

ANÁLISIS DE LA ACCIDENTALIDAD EN LAS INTERSECCIONES DE LA RED DE CARRETERAS DEL ESTADO EN GALICIA

Ignacio Pérez Pérez; perez@iccp.udc.es
Universidade da Coruña. Escola Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes
15071 A Coruña, España

Santiago López Fontán
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

PALABRAS CLAVE

Accidentes de circulación vial, intersecciones, glorietas, seguridad vial.

1. INTRODUCCIÓN

Como es de todos sabido, desde la perspectiva del control y regulación del tráfico, las intersecciones son emplazamientos que presentan una gran complejidad, no habiendo otras localizaciones que tengan un número de conflictos tan elevado. Esto es así porque, en una intersección hay flujos vehiculares que, procedentes de los diferentes accesos a la misma, realizan una serie de movimientos de giro a la izquierda, de giro a la derecha y de paso recto a través de la intersección. De tal manera que, estos movimientos, requieren ocupar el mismo espacio físico; es decir, la intersección. Además de dichos flujos vehiculares, también existen los flujos peatonales; o sea, los individuos, de igual forma, necesitan tener un espacio físico para cruzar la carretera o la calle, complicando la regulación del tránsito.

Por otra parte, diversos estudios han arrojado resultados en los que se verificaba que, desde un punto de la seguridad de la circulación vial, las **intersecciones giratorias** o **glorietas** son las intersecciones que manifiestan un mejor comportamiento. Concretamente, estos estudios muestran que después de su construcción los accidentes de circulación vial se reducen entre un 40 y un 70% (Comunidad de Madrid, 1995a). De acuerdo con los expertos, lo dicho anteriormente se debe a que existe una fuerte relación entre la tipología de las intersecciones y los accidentes de circulación vial. En este sentido, diversos investigadores afirman que si se compararan las intersecciones en **T** (o en **Y**), con las intersecciones en **X** (o en **+**) y, por último, con las intersecciones giratorias, resulta que estas últimas son las más seguras, seguidas de las intersecciones en **T** (o en **Y**), quedando las intersecciones en **X** (o en **+**) como las más inseguras. Según estos investigadores, probablemente, esto se deba a que, el número de puntos de conflicto, del flujo vehicular y

peatonal, que se producen en las intersecciones guarda una relación estrecha con la accidentalidad de las mismas (Ogden, 1997). En este sentido, tal y como se observa en la figura n 1, en las intersecciones en **X** (o en **+**) el número de puntos de conflicto vehicular es igual a 24, mientras que en las intersecciones en **T** es igual a 6 y, por último, en las giratorias el número de puntos de conflicto es solamente 4. Por consiguiente, parece admisible que cuanto mayor sea el número de puntos de conflicto por intersección, mayor será la probabilidad de que se produzcan accidentes de circulación vial. Especialmente, aquéllos en los que están involucrados los diferentes tipos de conflictos ocasionados entre los vehículos que hacen los distintos movimientos (giros a la izquierda, movimiento de paso de frente, etc.).

Por otra parte, diversas fuentes afirman que si bien (debido al hecho de tener un menor número de puntos de conflicto vehiculares) las intersecciones giratorias son más seguras, en éstas predominan los accidentes donde los conductores pierden, de forma aislada, en las aproximaciones de la intersección, el control de vehículo, produciéndose mayoritariamente una salida de la calzada. Algunos autores dicen que esta pérdida del control del vehículo, por parte del conductor, se debe fundamentalmente *al “factor sorpresa”* que constituye la ejecución de una nueva intersección giratoria. En esta circunstancia, el conductor alcanza la intersección giratoria a una velocidad inadecuada y, por lo tanto, se da lugar a que se origine un accidente por invasión de la isleta central (Comunidad de Madrid, 1995; Comunidad de Madrid, 1995b).

Por último, la reducción en el número de accidentes de circulación vial que experimenta una intersección después de la ejecución de una glorieta no se puede imputar solamente a la eliminación de los puntos de conflicto vehiculares. En este sentido, hay que tener en cuenta que existen otros factores que influyen en esta mejora de la seguridad vial tales como: la reducción de la velocidad que acompaña a su funcionamiento; la desaparición de ángulos próximos al recto entre los movimientos del tráfico; sencillez de funcionamiento; etc. (Comunidad de Madrid, 1995).

A raíz de lo expuesto anteriormente, parece lógica y plausible la existencia de una interdependencia entre la configuración de la intersección y la tipología de los accidentes. Es por ello que, en esta comunicación, con el fin de demostrar estadísticamente esta interdependencia, se plantea realizar un análisis riguroso sobre la base de comparaciones y contrastes de tipo estadístico.

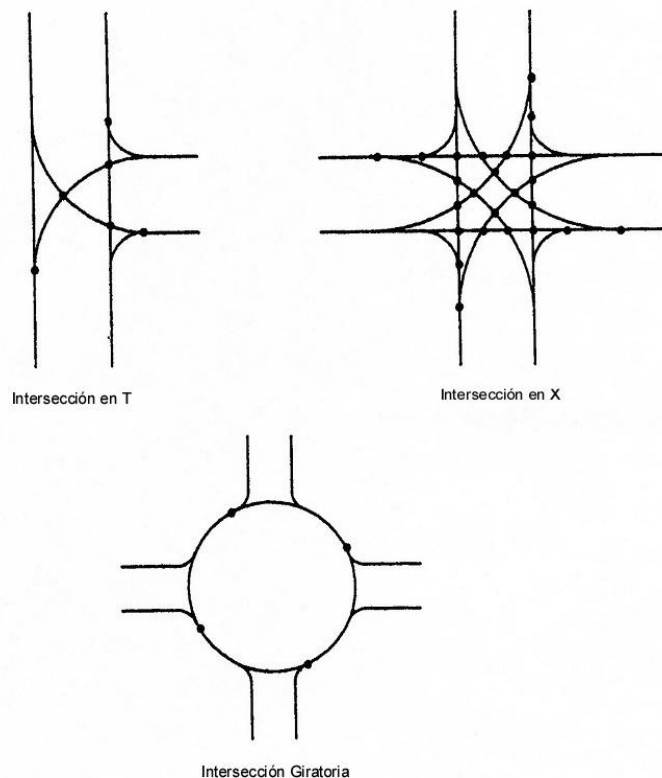


Figura 1. Puntos de conflicto en las intersecciones (fuente: Ogden, 1997)

2. ESQUEMA DEL ANÁLISIS

Con el objeto de investigar las aseveraciones manifestadas en los párrafos anteriores se obtuvieron todos los accidentes con víctimas registrados en la red de carreteras de interés general del estado (**RIGE**) en la Comunidad Autónoma de Galicia, entre los años 1992 y 1996. Esta información se obtuvo de los “**partes de accidentes**” cumplimentados por la agrupación de tráfico de la Guardia Civil. Como es sabido, entre las diversas casillas existentes en dichos partes aparecen las que permiten registrar los accidentes (según tipologías) acaecidos en las distintas configuraciones de intersección. Partiendo de esta información se confeccionó una base de datos “**ad hoc**” que permitió extraer de una manera rápida y sencilla la información de la accidentalidad. De tal manera que, en cada uno de estos años, se extrajeron los accidentes con víctimas registrados en las intersecciones en **X** (o en cruz), en las intersecciones en **T** (o en Y) y, también, en las giratorias. Posteriormente, se subdividió el número total de accidentes registrado en cada tipo de intersección según las

modalidades siguientes: colisión en marcha (**CM**), salida de calzada (**SC**), atropello (**A**) y otros. Toda estos datos correspondían a intersecciones situadas en carreteras en campo abierto.

Tal y como se observa en la tabla 1 el número de accidentes acaecidos en las intersecciones en **T** arrojó una cifra de 2686; siendo este número muy superior al registrado en las intersecciones en **X** (512 accidentes) y, a su vez, éste es mucho mayor que el registrado en las intersecciones giratorias (74 accidentes). Lógicamente, estas cantidades totales no demuestran las aseveraciones anteriores, ya que como es de suponer el número de intersecciones en **T** es mucho más elevado que el número de intersecciones en **X**, siendo, a su vez, por tradición constructiva el número de glorietas ejecutadas en la **RIGE** de Galicia muy inferior al número total de cada una de las otras tipologías. Por otro lado, si se supiera el número total de cada uno de los tipos de intersecciones existentes en la red de carreteras del estado en Galicia, se podría estimar el número promedio de accidentes en cada clase de intersección, con lo cual se obtendría un estimador de la seguridad de la circulación vial para cada tipo de intersección. Lamentablemente, en estos momentos, los autores de esta comunicación no disponen de una base de datos fiable que permita extraer información sobre las características (geométricas, físicas, de regulación del tráfico, etc.) de las intersecciones de la Comunidad Autónoma de Galicia, por lo que desconocen este número de intersecciones. Del mismo modo, tampoco se dispone de información fidedigna sobre las intensidades de tráfico en las carreteras que acceden a las intersecciones, lo cual de ningún modo permite obtener índices de peligrosidad promedio según los tres tipos de intersecciones.

Configuración	Tipología de accidente				TOTAL
	CM	SC	A	Otros	
T o Y	2130	316	114	126	2686
X o +	426	30	42	14	512
Glorieta	44	24	3	3	74
TOTAL	2600	370	159	143	3272

Tabla 1. Número de accidentes según tipos de intersecciones

Todas estas limitaciones hicieron que, para intentar demostrar la existencia de una cierta relación entre estos tipos de accidentes y las tres clases de intersecciones, se recurriera al recurso de calcular las distintas proporciones de cada uno de estos tipos de accidentes—**CM**, **SC** y **A**— según las tres clases de intersecciones (**T**, **X** y **glorieta**). En este

orden de ideas, como se observa en la tabla 2, en las intersecciones giratorias la proporción de accidentes donde hay involucradas colisiones entre los vehículos en marcha es igual a 0,59. Esta cifra es muy inferior a la proporción de 0,83 que figura en las intersecciones en **X** y a la proporción de 0,79 en las intersecciones en **T**. En un principio, a primera vista, estas proporciones sugieren que en las glorietas existen unas mejores condiciones de seguridad para aquellas maniobras vehiculares que involucran tanto movimientos de giro (giro a la izquierda, giro a la derecha) como movimientos de paso de frente (recto) a través de la glorieta.

Configuración	Proporción de accidentes				
	CM	SC	A	Otros	TOTAL
T o Y	0,79	0,12	0,04	0,05	1,00
X o +	0,83	0,06	0,08	0,03	1,00
Glorieta	0,59	0,32	0,04	0,04	1,00
Total	0,79	0,11	0,05	0,04	1,00

Tabla 2. Proporción de accidentes según tipos de intersecciones.

Por otra parte, en lo que respecta a los accidentes con salida de calzada, la proporción de los mismos en las glorietas es igual a 0,32; siendo esta proporción más elevada que la de los otros dos tipos de intersecciones (0,12 en las intersecciones en **T** y 0,06 en las intersecciones en **X**). Lo cual sugiere que para esta tipología de accidentes las glorietas resultan más desfavorables desde el punto de vista de la seguridad vial. Sin embargo, resulta digno de mención el hecho de que, dentro de cada uno de los tres tipos de intersección, la proporción de accidentes con salida de calzada es mucho más reducida que la proporción de accidentes con colisiones entre los vehículos.

En cuanto a la proporción de accidentes con atropello de peatón, las proporciones son muy similares en las tres categorías: 0,05 en las intersecciones en **T**; 0,03 en las intersecciones en **X** y 0,04 en las glorietas. Aún cuando en las intersecciones en **T** la proporción de accidentes con atropellos a peatones es mayor que la proporción en las otras dos categorías; estas cifras tan pequeñas e igualadas no apuntan a que, para los accidentes con atropellos de peatones, el comportamiento de las intersecciones en **T** sea peor que el de las demás desde un punto de vista de seguridad vial.

Por último, cabe decir que, los tipos de accidentes incluidos en la columna “**otros**” de la tabla 2 incluyen aquéllos acaecidos en estos tipos de intersecciones pero que, sin

embargo, no se pueden incluir dentro de las tipologías de accidentes de las otras columnas de la tabla, como, por ejemplo: colisión de vehículo-obstáculo; etc.

No obstante, al ser los accidentes sucesos estocásticos, poco frecuentes y raros, se deben tratar como no deterministas y, por lo tanto, el aseverar un determinado enunciado, en este caso la reducción o aumento del número o la proporción de los accidentes de un determinado tipo dependiendo de la configuración de la intersección, pasa por el correspondiente contraste de hipótesis.

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

3.1. Aspectos previos

Para un primer estudio de la dependencia de la intersección sobre la accidentalidad se clasifican los accidentes disponibles según dos criterios diferenciados, por una parte, según la configuración de la intersección y, por otra, según el tipo de accidente. Para ello, se toman los datos que figuran contabilizados en la tabla 1. A continuación, se comprueba si existe interdependencia entre los criterios de clasificación. Este análisis al incluir dos clasificaciones distintas, se denomina estadísticamente como "**análisis de dos factores, bifactorial, o sobre tablas de contingencia**".

Seguidamente el análisis se puede repetir para cada uno de los tipos de accidentes por separado. Para ello, se contabiliza el número de accidentes que corresponden a cada configuración. La dependencia del número de accidentes con la configuración se comprueba con un análisis denominado de "**un factor, ó unifactorial**" dado que sólo interviene un único criterio de clasificación, el de la configuración de la intersección.

Los procedimientos seguidos para la realización de estos contrastes se pueden consultar en cualquier tratado de estadística (Mendenhall *et al*, 1997). En todos se suponen una serie de hipótesis de partida, como por ejemplo la falta de interdependencia de cada uno de los experimentos que forman el muestreo.

3.2 Contraste *bifactorial* o de contingencia

El objetivo es probar la hipótesis nula de que el tipo de accidente es independiente de la configuración de la intersección, frente a la alternativa de que el tipo de accidente es dependiente de la configuración. Es decir, se quiere probar que la clasificación según las columnas de la tabla 1 es independiente de la clasificación por filas de dicha tabla.

En la tabla 3 se pueden consultar la interdependencia y las tendencias del contraste. Como se observa en dicha tabla, los resultados reafirman la existencia de una interdependencia entre la configuración de la intersección y el tipo de accidente. El test es concluyente al deducirse la interrelación con un nivel “**p**” del contraste muy bajo $p= 0,001$. Por consiguiente, incluso hasta con niveles de confianza del 99,90% se aceptaría la hipótesis de que ambos criterios de clasificación están relacionados. Así, para cualquier valor de α mayor o igual que 0,001, los datos de la tabla 1 presentan evidencia suficiente para indicar que las proporciones de los varios tipos de accidentes (**CM**, **SC**, etc.) varían de acuerdo al tipo de intersección (**T**, **X** y **Glorieta**).

i) Número de accidentes					
Config.\Tipo Acc.	CM	SC	A	Otros	TOTAL
T o Y	2130	316	114	126	2686
X o +	426	30	42	14	512
Glorieta	44	24	3	3	74
ii) Diferencias relativas al cuadrado respecto a la independencia					
T o Y	0,009	0,495	2,092	0,632	
X o +	0,902	13,4421	11,780	3,136	
Glorieta	3,726	29,202	0,099	0,017	
Total	4,637	43,139	13,971	3,784	
iii) Tendencias de la accidentalidad de cada caso					
T o Y	-	+	-	+	
X o +	+	-	+	-	
Glorieta	-	+	-	-	
iv) Resultados de la Prueba <i>Chi-Cuadrado</i>					
Test				65,5307	
Valor límite (1- $\alpha=0,95$)				15,5073	
Nivel p				0,001	

Tabla 3. Análisis bifactorial con dos criterios de clasificación.

3.3 Contrastes *unifactoriales*

Como se ha mencionado anteriormente, en este apartado, con el fin de estudiar, por separado, la dependencia de la proporción de cada tipo de accidentes (**CM**, **SC** y **A**) con la tipología de la intersección se realiza, en cada caso, un análisis *unifactorial*.

En primer lugar, tal y como se observa en la tabla 4, en el caso de los accidentes con colisión en marcha (**CM**), con un nivel de confianza del 90%, se puede afirmar que la proporción de este tipo de accidentes tiene una clara dependencia del tipo de configuración de la intersección. Además, se observa un valor de **p** bastante bajo, en concreto $p=0,05$. De

tal forma que para cualquier valor de menor o igual a 0,05 los datos de la tabla 4 muestran la evidencia de que existe una interdependencia entre los accidentes con colisiones en marcha y el tipo intersección.

En segundo lugar, en lo que respecta a los accidentes con salida de calzada (**SC**), se puede observar en la tabla 5 que, en esta ocasión, con un nivel de confianza del 95%, el valor crítico **Chi-cuadrado** es igual a 5,991; siendo este valor muy inferior al valor del estadístico de la prueba. De esta manera, puede aseverarse que la relación entre el tipo de intersección y la proporción de esta tipología de accidentes es todavía más significativa, habiendo una dependencia muy clara entre ambos.

Por último, en la tabla 6, se observa que, nuevamente, el nivel **p** da un resultado muy bajo. Por lo que se considera que, también, en esta oportunidad la interdependencia entre el porcentaje de accidentes con peatones y el tipo de intersección está claramente demostrada.

Diferencias relativas al cuadrado del nº de accidentes respecto a independencias y tendencias		
T o Y	0,009	-
X o +	0,902	+
Glorieta	3,726	-
Total	4,637	
ii) Prueba <i>Chi-Cuadrado</i> con un sólo factor		
Test		4,637
Valor límite ($1-\alpha=0,90$)		4,605
Nivel p		0,05

Tabla 4. Análisis *unifactorial* sólo con accidentes con colisión en marcha.

Diferencias relativas al cuadrado del nº de accidentes respecto a independencias y tendencias		
T o Y	0,495	+
X o +	13,4421	-
Glorieta	29,202	+
Total	43,139	
ii) Prueba <i>Chi-Cuadrado</i> con un sólo factor		
Test		43,139
Valor límite ($\alpha=0,95$)		5,991
Nivel p		0,001

Tabla 5. Análisis *unifactorial* sólo con accidentes de salida de calzada.

Diferencias relativas al cuadrado del nº de accidentes respecto a independencias y tendencias		
T o Y	2,092	-
X o +	11,780	+
Glorieta	0,099	-
Total	13,971	
ii) Prueba <i>Chi-Cuadrado</i> con un sólo factor		
Test		13,971
Valor límite (1- α =0,95)		5,991
Nivel p		0,001

Tabla 5. Análisis *unifactorial* sólo con accidentes de atropello.

4. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados en el apartado anterior se pueden afirmar que en las intersecciones de la **RIGE** en Galicia existe una interdependencia significativa, demostrada mediante métodos estadísticos, entre el tipo de intersección y la proporción de los accidentes de colisión de vehículos en marcha, de los de salida de calzada y de la proporción de atropellos a peatones. Por lo tanto, se deduce que hay una clara influencia de la configuración de las intersecciones sobre estos tipos de accidentes. Por lo tanto, después del análisis estadístico realizado en esta comunicación, en las intersecciones de la **RIGE** de Galicia se pueden aseverar los enunciados siguientes:

- La proporción de accidentes en los que se producen colisiones en marcha es inferior en las **glorietas** que en las intersecciones en **T** o en **Y**. A su vez, la proporción de este tipo de accidentes es más elevado en las intersecciones en **X** (o en **+**) que en las intersecciones en **T**.
- La proporción de accidentes donde se originan salidas de la calzada de los vehículos es superior en las glorietas que en las intersecciones en **T** (o en **Y**). A la vez, la proporción de este tipo de accidentes es mayor en las intersecciones en (**T** o en **Y**) que en las intersecciones en **X** (o en **+**).
- La proporción de accidentes con atropellos de peatones es superior en las intersecciones en **X** (o en **+**) que en los otros dos tipos de intersecciones. En las **glorietas** y en las intersecciones en **T** (o en **Y**), la proporción de atropellos es la misma.

Del análisis efectuado se confirma la necesidad de abordar, con criterios estadísticos, el estudio de la influencia de las características geométricas y de regulación del tránsito de las intersecciones sobre la accidentes de circulación. Con el fin de disponer de resultados más precisos, es indispensable, sin embargo, una mayor cantidad de información sobre los sistemas de regulación del tráfico, y que abarcase, por un lado, un mayor número de intersecciones giratorias y, por otro, datos sobre la exposición al riesgo (en millones de vehículos) de las intersecciones.

5. REFERENCIAS

- COMUNIDAD DE MADRID. (1995a). “*Recomendaciones para el diseño de glorietas en carreteras suburbanas*”. Consejería de Transportes, Dirección General de Carreteras.
- COMUNIDAD DE MADRID. (1995b) “*Análisis del funcionamiento de intersecciones giratorias. Conclusiones de la observación de doce glorietas de la Comunidad de Madrid*”. Consejería de Transportes. Dirección General de Carreteras.
- MEDENHALL, W., y SINCIT, T (1997). “*Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*”. Prentice Hall. México.
- MOPU (1989). “*Recomendaciones sobre Glorietas*”. Dirección General de Carreteras.
- OGDEN, K. W. (1997). “*Safer Roads. A Guide to Road Safety Engineering*”. Avebury Technical.