjanes	4,2	2,7	0,7	0,8	1,7
Turisme de grans dimensions	4,9	2,8	0,8	1,3	1,8
Furgoneta o microbús	7	3,8	1,4	1,8	2,2
Camión rígid de 2 eixos	9	6	1,2	1,8	2,5
Camión rígid de 3 eixos o autobús	12	6	2,4	3,6	2,5
Vehicle pesant articulat (tipus A)	15	-	-	-	2,5
Vehicle pesant articulat (tipus B)	16,5	-	-	-	2,5



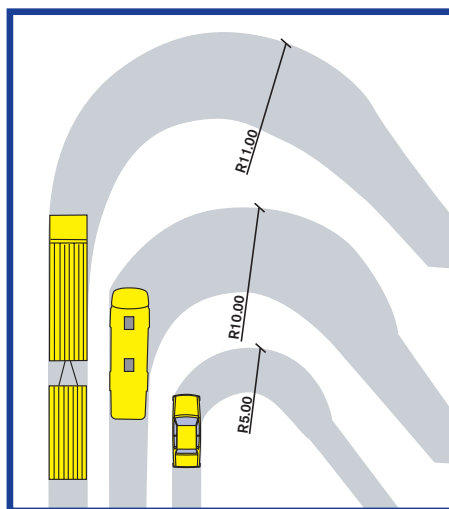
La maniobra d'un vehicle no es determina únicament pel seu radi, ja que les rodes i la carrosseria segueixen trajectòries diferents. A velocitat constant, el conjunt d'aquestes trajectòries o corbes determina un espai que s'anomena superfície d'escombrada, que representa el segon factor a tenir en compte per al dimensionament de la rotonda.

dimensionament de les rotondes

En la següent taula es mostra el radi d'una circumferència mínima on es pugui inscriure la superfície escombrada de cadascun dels vehicles quan efectuen un gir de 180°. Com es fa palès, hi ha diferències molt significatives en l'espai requerit per cada vehicle durant la maniobra de gir.

Tipus de vehicle	Radi necessari
Turisme de dimensions mitjanes	5,0
Turisme de grans dimensions	6,0
Furgoneta o microbús	6,0
Camió rígid de 2 eixos	7,0
Camió rígid de 3 eixos o autobús	10,0
Vehicle pesant articulat (tipus A)	10,5
Vehicle pesant articulat (tipus B)	11,0

Prenent els radis de gir necessaris de cadascun dels vehicles i aplicant-hi un marge de seguretat d'1 metre (0,5 metres respecte a l'illot central i 0,5 respecte a la berma), obtenim el diàmetre mínim de la rotonda en qüestió.



Tipus de vehicle	Radi necessari (m)	Marge de seguretat (m) interior + exterior	Diàmetre exterior mínim (m)
Turisme de dimensions mitjanes	5,5	1	13
Turisme de grans dimensions	6,0	1	14
Furgoneta o microbús	6,0	1	14
Camió rígid de 2 eixos	7,0	1	16
Camió rígid de 3 eixos o autobús	10,0	1	22
Vehicle pesant articulat (tipus A)	10,5	1	23
Vehicle pesant articulat (tipus B)	11,0	1	24

4

Tipologia de les rotondes

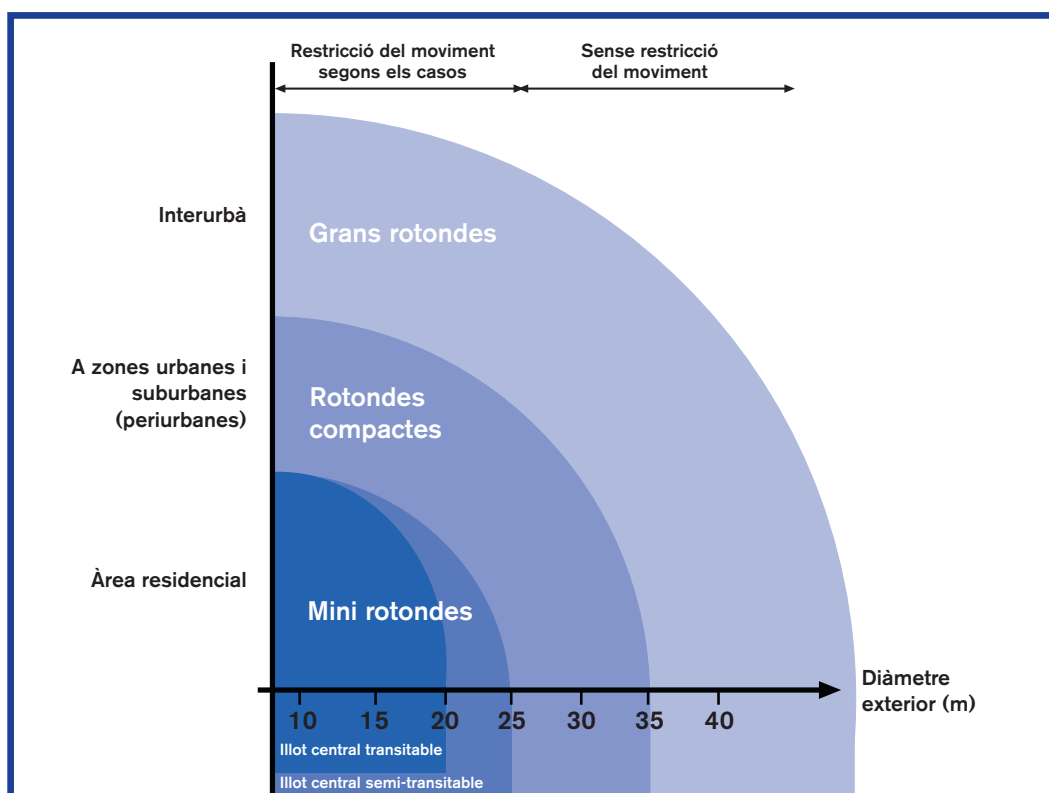
El fet que en l'actualitat aquest tipus d'intersecció s'implanti en entorns ben diferents, com àrees residencials, carreteres o zones periurbanes, denota l'elevat grau d'adaptabilitat de la rotonda. En cadascun d'aquests entorns hi ha necessitats particulars, que fan indispensable que la rotonda sigui concebuda acuradament segons la seva funció.

En zona urbana es recomana reduir els radis de curvatura dels girs al voltant de l'illot central amb l'objectiu de moderar les velocitats dels vehicles. A més, la reducció del radi de l'illot central aporta la possibilitat de circumscriure's dins d'un emplaçament urbà de dimensions limitades i un cost d'implantació netament menor.

Cal tenir en compte que, per facilitar el pas de vehicles pesants, es poden habilitar mesures especials com la construcció d'una banda franquejable al voltant d'un illot de dimensions reduïdes o, directament, que l'illot sigui franquejable del tot.

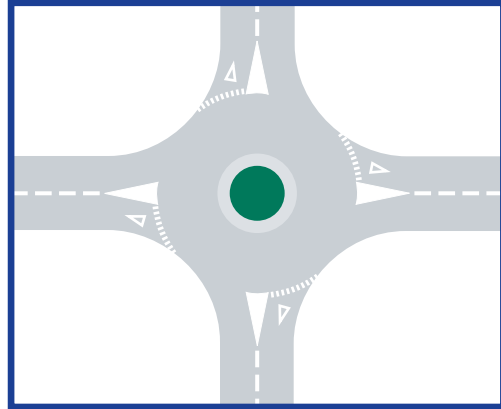
En l'altre extrem, hi ha un seguit de factors determinants que comporten l'elecció d'un illot més gran: un nombre important de braços confluents, una presència important de trànsit rodat en diversos ramals o la complexitat del seu traçat o un trànsit important en diverses de les vies interaccionades.

A continuació es mostra un criteri de classificació de les rotondes, en funció del diàmetre exterior i el tipus d'àmbit a què s'adapta millor.

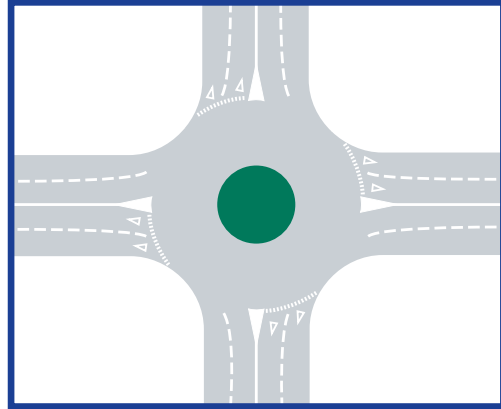


tipologia de les rotondes

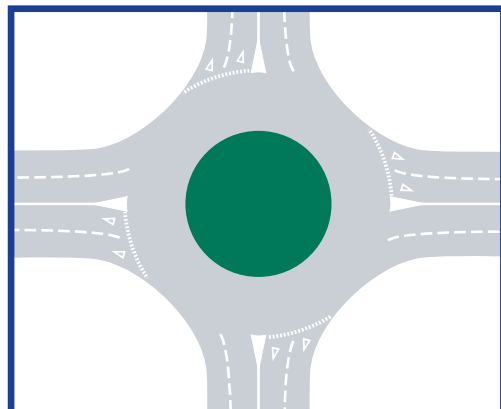
- **La minirotonda amb illot central franquejable o semifranquejable:** amb diàmetres exteriors d'entre 14 i 24 metres és la rotonda de dimensions més petites. Per possibilitar el gir dels vehicles de gran tonatge, l'illot central o bé es construeix per tal que sigui remuntable o bé disposa d'una corona anular trepitjable. Els illots separadors de sentits de circulació dels accessos solen ser també franquejables. Poden proporcionar capacitats importants de trànsit, però exigeixen velocitats molt moderades. Les minirotondes són principalment utilitzades en zones de moderació del trànsit o on el trànsit pesant té poca presència. En general tots els moviments hi són permesos, però en determinats casos es pot optar per prohibir-hi determinats moviments dels vehicles pesants.



- **La rotonda compacta:** resta a un nivell intermedi entre les grans rotondes i les petites i representa el tipus d'intersecció giratòria més emprada en l'àmbit urbà. Poden tenir un o dos carrils dins de l'anella de circulació, que determinen un diàmetre que va dels 24 als 35 m. L'illot central sol estar format per un obstacle infranquejable. Tots els moviments de vehicles lleugers i pesants hi són possibles.



- **La gran rotonda:** es defineix com a tal tota rotonda amb un diàmetre exterior superior als 35 m. Aquest tipus de rotonda presenta el problema d'ocupar una gran superfície i d'induir a velocitats de circulació elevades sense augmentar-ne substancialment la capacitat.



5

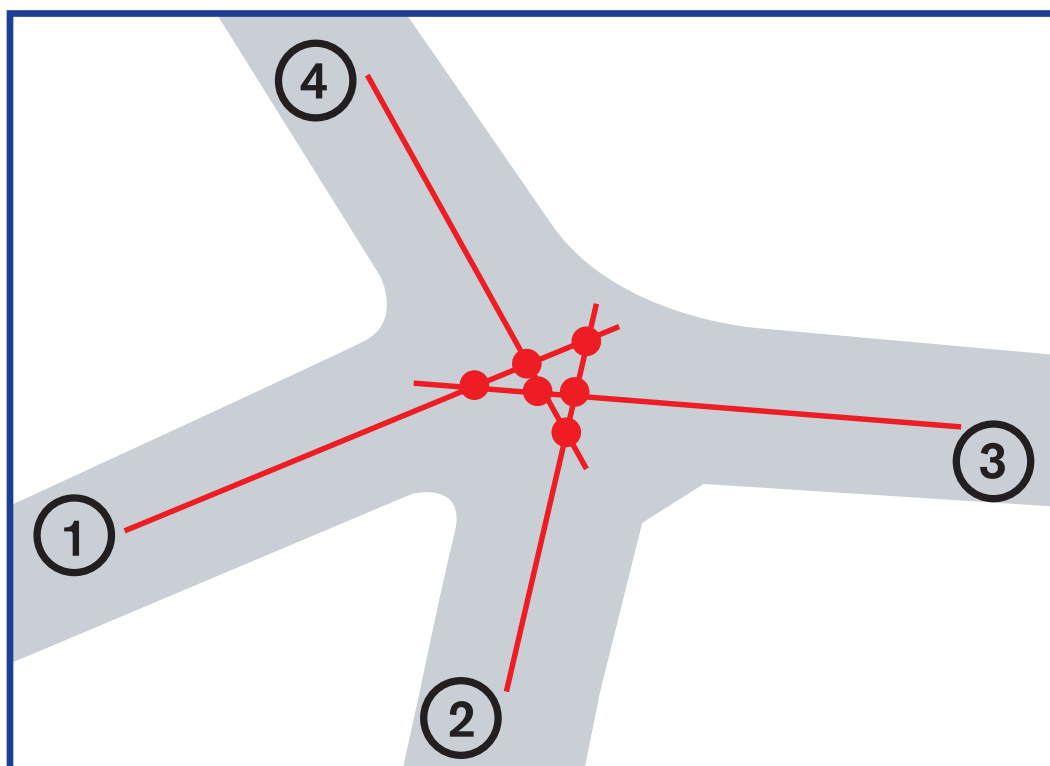
Característiques geomètriques per a la millora de la seguretat de les rotondes

El capítol 2 ha estat una aproximació als factors de risc que configuren l'accidentalitat en rotondes i les possibles concepcions de disseny que l'incrementen. Aquest capítol pretén anar més enllà i aportar un seguit de recomanacions que tenen com a objectiu minimitzar aquests factors de risc. Per sistematitzar la informació aquestes recomanacions, s'han dividit en subapartats relatius a cadascuna de les parts que formen una rotonda.

Illot central

Sempre que sigui possible, es recomana que l'illot tingui forma circular. En casos excepcionals es pot acceptar una forma el·lipsoidal, sempre que aquesta tingui una baixa excentricitat (d'entre 0,75 i 1), ja que una de més alta provocaria unes acceleracions en els trams més rectilinis de la calçada anular.

Preferiblement, el centre de l'illot ha de quedar alineat amb els eixos de les vies confluent.



Com s'ha dit anteriorment la dimensió de l'illot té una gran influència sobre la circulació a la rotonda i, per extensió, en les seves condicions de seguretat. Si es sobredimensiona l'illot, s'amplia el radi de curvatura que condiciona la trajectòria dels vehicles, cosa que es tradueix en un augment de les velocitats (i consegüentment del risc d'accident). A tal efecte, es recomanen radis màxims d'entre 20 i 30 metres en àrees urbanes i màxims de 50 metres en vies interurbanes.

característiques geomètriques per a la millora de la seguretat de les rotondes

Calçada anular

La calçada anular pot tenir un, dos o més carrils de circulació. L'elecció del nombre de carrils generalment s'estableix en funció del següents factors:

- El nombre de carrils dels eixos confluents.
- Les intensitats mitjanes diàries de trànsit dels diferents eixos.
- El vehicle tipus amb la seva corresponent superfície escombrada.

En el cas de calçades anulars d'un sol carril es recomana establir una amplada de 5-6 metres; en el cas de dos carrils es recomanen 8-9 metres, i en el cas de tres, 11-12 metres.

Per altra banda, es recomana que, sempre que sigui possible, la calçada anular presenti un pendent del 2,5% respecte a l'exterior pels següents motius:

- Millorar la percepció de la calçada anular.
- Facilitar la incorporació a l'anella des de les entrades.
- Facilitar el drenatge de la rotonda.

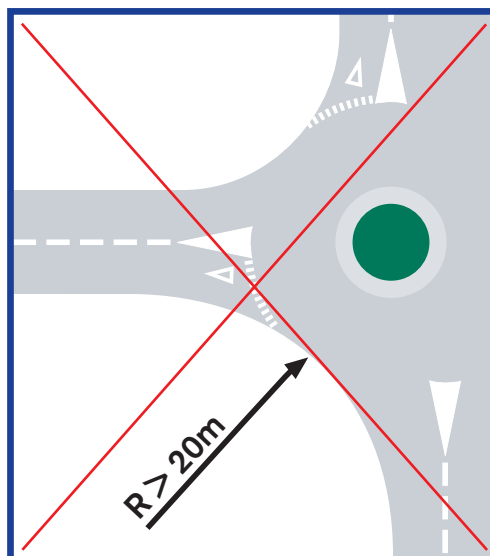
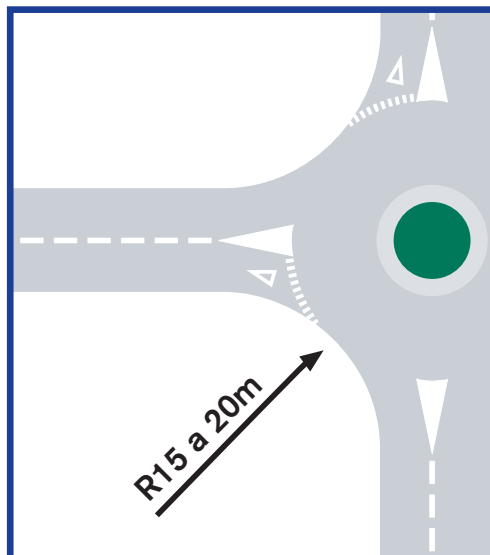
Via d'accés

Es recomana que els carrils de la via d'entrada d'una rotonda tinguin una amplada compresa entre els 3 i 3,5 metres. Es recomana, per garantir la seguretat dels vehicles de dues rodes, de no superar aquesta amplada.

Com s'ha vist, diversos estudis demostren que, quan s'incrementa el radi de curvatura d'una rotonda, es redueix la velocitat relativa entre els vehicles entrants i els vehicles que circulen per l'anella, de la qual cosa resulta una reducció de l'accidentalitat entre tots dos moviments. No obstant això, quan la rotonda té més d'un carril, l'increment del radi de curvatura fa augmentar la fricció entre els fluxos de trànsit adjacents, fet que comporta més invasió de carrils i, per tant, més risc de col·lisió lateral. Per això es recomana un radi d'entrada comprès entre els 15 i els 20 metres. Aquests radis faciliten que els vehicles entrants cedeixin el pas als vehicles que circulen per l'anella. Els radis de 6 a 15 metres són adequats només per a petites rotondes de caràcter urbà i amb poca presència de vehicles pesants.

És convenient evitar que una entrada estigui alineada amb una sortida, amb la finalitat que la trajectòria de l'automòbil sempre estigui influenciada pel radi de curvatura imposat per l'illot central.

Respecte a la distància entre un ramal d'entrada i el següent de sortida, per evitar angles de gir perillosos, es recomana una separació de 20 metres.



Via de sortida

L'amplada de la via de sortida d'una rotonda ha de presentar un mínim de 4 metres. Aquesta amplada està determinada per l'espai escombrat pel vehicle determinant en el seu moviment de sortida.

Es recomana, també, que la sortida es realitzi amb un radi de curvatura comprès entre els 20 i els 30 metres. Aquest radi es pot reduir quan hi hagi la presència d'un pas de vianants al ramal de sortida.

6

Seguretat dels vianants i ciclistes

6.1. Vianants

S'ha de tenir present que, en general, les rotondes resulten un element incòmode per al vianant, ja que, per voltar la seva calçada anular, ha d'allargar sensiblement la longitud del seu recorregut. Essent conscients d'aquesta realitat, cal treballar perquè el disseny de la rotonda s'adeqüi, en la mesura possible, a les característiques de l'entorn i a les necessitats dels vianants. Així, per exemple, les necessitats derivades de la implantació d'una rotonda en un centre urbà molt concorregut mai seran les mateixes que les que es derivin d'una rotonda de caràcter periurbà escassament transitada.

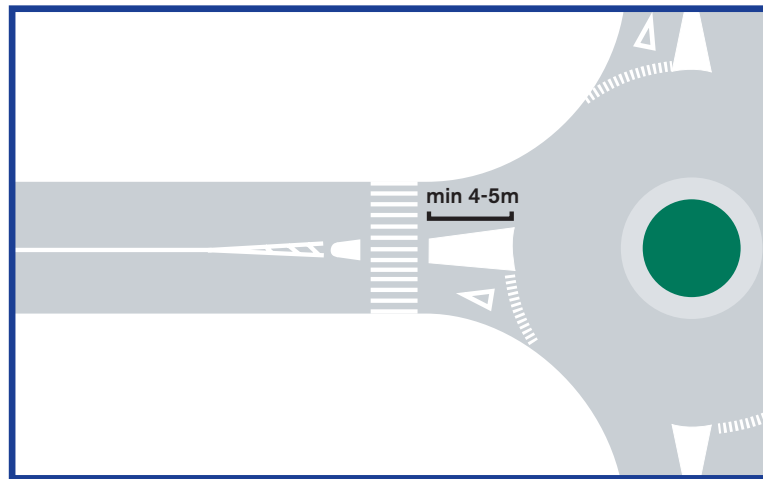
A qualsevol dels possibles escenaris on s'ubiqui una rotonda, cal que el trànsit de vianants sigui vehiculat mitjançant uns itineraris que els portin a creuar la calçada pels llocs predeterminats i de forma segura. En aquest sentit és important establir condicionaments, com un tractament paisatgístic adequat, l'elecció d'una superfície diferenciada de la resta de la vorera o la instal·lació d'una bona il·luminació.

Als punts de creuament de la calçada, s'hi han d'ubicar passos de vianants amb il·luminació nocturna i presenyalització per als automobilistes i disposar d'un refugi a l'illot, almenys d'1,5 metres d'amplada.

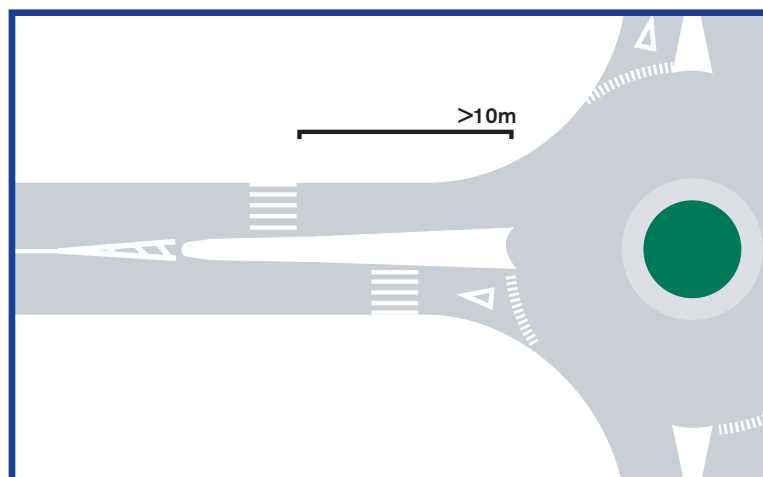
Com a regla general, es recomana que, si no hi ha problemes de capacitat significatius, els ramals d'entrada a les rotondes s'ordenin de manera que la longitud dels passos de vianants sigui la més curta possible. Això es pot aconseguir o bé dissenyant la rotonda perquè funcionin amb un sol carril d'entrada (i anular), o bé, quan hi hagi dos carrils a l'entrada, construint un espigó d'apropament que minimitzi l'espai a recórrer.

seguretat dels vianants i ciclistes

En àmbits urbans es recomana que els passos de vianants es desplacin de 4 a 5 metres respecte de la línia de cedió el pas. D'aquesta manera s'aconsegueix preservar-ne la seguretat i evitar que els vehicles que es parin per cedir el pas als vianants afectin la circulació de l'anella.



En rotondes de caràcter periurbà que alberguin trànsit fort i velocitats elevades s'hi ha de considerar la prolongació del recorregut dels vianants per minimitzar el risc d'atropellament. És important, sobretot, intervenir en les sortides de la rotonda, ja que, a diferència de l'entrada (regulada amb un senyal de "cediu el pas"), aquestes tenen un caràcter "lliure", per la qual cosa pressuposen unes velocitats molt més elevades (que, afegides a l'incompliment de les recomanacions sobre visibilitat d'una bona part de les rotondes, n'elevem extremadament el risc).



6.2. Ciclistes

De la mateixa manera que en el cas dels vianants, les solucions per al trànsit de ciclistes per la rotonda varien en funció de les seves característiques. A grans trets, s'hi poden diferenciar dos tipus de tractament:

- La integració de la bicicleta en calçada.
- La segregació mitjançant carril bici.

Generalment, es recomana que en rotondes que suportin un trànsit moderat la bicicleta comparteixi calçada amb la resta dels vehicles, mentre que es proveeixi la bicicleta d'un carril segregat quan el trànsit sigui important. Un estudi neerlandès del 1992, demostrava que, amb volums baixos de trànsit (inferiors a 6.000 veh./dia per a totes les entrades), no hi havia cap diferència, en termes d'accidentalitat, entre la integració de la bicicleta en el trànsit rodat i la seva segregació.

recomanacions...

...per a la integració de la bicicleta en calçada

Quan la calçada anular és ampla, els vehicles de dues rodes tenen problemes per trobar una trajectòria adequada a l'anella. En el cas de les bicicletes, solen optar per les trajectòries exteriors i entren en conflicte amb els vehicles que entren i surten de l'anella.

Per integrar-hi la bicicleta, és indispensable concebre la rotonda com un element de moderació de la velocitat, amb el seguit de mesures comentades anteriorment. A més, cal aplicar una geometria restrictiva que tingui com a objectiu evitar que les bicicletes puguin ser avançades pels automòbils. Per això es proposa que el carril d'entrada tingui una amplada d'entre 3 i 3,5 metres i que la calçada anular tingui un màxim de 7 metres. El disseny de la rotonda també ha de poder garantir la visibilitat dels vehicles de dues rodes per la qual cosa cal eliminar els elements físics que puguin incidir-hi negativament.

Finalment, cal comentar que la presència dels vehicles de dues rodes ha de ser considerada un factor important a tenir en compte durant la projectació d'una rotonda: si la presència d'aquest tipus de vehicle és important, caldrà qüestionar-se seriosament la idoneïtat del doble carril.

seguretat dels vianants i ciclistes

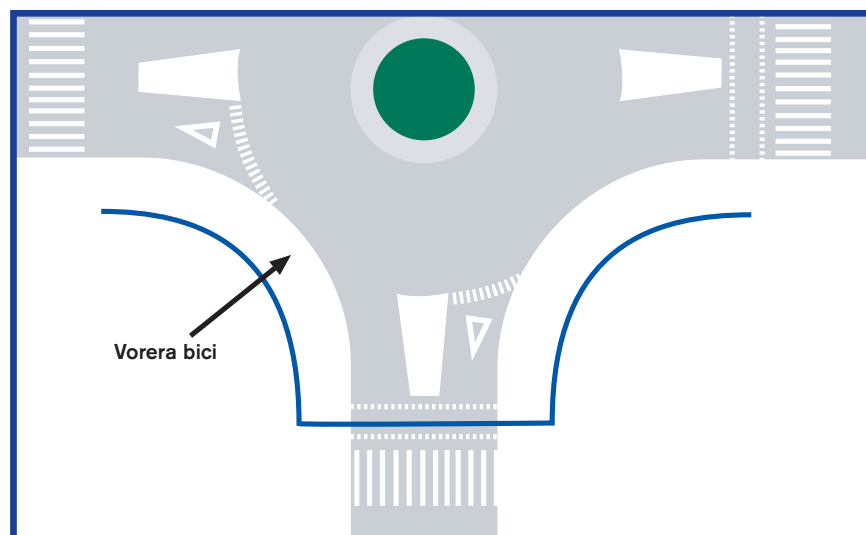
recomanacions...

...per al traçat de carrils bici / voreres bici

Cal disposar d'una anella de 2,5 metres al voltant de la rotonda, amb doble sentit de circulació per als ciclistes, per assegurar la possibilitat de realitzar tots els moviments de forma segregada.

S'han d'habilitar també passos per a les bicicletes de 2 metres d'amplada contigus als passos de vianants. Tal com es mostra en la figura següent, aquests passos han de tenir una lleugera inclinació per millorar la visibilitat tant dels ciclistes com dels conductors d'automòbils.

En rotondes amb més d'un carril de circulació a les seves entrades i sortides, es recomana que el carril bici, en el seu pas als illots separadors, faci un moviment de xicana per forçar els ciclistes a reduir la velocitat i doncs mirar el sentit de circulació que es presta a creuar.



7

Semaforització de rotondes

Tant la regulació semafòrica com la implantació de rotondes són mètodes de gestió de la cruïlla que tenen com a objectiu minimitzar la problemàtica associada a la concentració d'intensitats elevades. Cal remarcar que totes dues representen alternatives entre si, perquè, per regla general, la combinació entre si no reporta cap avantatge significatiu: es regula una cruïlla en fases diferents per segregar els moviments transversals i longitudinals, de manera que l'existència d'un illot central únicament té l'efecte d'augmentar el recorregut tant de vehicles com de vianants.

Tanmateix, i excepcionalment en els casos de rotondes urbanes:

- Amb vials d'accés amb doble sentit i més d'un carril per cada sentit.
- Les situades en llocs d'alta densitat de vianants o prop de centres escolars.

Es recomana la regulació amb semàfors de la prioritat entre vianants i vehicles en els trams de via anteriors a la rotonda, sense que això afecti la prioritat de pas entre els vehicles que accedeixen a l'anella circulatoria i els que hi circulen.

Per regular amb seguretat el moviment dels vianants que creuen els vials d'accés a la rotonda, cal instal·lar els semàfors tenint present:

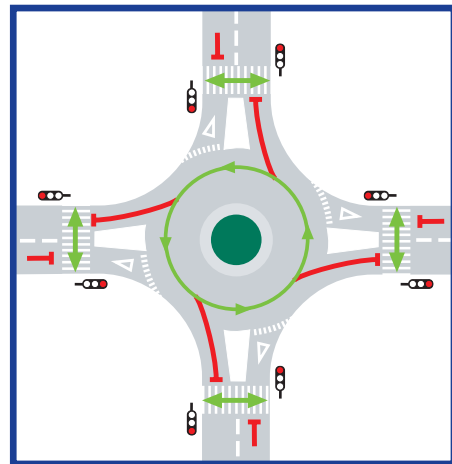
- L'exclusió del color verd en el carril d'entrada per evitar confusions en la prioritat (es jugarà amb dues possibilitats a l'entrada, el vermell o l'àmbar intermitent, i amb els tres colors a la sortida).
- La distància a situar el pas dels vianants (cal que estiguin prou separats de l'anella per permetre un o dos vehicles parats sense que interrompin el pas d'altres que busquen una altra sortida).
- El cicle i les fases semafòriques s'han de adaptar als moviments que hauran de regular.

semaforització de rotondes

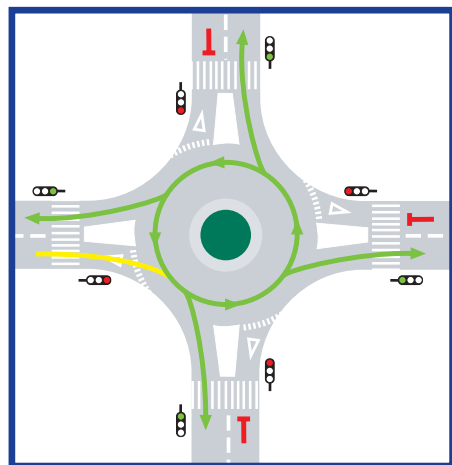
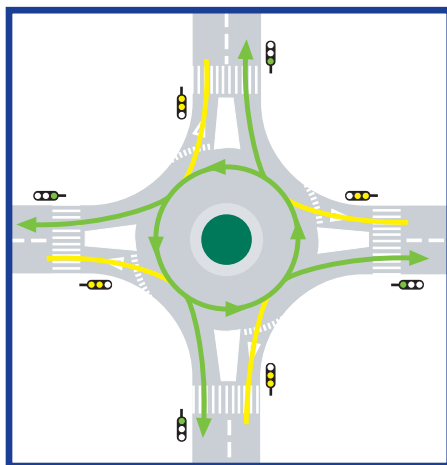
Les fases semafòriques poden ajustar-se amb diferents estratègies reguladores. Les dues més comunes són:

1. Cíclica

- a. Es tanquen simultàniament totes les entrades i sortides de la rotonda i queda a l'interior un grup de vehicles que aniran col·locant-se a la sortida triada mentre creuen els vianants.



- b. A l'obertura s'han d'obrir primer totes les sortides i pot optar-se per obrir totes les entrades conjuntament o obrir-ne primer alguna de forma seqüencial per incrementar la seva capacitat en horari de congestió.



2. Actuada

Es tracta de no fer interrupcions per a vianants si no es produeix una demanda amb polsador (això pot ser útil a zones on el moviment de vianants es concentra en moments concrets: zona industrial, escola), sempre assegurant que, encara que es repeteixi la demanda del polsador, la interrupció següent estarà prou distanciada.

8

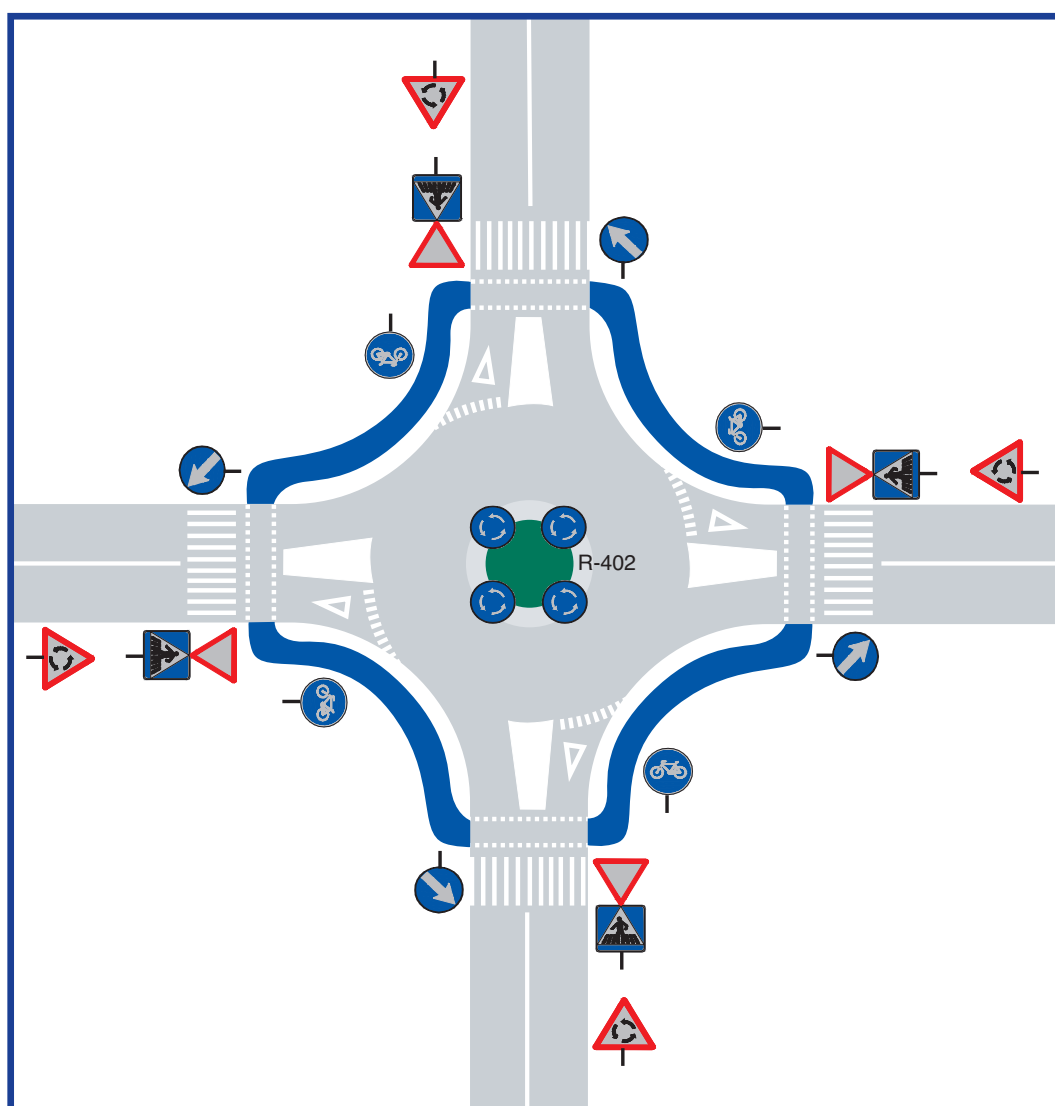
Senyalització

A fi de facilitar una lectura homogènia als conductors, és important uniformitzar la senyalització de les rotondes. Tot seguit es presenten els criteris a seguir per a la senyalització de codi.

8.1. Senyalització vertical

A l'illot central, davant de cada entrada a la rotonda es disposarà un senyal R-402, intersecció de sentit giratori obligatori.

En cada entrada, i just abans de la calçada anular, es disposarà un senyal R-1 cedi el pas.



A les aproximacions a les rotondes es disposarà un senyal P-4 intersecció amb circulació giratòria. S'escollirà la posició de manera que s'obtingui un temps amb visibilitat suficient (superior a la distància de parada a la velocitat específica de recorregut) i alhora sigui prou separada de les altres posicions de senyals verticals.

Sempre que existeixi un pas de vianants s'indicarà mitjançant un senyal S-13 situació de pas de vianants entre 0,5 i 1 m, abans de la corresponent marca viària. Si aquest senyal no resulta visible des d'una distància equivalent a la distància de parada, es disposarà un senyal de preavís P-20 pas de vianants en una posició longitudinal tal que resulti visible des d'una distància a la marca viària equivalent a la distància de parada.

Si s'implanta un pas de ciclistes en una rotonda fora de poblat mitjançant la corresponent marca viària, aquest pas s'indicarà amb un senyal P-22 ciclistes, de manera que el senyal resulti visible des d'una distància equivalent a la distància de parada.

8.2. Marques viàries

A la calçada anular es disposaran línies contínues de límit de calçada, excepte a la part de la vora exterior corresponent a les entrades i sortides.

A les entrades i sortides es disposaran els límits de calçada, iniciant-los o finalitzant-los a l'alçada del cor de calçades de l'illot deflector.

Tant a la calçada anular com a les entrades i sortides, amb més d'un carril es disposaran línies de separació dels carrils.

A les entrades, es disposarà la marca transversal de cedi el pas M-4.2 a l'alçada del cor de calçada. El seu traçat seguirà la vora exterior de la calçada anular, excepte quan hi hagi una sortida just després de l'entrada, cas en què seguirà la vora de la calçada de sortida.

9

Tendències de futur per millorar la seguretat de les rotondes

En alguns països s'ha optat, a fi que els conductors utilitzin correctament els carrils de la rotonda, per unes línies divisòries formades per elements lleugerament realçats, per canalitzar els diferents moviments.

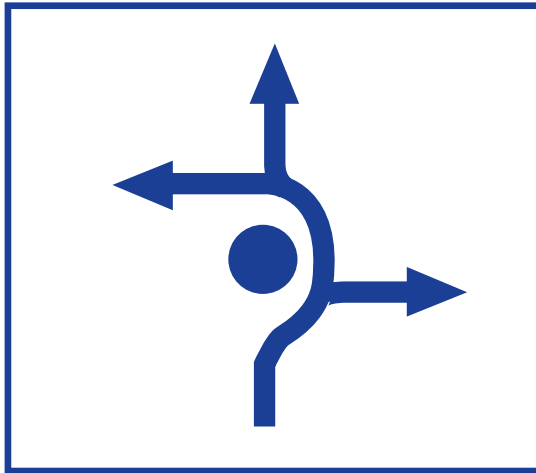


En rotondes de més d'un carril es marquen les entrades amb fletxes de direcció, de manera que s'evitin males interpretacions de la preferència dins de la calçada anular. Així, en rotondes amb dos carrils a l'entrada i a la calçada anular i un sol carril de sortida, s'obliga el conductor a realitzar el canvi de direcció i s'evita que es generi un conflicte amb el trànsit del carril exterior.

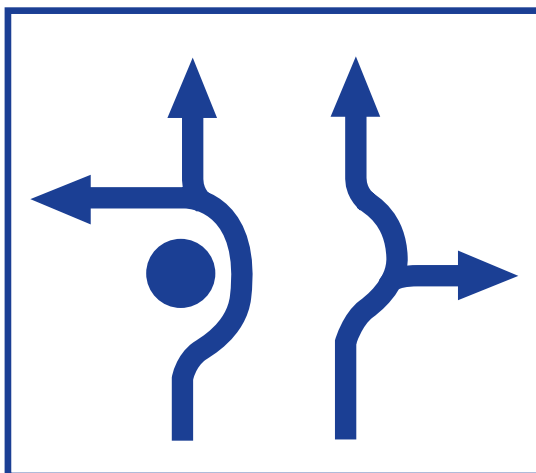


Tal com es mostra en la figura següent, aquestes fletxes de direcció presenten una geometria específica per fer palès que l'entrada a la rotonda es realitza per la dreta i l'obligatorietat de la direcció entra en aplicació un cop superat l'illot central.

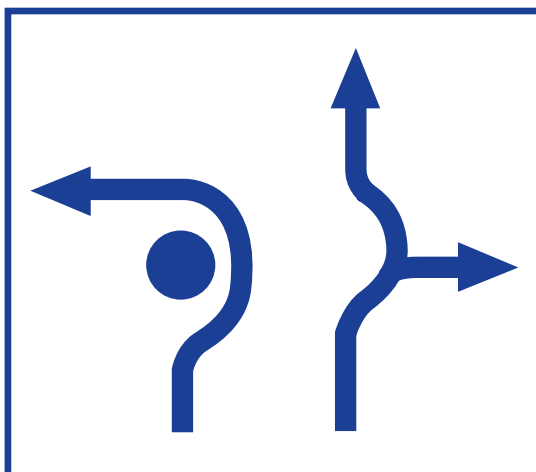
tendències de futur per millorar la seguretat de les rotondes



Rotonda amb un sol carril d'entrada i un sol carril de sortida



Rotonda amb dos carrils d'entrada i dos carrils de sortida



Rotonda amb dos carrils d'entrada i un sol carril de sortida

10

conclusions i recomanacions finals

Conclusions i recomanacions finals

La rotonda és una mesura de moderació del trànsit que impedeix velocitats elevades, redueix el nombre de punts de conflicte, disminueix les diferències de velocitat i els efectes negatius derivats de les intensitats elevades de trànsit i dels canvis de direcció. El seu bon nom es deu, eminentment, a la seva eficàcia per reduir els accidents i al fet que proporciona una capacitat de circulació més important que una intersecció senzilla. No obstant això, per tal que aquests efectes beneficiosos puguin ser possibles, cal un disseny acurat de la seva geometria.

En primer lloc, cal un tractament de l'entorn que permeti que les rotondes disposin de les mateixes condicions de llegibilitat que les d'altres tipus d'interseccions: durant l'aproximació, la rotonda ha de ser ben visible i identificable com a tal, i, a més, ha de facilitar l'orientació dels usuaris. Així, tant la senyalització de l'entorn com l'enllumenat s'ha de concebre de manera òptima. En aquest sentit, la disposició de fletxes de direcció específiques en l'entrada de rotondes poden esdevenir una solució molt interessant. Aquesta mesura pot reduir la conflictivitat dels moviments dins de l'anella, especialment en el cas de rotondes multicarril amb dos carrils a l'entrada i un sol carril de sortida.

La rotonda ha de representar, per si mateixa, un factor limitador de la velocitat, ja que els vehicles han d'adequar-hi la seva velocitat. A tal efecte, una deflexió suficient de tots els accessos ha de ser el primer element per reduir les velocitats. Cal tenir en compte que les recomanacions del radi de curvatura a l'entrada estan associades a una contraposició: per un costat, un radi massa gran comporta excessos de velocitat en l'entrada, per l'altre, un radi massa petit contribueix a les sortides de via si les velocitats d'apropament són massa elevades. Per això es recomana considerar radis d'entrada d'entre 15 i 20 m i, alhora, procurar que les rotondes no tinguin cap canvi sobtat en la geometria per on transcorre l'itinerari. Un altre element important per a la reducció de velocitat és el dimensionament dels carrils d'entrada i sortida. A aquest efecte es recomana que els d'entrada tinguin una amplada de 3 a 3,5 m mentre que els de sortida n'han de tenir un mínim de 4.

També és important que el dimensionament de l'illot central trenqui la continuïtat de la trajectòria per tal que els vehicles entrants minorin la seva velocitat. No obstant això, és recomanable que no es sobrepassin els 30 m en àrees urbanes, i els 50 m, en interurbanes, ja que a partir d'aquests diàmetres s'incrementen de forma significativa les velocitats dins de l'anella i, consegüentment, augmenta el percentatge d'incompliment de la velocitat específica.

S'ha de tenir en compte que les rotondes, a més de ser utilitzades pel trànsit motoritzat, alberguen el trànsit de vianants i bicicletes. Per això cal considerar un seguit de mesures orientades a preservar la seva seguretat. Sempre que sigui possible, i especialment en zona urbana es recomana que les rotondes siguin d'un sol carril per minimitzar l'efecte del trànsit motoritzat sobre el de vianants i bicicletes. Com a regla general, els passos de vianants han de situar-se amb una separació de 5 metres respecte a les sortides i s'hi ha de proporcionar refugis. En rotondes amb intensitats elevades de vehicles la disposició per als ciclistes s'ha de realitzar mitjançant un carril bici al voltant de l'anella, però separat físicament. Finalment, la regulació semafòrica amb polsador és adequada en indrets amb presència significativa de vianants on es recullen velocitats i/o volums de circulació molt elevats.

millora de la seguretat de les rotondes

Entitat col·laboradora: Formaplan, S.L

D.L.: B-18518-2008

Disseny i producció: Súbito & Cia, S.C.P.

Impressió: Gràfiques Contraste, S.L.

dossiers tècnics de seguretat viària

1. Moderació de la circulació a l'àmbit urbà
2. Carrers per viure
3. Les travesseres
4. Les rotondes
5. Els vianants: el problema
6. Els vianants: la solució
7. Els ciclistes
8. L'enllumenat públic
9. Les persones amb mobilitat reduïda
10. Elements reductors de velocitat
11. Parcs infantils de trànsit
12. Itineraris segurs per a escolars
13. Propostes per a la mobilitat segura en el lleure
14. Indisciplina viària i accidentalitat en els carrers: els vianants
15. Indisciplina viària i accidentalitat en els carrers: els conductors
16. La bicicleta: un vehicle segur?
17. La bicicleta en l'entorn urbà
18. La gent gran: vianants i mobilitat urbana segura

