



# **ANEXOS**



## **Anexo A: Informe del RACE**

### **A.1.- España**

Un informe del Real Automóvil club de España (RACE) denominado *Las farolas como elemento de seguridad pasiva de la vía* del 9 de agosto de 2005 ya instó a las autoridades competentes a implementar este tipo de elementos, aun desconocido en España por aquel entonces, y cuya aplicación en otros países había ya demostrado su capacidad para reducir el número de fallecidos y lesiones provocadas por accidentes de tráfico.

Así el estudio analiza, en concreto, la situación del nuevo tipo de farolas que combina dos necesidades, la iluminación segura de las vías y la reducción de lesiones en caso de choque. Las farolas realizadas en resina de poliéster y fibra de vidrio, las cuales aportan mejoras en seguridad y durabilidad, al tiempo que minimiza los costes de mantenimiento así como los costes de reparación de los vehículos, en comparación con sus homólogas de acero.

En el informe se menciona, en un principio, que el nivel de mortalidad tan alto en un tipo de accidente no tan frecuente se debe principalmente a que las estructuras situadas en los laterales de nuestra carreteras (farolas y postes de señalización principalmente) no están diseñadas para ofrecer un comportamiento satisfactorio en materia de seguridad pasiva.

Y esto es debido, a que las farolas presentan una extremada rigidez en su base, lo que obliga a que en caso de accidente el vehículo sufra gran deceleración y prácticamente toda la deformación. A esto se ha de sumar que los vehículos no se diseñan para soportar impactos contra objetos esbeltos que impliquen un contacto puntual, por lo que en caso de colisión, llegan a tener una gran intrusión en el habitáculo del mismo provocando una severidad muy elevada.

Por aquel entonces, en 2005, prácticamente la totalidad de báculos en funcionamiento estaban fabricados en acero galvanizado. Este material aporta rigidez, resistencia frente a la corrosión, resulta estable frente a pequeños impactos y el coste del producto final es bajo. Sin embargo, resulta un elemento muy peligroso por los daños que provoca cuando un vehículo colisiona con él.

Las estadísticas mostradas en el informe reflejan que en los últimos cinco años, de 2000 a 2004, las carreteras españolas se habían cobrado 1.394 vidas a causa de colisiones contra elementos rígidos como farolas, árboles o postes, con una media de 279 fallecidos cada año, por no mencionar los casi 11.532 heridos que se habían producido en las mismas circunstancias. Esto suponía un coste anual aproximado, sin contar las personas que resultan heridas, de 418.2 millones de Euros.



### Accidentes con víctimas en España

	2000	2001	2002	2003	2004
Contra árbol o poste	2.456	2.419	2.262	2.296	2.099
Total accidentes	101.729	100.393	98.433	99.987	94.009

Fuente: Anuario estadístico DGT

### Muertes por accidente de tráfico en España

	2000	2001	2002	2003	2004
Contra árbol o poste	329	280	273	259	253
Total fallecidos	5.776	5.517	5.347	5.399	4.741

Fuente: Anuario estadístico DGT

Según datos ofrecidos por la Dirección General de Tráfico, en el periodo 2000-2004 este tipo de choques suponían apenas un 2,3% del total de accidentes, sin embargo, fueron la causa de un 5,2% de las muertes por accidente de tráfico. Haciendo, que tras las colisiones frontales de dos vehículos, el choque contra farolas, árboles o postes es el tipo de accidente más lesivo.

## A.2.- Una preocupación mundial

Pero el problema de las colisiones contra farolas y otros elementos fijos no es algo que preocupe sólo al Real Automóvil Club de España.

Existen varios estudios acerca de la gravedad de este tipo de accidentes, y propuestas para atenuar sus consecuencias que han sido elaboradas en Suecia, Gran Bretaña, Estados Unidos y Australia. Es en estos países donde ya se comenzó, por aquella época, a actuar y donde se empezaron a ver los resultados de las medidas adoptadas.

Si nos remontamos a 1998, encontramos a un Parlamento Europeo preocupado por la alta accidentalidad en las carreteras de los países que entonces formaban la Unión Europea. Por ello, propuso una serie de medidas encaminadas a reducir la mortalidad vial durante el periodo 2000-2010. Se redactó un proyecto con numerosas estrategias que contemplaban gestión de tráfico, regulaciones legislativas, reciclaje de conductores, mejoras en la seguridad de los vehículos, mejoras en infraestructuras viarias, etc.

Según el Consejo Europeo de Seguridad en el Transporte, los accidentes de vehículos que tras salirse de la calzada colisionaban contra árboles, postes o señales era el mayor problema de seguridad vial internacional. Este tipo de colisiones representaban entre el 18 y el 42 por ciento de los fallecidos en la mayoría de los países de la Unión Europea.

Según el estudio “Collision and Consequence” de la Swedish National Road Administration, los choques contra objetos rígidos, como postes y árboles están entre los accidentes más lesivos, incluso cuando el vehículo involucrado circula dentro de los límites legalmente establecidos.

The National Society for Road Safety analiza en un informe la evolución de los accidentes producidos en las carreteras suecas. En el mismo, se revela que tres de cada



diez personas que fallecen como consecuencia de un accidente de tráfico en Suecia, mueren tras salirse de la vía y colisionar contra un objeto rígido. Un 20% de los fallecidos colisionaron contra una farola o un poste.

En Finlandia, entre 1991 y 1995, las colisiones contra objetos rígidos contabilizaron el 24% de todos los accidentes mortales. Las colisiones más frecuentes fueron contra árboles, seguidas de postes.

Con datos de 1995, en Francia las colisiones contra elementos externos a la carretera supusieron el 31% de los accidentes mortales.

En Alemania, el 18% de los accidentes con lesiones personales ocurridos en 1995 se produjeron por colisiones contra farolas o postes.

En Gran Bretaña, el 13% de los 589 accidentes mortales con objetos estáticos ocurridos en 1995 fueron choques contra farolas. En el año 2003 un total de 126 personas murieron y más de 3.600 resultaron heridas a consecuencia de colisiones con farolas y postes de señalización en las carreteras británicas.

En Holanda las colisiones contra postes o farolas suponen un 22% del total de accidentes mortales producidos en sus carreteras. Si nos fijamos en Estados Unidos, aquí los accidentes por colisión contra un objeto fijo suponen entre el 25 y el 30% de todos los accidentes. El choque contra un poste es el responsable del 11% del total de muertes en carretera.

Viajemos aún más lejos, hasta Australia, donde la Universidad de Monash ha elaborado un estudio, a través de su Centro de Investigación de Accidentes, donde se concluye que el número de muertes y lesiones graves suele ser mayor como consecuencia de choques con objetos fijos tras una salida de carretera, que en cualquier otro tipo de accidente. Más de un 25% de las muertes en las carreteras de la región de Victoria se producen contra obstáculos externos a la vía.

Un estudio de los accidentes ocurridos en este territorio australiano entre 1991 y 2000 demuestra que en choques contra objetos fijos es más frecuente encontrar heridos de gravedad y fallecidos que en choques con objetos no fijos. Este dato es perfectamente medible, ya que en el periodo 1996-2000 los choques contra objetos fijos causaron entre el 16 y el 19% del total de víctimas, y entre el 29 y el 37% del total de muertes en carretera. Los objetos fijos presentes con frecuencia en este tipo de colisiones son árboles y farolas.

### **A.3.- Conclusiones basadas en la experiencia**

Todos los estudios consultados coinciden en que en caso de impacto, la gravedad del accidente para los ocupantes de un vehículo depende de la eficacia de las estructuras soporte del equipamiento de la carretera. Por ello, basándose en razones de seguridad, todos coinciden en recomendar la instalación de equipamientos fabricados de manera que, en caso de impacto con un vehículo, se deformen o se rompan.



La gravedad de las lesiones de los ocupantes de un vehículo en colisiones contra postes o farolas es generalmente más alta que en cualquier otro tipo de colisión.

Según la Highway Agency británica, el uso de farolas de fibra de vidrio está especialmente indicado en zonas donde la velocidad media de circulación es mayor y las farolas no están protegidas por barreras de seguridad. Aunque el coste de una farola de fibra es superior al de una de acero, este mismo organismo argumenta que el gasto resulta rentable porque no requiere implantar barreras adicionales de protección, tal como sucede con las de acero.

En Australia, algunos postes de comunicaciones tienen agujeros perforados en su interior para proporcionar una estructura del absorción en caso de colisión contra ellos. Las soluciones para postes de señalización también se han considerado en Suecia, donde, a menos que estén protegidas por barreras de seguridad, todas las señalizaciones situadas en localizaciones peligrosas deben contar con un poste diseñado para absorber impactos. Algunos países ya se ha atrevido a dar cifras sobre las ventajas en vidas humanas que pueden aportar la sustitución de báculos y columnas de acero.

Según una investigación llevada a cabo en los Estados Unidos, las farolas de polímeros y fibra pueden llegar a reducir el número de lesiones alrededor de un 30 por ciento.

Algo más lejos han llegado en Gran Bretaña, donde no ha sido un problema la falta de estadísticas sobre la reducción de la gravedad de accidentes contra farolas y señales fabricados de acuerdo a los estándares de la norma EN 12767. Algunos expertos en tráfico británicos consideran razonable especular que una colisión con un elemento diseñado de acuerdo al nuevo patrón de seguridad pasiva, frente a uno rígido, puede reducir el nivel de lesiones en un grado. Por tanto los fallecidos serían heridos graves, los graves pasarían a leves y los leves resultarían indemnes.

Si esta premisa la aplicamos a la estadística de accidentes británica, y nos trasladamos a una situación hipotética en la que todas las farolas y postes de señales fueran remplazados por elementos seguros, nos encontraríamos que los 3.913 accidentes anuales se reducirían a 957. Y como consecuencia de ello, el coste del total de accidentes pasaría de 299,94 millones de Libras a 27,73 millones de Libras. Esta especulación es, claramente, una situación extrema, ya que el uso de equipamiento viario de seguridad no se justifica económicamente en algunas situaciones. Lo primero sería detectar aquellos puntos donde con una pequeña sustitución de elementos se pueda conseguir una mayor proporción en las cifras de reducción de lesiones.

Este es el caso, por ejemplo, de carreteras donde se concentra apenas un 5% de las farolas instaladas en Gran Bretaña. Una actuación mínima pero con grandes repercusiones, ya que en este tipo de vías se detecta que el 35% de los accidentes suponen una colisión contra una farola y es este el caso donde este tipo de accidentes presentan una mayor lesividad.



Vistas estas conclusiones el informe del RACE concluye diciendo "*Desde RACE entendemos que las autoridades deben aprovechar estos avances para reducir el número de víctimas en nuestras vías, por lo que proponemos, como primer paso, la instalación de farolas de fibra de vidrio para iluminar aquellos puntos de mayor siniestralidad.*"



## Anexo B: Informe del TRL

En el informe *The use of passively safe signposts and lighting columns* de 2007 realizado por el Transport Research Laboratory (TRL) a encargo de Transport for London (TfL) tiene como fin investigar el uso de columnas de iluminación y señales de seguridad pasiva en las carreteras locales.

### B.1.- Review de seguridad pasiva

#### B.1.1.- Impactos con objetos en carretera

El riesgo para los vehículos errantes con objetos en la carretera ha sido discutido por un gran número de autores (véase, por ejemplo Lynam y Kennedy, 2004). Las medidas de mitigación son:

- La reducción de la velocidad de los vehículos que golpean el objeto;
- Al mover el objeto más alejado de la carretera;
- Uso de una barrera de seguridad en frente del objeto;
- La reducción de las consecuencias de golpear el objeto.

La reducción de la velocidad de los vehículos podría lograrse mediante una reducción local del límite de velocidad, por ejemplo en una curva, o mediante el cambio de la topografía local entre la carretera y el objeto aunque esto es poco probable que sea útil como una solución global. Mientras que los beneficios de una zona libre 9 m en el lado de la carretera son reconocidos, al mover el objeto adicional de la carretera sólo puede tener un pequeño beneficio para las columnas de iluminación o señales para que puedan seguir cumpliendo con su función. Además, la posibilidad de reducir el número de señales y columnas de iluminación también parece ser limitada.

La principal opción para la mitigación de riesgos para vehículos errantes por lo tanto, es reducir la consecuencias de un impacto mediante el uso de una barrera o haciendo que el objeto sea pasivamente seguro.

#### B.1.2.- Experiencia del Reino Unido

En una investigación no publicada en TRL durante la década de 1960 el concepto de diseño de columnas para minimizar las lesiones a los ocupantes de un vehículo en colisión con él se consideró por primera vez.

Basado en la prueba del hormigón convencional y columnas de acero, se encontró que los ocupantes de coches de luz que chocan de frente a velocidades de 35km/h o más son propensos a sufrir lesiones graves. Se propuso entonces el funcionamiento de la instalación de columnas de arcenes blandos que permiten que la columna se caiga en el impacto, y las columnas flexibles. Sin embargo, se concluyó que la solución no era capaz de reducir la gravedad de una colisión con un vehículo, ni el potencial de "impacto de la cabeza" velocidad de ocupantes de vehículos errantes a niveles aceptables.



En 1967, Hignett probó una columna de tubo de acero de 40 pies con el mismo un diseño de pernos en la unión frágil a aproximadamente 100km/h. En este caso Hignett encontró que el impacto habría dado lugar a una desaceleración del ocupante tan leve que es poco probable que hubiera sufrido lesiones. Esta era una gran mejora sobre el diseño de la columna convencional. La columna cayó detrás del coche, no en la parte superior de la misma como en una colisión a baja velocidad, lo que le llevó a concluir que una columna ligera sería más conveniente para colisiones a menor velocidad.

Después de este trabajo, se llevó a cabo una serie de pequeñas instalaciones públicas piloto a gran escala de columnas tubulares de acero desmontables (Walker, 1974). El número de lesiones personales y daños sólo de colisiones que se produjeron en estos sitios se compararon con las cifras de una carretera nacional convencional. Walker descubrió que el costo de las colisiones con las columnas de ruptura fue de aproximadamente una quinta parte más baja que con la instalación normal. Esto sugiere que los diseños frágiles serían rentables en sitios similares.

Posteriormente Moore (1976) informó sobre algunos de los avances logrados en el diseño de columnas frágiles durante la década de 1970. Se identificó que más de la mitad de las colisiones con columnas de iluminación ocurrieron en carreteras clase A, la mayoría en secciones con un límite de velocidad de 30 a 45 km/h. Esto demostró que las colisiones de la columna no son sólo un fenómeno de alta velocidad, aunque Moore también señaló que la posibilidad de perder la vida si se está implicado en una colisión no aumenta en las carreteras de mayor velocidad.

Moore discute la eficacia de un diseño de rotura desarrollada en la Universidad de Cambridge, y señaló que sólo había recibido apoyo limitado de las autoridades de iluminación en el Reino Unido. Moore sugiere que esto se debe a la preocupación de que la columna va a caer en el camino después de haber sido golpeada, lo que es poco probable que sea el caso, siempre y cuando no se haya instalado en la mediana de una carretera de doble calzada.

Además, Moore menciona otra dificultad con diseños de ruptura, como la posibilidad de lesiones a los peatones de una columna caída, pero afirma que "Nadie ha sugerido el uso de columnas frágiles en los centros urbanos atestadas de peatones." Al contrario, Moore sugiere que hay cientos de kilómetros de carreteras en las que en todo momento del día hay más columnas de iluminación y que es en estos lugares que las columnas de la lámpara de ruptura debe ser utilizado.

#### B.1.3.- Experiencia de Suecia

Durante muchos años, VTI the Swedish national road and transport research institute) ha llevado a cabo pruebas de colisión contra el equipo de seguridad para el entorno del tráfico (Wenäll, 1995). Desde 1994, sin embargo, los documentos de Vialidad Nacianal sueca para el diseño de carreteras incorpora normas y requisitos internacionales. Wenäll comenta que las columnas de iluminación menas peligrosos estaban siendo instaladas en casi todos los caminos nuevos en Suecia en aquella época.



Un nuevo informe de VTI informó sobre colisiones con columnas de iluminación y otros objetos duros en carretera (Nilsson y Wenäll, 1997). Los autores recomendaron que los postes de acero rígidos debían ser cambiados gradualmente durante la instalación del nuevo alumbrado público por los postes deformables que absorben energía.

Una traducción de las secciones de más reciente de la Administración Sueca de Carreteras (SRA) da directrices de diseño (SRA, 2004) que proporciona una idea de la actitud actual de la SRA para equipos viales seguridad pasiva. De acuerdo con el texto traducido, "Los elementos de carretera situados dentro de la zona segura (la región crítica para la seguridad definida en torno a la carretera) y no está protegida por barreras de seguridad, debe ser pasivamente segura y no penetrante. "La SRA considera equipos viales como pasivamente seguros si cumplen los criterios necesarios para el nivel 1 de seguridad para la clase de velocidad elegida de acuerdo con la norma BS EN 12767. Equipo de carreteras son considerados como inocuos desde el punto de vista de la seguridad vial, si se cumplen los criterios para el ocupante nivel de seguridad 4, para la clase de velocidad 50,. Estos requisitos de seguridad pasiva se aplican principalmente a las estructuras de apoyo, por ejemplo, columnas de iluminación y señales.

En cuanto a la elección del poste, las directrices establecen los siguientes puntos:

- Al elegir el tipo de poste para ser utilizado, los costes de mantenimiento estimados deberían tenerse en cuenta, así como la necesidad prevista para trabajos de mantenimiento. En los lugares donde se concentran un gran número de vehículos y exige una protección especial, por ejemplo a lo largo de las autopistas y otras vías con barreras en la mediana, postes con una baja frecuencia de mantenimiento debe ser elegidos;
- La probabilidad de golpear un poste desde atrás debe tenerse en cuenta, por ejemplo, en vías dos sentidos. Para las colocaciones en el centro de los cruces, deben elegirse los postes que son omnidireccional pasivamente seguros;
- Postes con slip-bases no se deben utilizar ya que es probable que un vehículo errante pudiera estrellarse contra ellos a un nivel más alto que para lo que fue diseñados

Las directrices suecas de vialidad también dejan los siguientes puntos clave con respecto a las habilitaciones de clase de velocidad de los postes pasivamente seguros:

- Postes que cumplan las demandas de clase de velocidad 100 se puede utilizar en todo tipo de carreteras;
- Postes que cumplan las demandas de de clase de velocidad 70 pueden utilizarse en carreteras con límites de velocidad de 70 kilómetros por hora o menos;
- Postes que cumplan las demandas de clase de velocidad 50 no deben ser utilizados, lo que representa el hecho de que a menudo se producen colisiones graves en entornos con un límite de velocidad de 50 kilómetros por hora con vehículos que viajan a velocidades más altas.



#### B.1.4.- Experiencia en Finlandia

Las columnas de iluminación pasivamente seguras tienen un uso muy extendido en Finlandia, y casi todos son de acero (Lehtonen, 2008A).

La Administración Nacional de Carreteras de Finlandia realizó una encuesta sobre el número de accidentes mortales durante 1983-1986 publicado en Finnish Traffic Accident Investigation Boards (Finnish National Road Administration, 1991). Uno de los temas estudiados fue el número de barreras de seguridad, iluminación y otras columnas y estructuras, y el número de colisiones entre estas estructuras. La Administración Nacional de Carreteras de Finlandia comparó los costes derivados de estas colisiones, los costos de construcción asociados con columnas rígidas y frágiles. Llegaron a la conclusión que la sustitución de antiguas columnas rígidas por columnas frágiles a menudo era rentable. La inversión podría ser cubierta por el ahorro de costes de colisión en cuatro años, si el tráfico era pesado.

Previa solicitud, la Administración de Carreteras de Finlandia (Lehtonen, 2008b) proporcionó los últimos detalles en las carreteras. Los municipios finlandeses no utilizan columnas pasivamente seguras con la frecuencia que la Administración de Carreteras de Finlandia quisiera, aunque se ha demostrado en un estudio que su uso es rentable en las carreteras principales.

Un documento de apoyo de Finnra Engineering proporciona detalles de las clases de estructuras que recomienda para su uso la Administración de Carreteras de Finlandia (2005). De acuerdo con este documento;

- Los productos de las clases HE: 100:3, LE: 100:3 y NE :100:2-3 pueden ser usados en todas las carreteras;
- Los productos de las clases HE: 70:3, LE: 70:3 y NE :70:2-3 pueden ser utilizados en las carreteras con un límite de velocidad de 80 kilómetros por hora o menos;
- Cuando una señal se encuentra entre una carretera y un peatón y / o carril bici, entonces él o LE se debe considerar una estructura de las clases.

Si las estructuras de soporte de señales verticales cumplen con estos requisitos, entonces se clasifican dentro de la Categoría "A". La Administración de Carreteras de Finlandia requiere de estructuras Categoría "A" en las carreteras con alto volumen de tráfico, a menos que las estructuras alternativas pueden colocarse lo suficientemente lejos de la carretera o detrás de una barrera con suficiente longitud.

En carreteras de baja velocidad o de poco tráfico (menos de 1.500 vehículos por día o un límite de velocidad inferior a 50 kilómetros por hora), las estructuras limítrofes que no cumplen con todos los requisitos de la categoría A se pueden utilizar. En tales circunstancias, las estructuras se clasifican en la categoría 'B'.

Una tercera categoría 'C' existe para "estructuras peligrosas". La Administración de Carreteras de Finlandia no recomienda el uso de este tipo de estructuras, aunque hay una advertencia diciendo que, "Postes muy altos se encuentran detrás de una barrera de



seguridad, ya que es difícil encontrar apoyos pasivamente seguros con suficiente fuerza."

#### B.1.5.- Experiencia en Noruega

Savin (2002) proporciona puntos clave en una carta enviada al Ministerio de Transporte de Noruega a sus oficinas locales que ofrecen asesoramiento sobre la utilización de soportes que no absorben la energía:

- El uso de soportes de absorción de energía debería ser obligatorio obligatorio para alumbrado, señales y otros equipos, donde el límite de velocidad es superior a 60 kilómetros por hora o si los mástiles no están protegidos de ser golpeados por una barrera o por otros medios;
- Mástiles de absorción de energía deben utilizarse también en las principales carreteras y calles con un límite de velocidad de 50 kilómetros por hora si están situados a menos de 2 m de la carretera;
- El poste no tiene por qué ser de absorción de energía si se halla al lado de una pared de una casa o otro objeto fijo grande;
- Postes SE de alumbrado y señalización LE, señales y otros mástiles (menos de 6 m de altura) debe utilizarse:
  - e) donde es particularmente importante para reducir la velocidad y parar los vehículos sin control, ya que existe el riesgo de que puedan volver a chocar con obstáculos peligrosos, tales como puentes, paredes de roca y otras proyecciones.
  - f) en las zonas urbanizadas y otros lugares donde hay muchos peatones y/o ciclistas que podrían ser lesionados por un vehículo sin control.
  - g) sobre las medianas centrales de las vías, de tal manera que el mástil no caiga en el camino de un vehículo que se aproxima.
  - h) en las zonas entre una carretera y un carril bici o una senda peatonal, donde el límite de velocidad es superior a 60 kilómetros por hora. En general, estos tipos de mástiles normalmente son usados cuando el límite de velocidad es 60 km/h, se requiere la absorción de energía a 50 kilómetros por hora y las medianas en autopistas;
- Estos requisitos deben cumplirse en todas las carreteras nacionales. También se aplicará para carreteras del condado donde las autoridades locales no tienen sus propios requisitos. También se recomienda para los vías en ciudad.

#### B.1.6.- Experiencia en la Unión Europea

Uno de los resultados de la European Commission Project RISER (Roadside Infrastructure for Safer European Roads) da pautas para la infraestructura vial en las carreteras nuevas y existentes (RISER CONSORTIUM, 2005). En este documento se afirma que los elementos artificiales en la zona segura de la carretera sólo deben estar allí debido a un requisito funcional. "Las columnas de iluminación y de servicios públicos, de absorción de energía y estructuras de ruptura son importantes para incorporar en la zona de borde de la carretera" A lo largo del documento, la modificación de la estructura a través del uso de estructuras que absorben energía y de ruptura se menciona, sin embargo, el documento sólo especifica que estos puntos deben



ser probados para cumplir la norma BS EN 12767. El documento no proporciona información detallada sobre exactamente qué situaciones requieren estructuras con absorción de energía o de ruptura. En su lugar se recomienda el uso de tales estructuras como un medio de protección para estructuras de puntos específicos.

#### ***B.1.7.- Experiencia en los Estados Unidos***

Muchas investigaciones se han realizado en los EE.UU. con respecto a los postes de electricidad, incluyendo las columnas de iluminación, que cubren las carreteras urbanas y rurales, la mayoría de estos últimos (por ejemplo Zegeer y Parker, 1984, Marquis, 2001). Las columnas de ruptura han estado en uso durante muchos años en las carreteras de alta velocidad

Según Artimovich (2008), la edición de 2000 del Manual de Dispositivos de Control para un Tráfico Uniforme Dispositivos extiende el requerimiento de incluir señales de ruptura en todas las vías públicas de los Estados Unidos. No existen requisitos similares para usar columnas de iluminación de ruptura en todas las carreteras. La mayoría de los departamentos estatales de transporte utilizan habitualmente estructuras de ruptura en sus principales carreteras y también en muchas carreteras secundarias, incluso cuando no son requeridas por la política federal o nacional. Documentos de diseño de la Carretera/Calle Mayores permite a los diseñadores el prohibir el uso de columnas de ruptura cuando hay presencia de peatones, tal vez con la idea de que el vehículo errante no debe de hacer más daño. Artimovich establece que las estructuras de ruptura rara vez se utilizan para las señales de tráfico en los EE.UU.

Los autores por Sicking (2008) también han contribuido a la idea de una columna de luz o señal que se rompa. Artimovich sugiere que la Administración Federal de Carreteras debería tratar de cambiar esa mentalidad, y señala que los peatones suelen estar presentes durante el día, mientras que la mayoría de los accidentes de tráfico son eventos nocturnos. Él dice que la recomendación actual es que un estudio de ingeniería se lleva a cabo antes de decidir si desea o no utilizar estructuras no rompibles.

Sicking (2008) añade que las únicas excepciones a la utilización de las estructuras de ruptura, que él es consciente, es para las carreteras de baja velocidad con límites de velocidad de alrededor de 40 km/h. Ya que los vehículos actuales se considera que proporcionan suficiente seguridad para sus ocupantes, incluso en choques contra un poste rígido. Por lo tanto, algunos estados toman la posición de que detener el coche que viaja en un pavimento es menos peligroso que dejar al vehículo continuar hacia una casa o un edificio comercial.

#### ***B.2.- Cuestiones prácticas***

En general, la instalación de columnas de iluminación y señales de seguridad pasiva es más fácil que la de los sistemas convencionales. No hay problemas de mantenimiento especiales con las señales de seguridad pasiva, los materiales utilizados generalmente son de mejor calidad y con una vida útil más larga que sus contrapartes convencionales. Las de aluminio anodizado son demandadas para tener una vida de hasta 75 años y los



compuestos 60 años, en comparación con 40 años para el acero (siempre que la base del sistema permanece intacta). Sin embargo, si se utiliza la pintura, esta tendrá que ser renovada cada 6 a 7 años.

Las señales pasivas de seguridad son más fáciles de reemplazar que las convencionales, debido al diseño de la placa base. Estas placas base suelen ser reutilizables después de un impacto de un vehículo errante. Además, su manipulación manual es más fácil ya que las señales son mucho más ligeros que los convencionales.

Por otro lado, el uso de una barrera de protección disminuye el número de veces que una señal es golpeada y por lo tanto el número de veces que tiene que ser reemplazada. Sin embargo, la reparación de una barrera puede ser más costosa que la sustitución de un poste.

### ***B.3.- Colisiones con columnas de iluminación y señales***

Las estadísticas sobre accidentes de tráfico de lesiones personales usadas para la realización de este informe se publican anualmente en el Departamento para el sitio web de Transporte (Department for Transport, 2007A). Estos datos están basados en la información recogida por la policía en un sistema conocido como STATS19 (ver Anexo D).

Una búsqueda en la base de datos STATS19 se llevó a cabo para identificar colisiones de vehículos individuales atendidos por la policía en el que se ha producido una lesión como consecuencia de un impacto con una columna de luz o una señal de tráfico, entre 2001 y 2006 inclusive, en cualquier carretera en Gran Bretaña.

Dentro del proceso de información STATS19, no se hace distinción entre los impactos con una señal o una señal de tráfico y, por tanto, estos elementos de carretera se agrupan dentro de este análisis. Además, STATS19 no registra si el objeto atiende ante las colisiones a uno que se comporte de forma pasiva frente a la seguridad o no.

**Table 4: Collision statistics for Great Britain, 2001-2006**

	Number of Collisions	Casualties			
		All	Fatal (%)	Serious (%)	Slight (%)
All types of collisions	1,260,101	1,716,782	1.2	11.4	87.4
With lighting column	12,391	16,987	2.4	17.6	80.0
With signpost / traffic signal	8,849	11,524	2.2	16.0	81.8

En las carreteras rurales hay pocos puntos de luz y muchos se supone que deben de estar protegidos por una barrera de seguridad. Sin embargo, es probable, que las señales en los caminos rurales sin barrera de protección y/o en las carreteras más pequeñas con caudales bajos sean pocas en número. Por consiguiente, se espera que la mayoría de las



colisiones sea con columnas de alumbrado y señales en las vías urbanas. Y esto fue de hecho el caso.

Los porcentajes de lesiones graves y mortales como resultado de impactos con columnas de iluminación, postes de señalización y señales de tráfico fueron superiores a los valores medios de gravedad de lesiones. Los datos de severidad comparables para los impactos de barrera de seguridad han demostrado que la gravedad de tales colisiones es superior a la media, pero inferior a la de las columnas de iluminación, postes indicadores y señales de tráfico.

Si se profundiza más en las estadísticas, se puede diferenciar fácilmente y extraer datos sobre los "damnificados" debidos a una colisión contra postes de iluminación:

- En el 24 % de las colisiones, el impacto con un poste de alumbrado vino precedido por el choque contra el bordillo de la acera.
- El 64 % de las víctimas fue el resultado de que el vehículo abandonará la calzada por el "nearside", y el 28 %, por el "offside".
- El 63 % de las muertes ocurrió en carreteras con dos únicos carriles, con el 57,3 % de estas produciéndose en las carreteras con límite de velocidad a 50 km/h, el 51 % de los accidentes se produjo en carreteras tipo A, y el 27% en carreteras no clasificadas. Por lo tanto la localización más frecuente de una colisión con un daño estructural en la columna de iluminación se produce en carreteras con dos carriles con límite de velocidad de 50 km/h.

o de los resultantes a un impacto contra postes indicadores y señales de tráfico.

- El 15 % de las colisiones con una señal de carretera o una señal de tráfico se produjo después del choque con un bordillo.
- El 55 % de las víctimas fue el resultado de que el vehículo abandonará la calzada por el "nearside", y el 29 %, por el "offside".
- El 56 % de las muertes ocurrió carreteras de una única calzada con dos carriles, con un 33 % de los accidentes produciéndose en carreteras de 50 km/h, el 60 % de los accidentes en carreteras tipo A y el 14 % en carreteras no clasificadas. Por lo tanto el lugar más común para una impacto con un poste indicador o una señal de tráfico con resultados mortales se encuentra en carreteras con dos carriles con límite de velocidad de 50 km/h.

#### ***B.4.- Costes y beneficios de la utilización de columnas de iluminación y señales pasivamente seguras***

Utilizando una aproximación simple del "First Year Rate of Return" (FYRR) para columnas de iluminación y señales de seguridad pasiva no es sencillo, por varias razones. Las columnas de iluminación individuales raramente son golpeadas y las columnas pasivamente seguras son relativamente nuevas en la red de carreteras. Por los caminos rurales, los equivalentes convencionales son a menudo protegidos por una barrera de seguridad. Además, el enfoque FYRR no refleja el posible aumento de la vida útil y menor mantenimiento de los productos de seguridad pasiva.



Un enfoque alternativo fue propuesto por Simpson (2008) tras el taller celebrado en febrero de 2008 como parte del proyecto y que se describe a continuación. Las cifras eran de 2.005 y se han ajustado en el siguiente texto con el número medio de colisiones durante el período de 2001 a 2006 (véase la Tabla 4).

El número total de colisiones de vehículos individuales que golpean columnas de iluminación en 2005 y sus costos se dan en la Tabla 5. Con base a los costos de colisión 2005 en la Highway Economic Note 1 (HEN1) (Departamento de Transportes, 2006C), el costo total de estas colisiones es 185.500.000 € por año. Sin embargo, si se supone que el uso de columnas pasivamente seguras reduce la gravedad de las lesiones en un paso (fatal pasa a grave; grave a leve; leve a dañar solamente) los costos se reducen como se muestra en la línea inferior de la tabla. Por lo tanto se espera que el uso de columnas pasivamente seguras pudiera reducir los costes anuales por colisión de £ 162 700 000 a £ 22.800.000.

**Table 5: Single vehicle collisions with lighting columns from 2001 to 2006**

	Fatal	Serious	Slight	Total
<b>Urban</b>	49	373	1637	2058
<b>Rural</b>	19	127	628	774
<b>Total per year</b>	65	411	1590	2065
<b>Cost per collision £ (from HEN1)</b>	£1,644,790	3188,920	£19,250	£89,820
<b>Total cost per year from collisions with lighting columns, in £M</b>	£106.4	£77.6	£30.6	£185.5
<b>Total projected cost with passively safe columns, in £M</b>	£0.0	£12.2	£7.9	£22.8

Simpson estima que hay aproximadamente 6,7 millones de puntos de luz sobre las carreteras del Reino Unido, 6,5 millones excluyendo autopistas. Muy pocas colisiones de este tipo ocurren en vías urbanas residenciales menores y otras, pero la mayoría de las columnas están en las carreteras de este tipo.

Una estimación razonable del número de columnas en las principales carreteras, de las que es más probable que se produzcan choques de un solo vehículo, podría ser de 2,5 millones de dólares. Si se estima que el costo adicional de la sustitución de cada columna de iluminación pasivamente segura es de 150 libras, el costo adicional total sería de 375 millones de libras esterlinas, lo que daría un "First Year Rate of Return" del 50%.

Waller (Manual de Seguridad Pasiva, 2008) afirma que, en Durham, el costo inicial adicional de un poste de alumbrado pasivamente seguro es de 750 € por columna. Es evidente que esto es mucho menos rentable, sin embargo, esta cifra incluye una mejora significativa en la seguridad que viene de la mejora eléctrica y una mayor vida útil esperada que para las columnas convencionales. En las carreteras rurales, no habría necesidad de una barrera de seguridad, dando un ahorro de costes adicional.



## B.5.- Evaluación del riesgo del uso de columnas de iluminación y señales pasivamente seguras

El propósito de esta evaluación de riesgos consiste en comparar el riesgo de utilizar columnas de iluminación y señales pasivamente seguras frente al de las convencionales, tanto en zonas rurales como urbanas, incluidos los posibles efectos sobre los demás usuarios y terceros.

El enfoque se basa en el "Road Restraint Risk Assessment Process" (RRRAP) desarrollado para su uso con el "Road Restraint Standard"<sup>11</sup>, que se aplica sólo a los caminos rurales. El método de señalización y estructuras en autovías y vías urbanas es similar, pero las cifras de las vías urbanas son menos disponibles.

Las columnas de iluminación o paneles de señalización pasivamente seguros están destinados a reducir el riesgo de lesiones a los ocupantes de vehículos errantes después de un impacto al permitir que el elemento falle sin transferir tanta energía al vehículo que impacta. Sin embargo, están diseñados para minimizar el impacto y esto aumenta el riesgo de lesiones a los demás usuarios y para terceros.

Hay muy pocos datos disponibles de colapsos observados en la que basar las estimaciones ante la probabilidad de colapso o la probabilidad de daño consiguiente. Como muchos de los números utilizados en el cálculo del riesgo están sujetos a un alto grado de incertidumbre, la sensibilidad de las estimaciones tiene que ser probada mediante el uso de un rango de valores. El enfoque adoptado pretende buscar en riesgo a un nivel aproximado, y para comprender los patrones y niveles de riesgo generales con diferentes opciones de diseño genéricos.

Los tipos de riesgo relacionados con la seguridad que pudieran surgir como resultado de un impacto con una columna de iluminación o poste indicador pasivamente seguros y que están incluidos en la evaluación del riesgo son las siguientes:

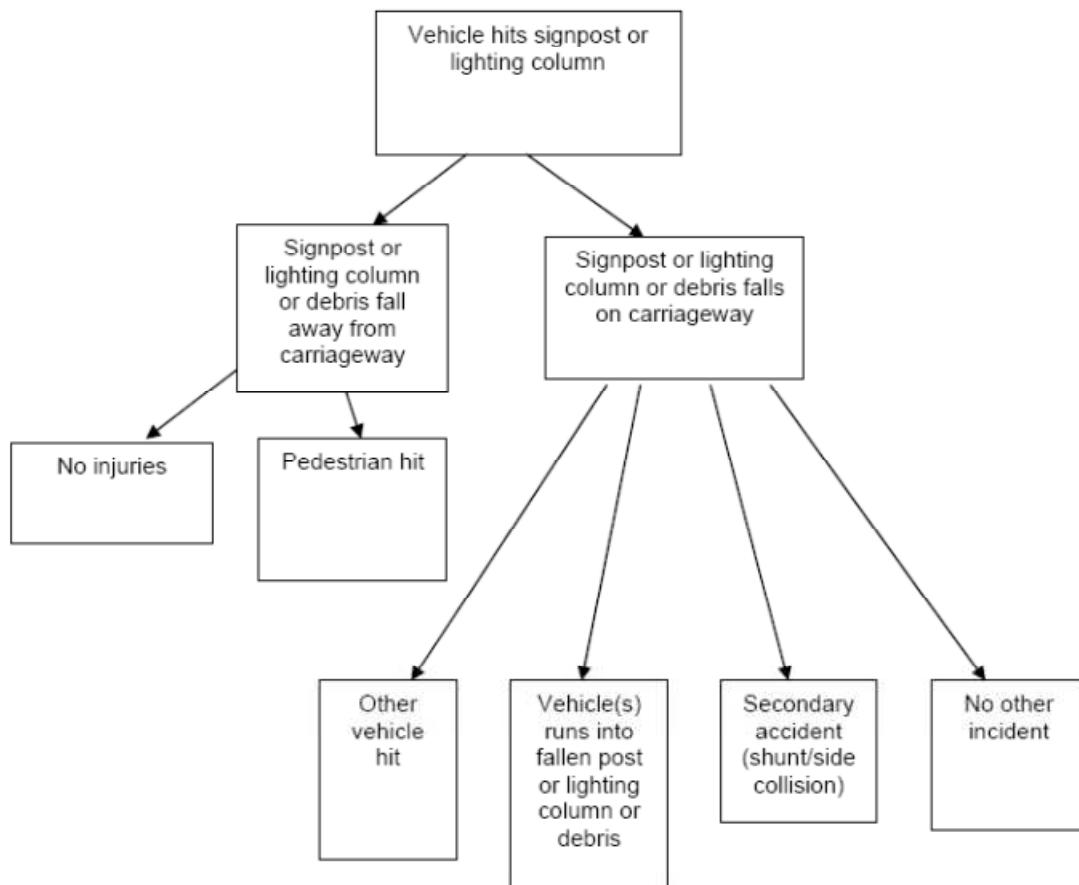
- Riesgo para los ocupantes del vehículo errante que llega a un punto de luz o señal;
- Riesgo a los demás usuarios y/o terceros de ser golpeado por la columna, señal o escombros asociados; por ejemplo la luminaria;
- Riesgo a los demás usuarios hasta la sustitución de la columna o poste dañado, pero no caído;
- Riesgo a los demás usuarios de colisiones secundarias resultantes de vehículos al frenar bruscamente o tomar una acción evasiva;
- El riesgo a los peatones de ser golpeado por la caída de la columna o residuos del poste.

Otros riesgos que no se incluyen en la evaluación de riesgo son:

- El riesgo para los trabajadores de mantenimiento en la eliminación de los desechos de la carretera y la sustitución del poste (más rápido que la reparación o sustitución de una barrera de seguridad);

- El riesgo para los peatones que salgan del vehículo errante al no ser detenido por la columna o el poste (con pocos cambios frente al riesgo de columnas convencionales);
- Los riesgos operativos derivados de la pérdida de una señal, y como consecuencia la posible confusión en el tráfico (mitigado por la rápida sustitución de la señal);
- La falta de una columna de iluminación que conduce a una pérdida generalizada de la iluminación a lo largo de la carretera (mitigado por los reglamentos eléctricos).

Para una visión general de todo lo explicado, a continuación se muestra en la Figura 14 un árbol de eventos para un impacto con una columna de iluminación o señal:



**Figure 14: Event tree for an impact with a passively safe lighting column or signpost**

La Tabla 6 resume las estimaciones de riesgo para una columna de iluminación convencional y una seguridad pasiva en un solo camino calzada rural en cuanto al número de víctimas mortales equivalentes al año. Las estimaciones se muestran por



separado para las víctimas en el vehículo errante y los diferentes tipos de colisiones secundarias que pudieran derivarse. Debe tenerse en cuenta que en un impacto con una columna de iluminación convencional también puede dar como resultado el colapso o la caída de escombros de la misma, y por lo tanto es probable que sea una subestimación del riesgo asociado a una columna de iluminación sin protección convencional.

**Table 6: Risk for different options on a rural single carriageway road**

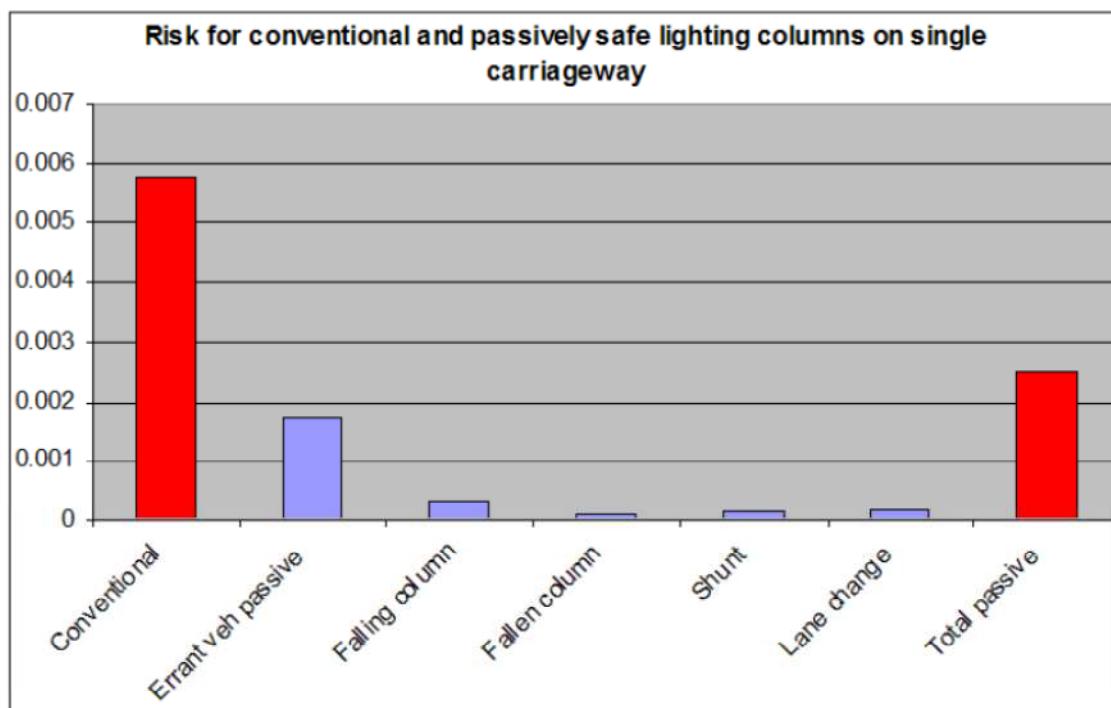
Option	Risk (number of equivalent fatalities per year) on rural single carriageway					
	Errant vehicle occupants	Other road users				All road users
		Hit by falling column	Run into fallen column or debris	Shunt collision	Lane change collision	
Unprotected conventional lighting column 2.5m from edge of carriageway	0.0146	-	-	-	-	0.0243
Conventional column 2.5m from edge of carriageway with safety barrier protection	0.0036	-	-	-	-	0.0058
Passively safe column 2.5m from edge of carriageway	0.0017	0.000087	0.00013	0.000075	0.00017	0.0032

En la Tabla 6 y la Figura 15, la suma de los riesgos separadas asociados con una columna de iluminación pasivamente segura sin protección para todos los ocupantes del vehículo todavía produce un total por debajo del nivel de riesgo en comparación con una columna convencional protegida por una barrera de seguridad. Sin embargo, las estimaciones son propensas a tener grandes intervalos de confianza, por lo que el riesgo real podría ser sustancialmente más alto que las estimaciones que se muestran.

El riesgo a los peatones en las proximidades también se estimó y dependerá en gran medida de la probabilidad de presencia de peatones. Esta se considera que es muy baja en las zonas rurales, lo que no se tiene en cuenta en la Tabla 6 o en la Figura 15.

Teniendo en cuenta que en muchos casos habrá un alto grado de incertidumbre en los valores asumidos para las variables de entrada, la sensibilidad de las conclusiones de los valores alternativos fue evaluada mediante el cálculo de un factor de sensibilidad de la estimación del riesgo asociado con cada tipo de colisión potencial en la Tabla 6. Esto demuestra que incluso con la adopción de valores considerablemente más altos, se puede concluir que las estructuras pasivamente seguras tienen un riesgo menor que las convencionales.

Los resultados de las columnas de iluminación en autovías rurales y señales de una única calzada y los caminos rurales de doble calzada no se reproducen en el presente informe, pero dio lugar a conclusiones similares.



**Figure 15: Comparison of risk for a conventional lighting column with barrier protection and a passively safe lighting column on a rural single carriageway**

Por otro lado, analizando brevemente lo que sucedería en las zonas urbanas, se puede extraer que al ser las velocidades más bajas, los elementos pasivamente seguros reportarían un menor beneficio para ocupantes de los vehículos errantes. Hay también una mayor probabilidad de peatones en los alrededores, y por lo tanto el riesgo de lesiones a los peatones se incrementa. Por otro lado, hay muchas más columnas de iluminación y señales en las vías urbanas. Además, los conductores pueden superar más fácilmente el límite de velocidad en las principales carreteras de calzadas urbanas individuales, donde se producen la mayoría de las colisiones en las que se ven involucradas señales de tráfico y columnas de iluminación.

### B.6.- Recomendaciones y conclusiones finales

Se recomienda que los postes de alumbrado y carteles pasivamente seguros continúan siendo utilizados de conformidad con el anexo nacional de la norma BS EN 12767. En particular, deben ser utilizados en la mayoría de situaciones en las carreteras rurales, especialmente donde es difícil de utilizar una barrera de seguridad. Estos son menos necesarios cuando hay una barrera existente (o una necesidad de una), o donde existe un edificio o paisajismo duro cerca de la calzada.

El riesgo a los peatones depende en gran medida de los números expuestos y por lo tanto la recomendaciones contenidas en el anexo nacional de la norma BS EN 12767 sobre la columnas de iluminación y postes indicadores pasivamente seguros pueden no ser apropiados donde no es probable que haya un número importante de peatones de manera periódica. En estas circunstancias, podría ser necesario considerar por separado



la seguridad de los peatones, como el riesgo de un vehículo errante es mayor que el de la caída de una columna o señal de tráfico

En las zonas urbanas donde las velocidades son bajas, por ejemplo las zonas con límite de velocidad de 35 km/h o en zonas residenciales, hay poca o ninguna ventaja en el uso de señales y columnas de iluminación pasivamente seguras.

Las columnas de iluminación pasivamente seguras se deben usar en las principales vías urbanas en las que hay poca probabilidad de que caigan sobre la calzada o usualmente haya un número considerable de peatones en los alrededores. Dado que la mayoría de las colisiones ocurre en la noche, esta última premisa no será un problema en muchos lugares. Es más, en la mayoría de los casos, el propio vehículo errante presenta el mayor riesgo para los peatones.



## **Anexo C: Anuario estadístico de accidentes de la DGT**

Antes de mostrar las estadísticas se otorgan las definiciones específicas para su comprensión:

- **Accidente con víctimas:** Aquél en que una o varias personas resultan muertas o heridas.
- **Accidente mortal:** Aquél en que una o varias personas resultan muertas dentro de las primeras veinticuatro horas.
- **Accidente con sólo daños materiales:** Aquél en que no se han ocasionado ni muertos ni heridos.
- **Víctima:** Toda persona que resulte muerta o herida como consecuencia de un accidente de circulación.
- **Muerto:** Toda persona que, como consecuencia del accidente, fallezca en el acto o dentro de los treinta días siguientes.

El número de fallecidos durante las primeras veinticuatro horas se determinará mediante el seguimiento de todos los casos; el de los fallecidos dentro de los treinta días se determinará, hasta el momento en que esté plenamente garantizado el seguimiento real de todos los heridos durante ese periodo, aplicando a la cifra de muertos a veinticuatro horas el factor de corrección que se deduzca del seguimiento real de una muestra representativa de heridos graves que, al menos cada cuatro años, realizará la Dirección General de Tráfico, bajo la supervisión del Consejo Superior de Tráfico y Seguridad de la Circulación Vial. Estos factores de corrección se aplicaron por primera vez en el año 1993, y han sido revisados en dos ocasiones.

- **Herido:** Toda persona que no ha resultado muerta en un accidente de circulación, pero ha sufrido una o varias heridas graves o leves.
- **Herido grave:** Toda persona herida en un accidente de circulación y cuyo estado precisa una hospitalización superior a veinticuatro horas.
- **Herido leve:** Toda persona herida en un accidente de circulación a la que no pueda aplicarse la definición de herido grave.



## C.1.- 2009

### Accidentes con víctimas en función del tipo de accidente

TIPO DE ACCIDENTE	TOTAL GENERAL				
	Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves
<b>COLISIÓN DE VEHÍCULOS EN MARCHA</b>					
Frontal	3.402	289	370	1.386	5.110
Fronto-lateral	18.465	291	390	2.714	24.507
Lateral	7.167	56	81	784	8.756
Por alcance	14.778	101	135	1.097	21.166
Múltiple o en caravana	5.040	62	88	498	9.712
<b>COLISIÓN VEHÍCULO-OBSTÁCULO EN CALZADA</b>					
Vehículo estacionado o averiado	602	23	34	120	700
Valla de defensa	299	15	16	88	296
Barrera de paso a nivel	14	1	1	2	16
Otro objeto o material	1.820	14	19	174	2.318
<b>ATROPELLO DE PERSONAS</b>					
Peatón sosteniendo bicicleta	91	1	1	9	85
Peatón reparando vehículo	33	3	3	7	26
Peatón aislado o grupo	9.693	355	454	1.922	8.726
Conductor de animales	6	1	1	0	8
<b>ATROPELLO DE ANIMALES</b>					
Conducido o en rebaño	20	0	0	2	26
Animales sueltos	405	7	9	68	443
<b>VUELCO EN LA CALZADA</b>					
	3.046	54	70	557	2.898
<b>SALIDA DE CALZADA (IZDA.)</b>					
Choque con árbol o poste	569	41	51	178	500
Choque con muro o edificio	987	37	46	206	1.099
Choque con cuneta o bordillo	961	36	43	232	1.045
Otro tipo de choque	1.388	62	81	309	1.593
Con despeñamiento	255	35	43	88	256
Con vuelco	1.517	74	87	384	1.846
En llano	304	18	20	63	308
Otra salida	190	2	3	17	213
<b>SALIDA DE CALZADA (DCHA.)</b>					
Choque con árbol o poste	994	70	84	286	1.059
Choque con muro o edificio	983	48	57	213	1.141
Choque con cuneta o bordillo	1.386	54	69	341	1.512
Otro tipo de choque	2.014	78	89	401	2.278
Con despeñamiento	385	52	64	155	381
Con vuelco	2.342	99	123	631	2.728
En llano	681	33	41	154	640
Otra salida	3.516	1	2	41	4.369
<b>OTRO TIPO DE ACCIDENTE</b>					
	4.818	106	139	796	5.183
<b>TOTAL</b>	<b>88251</b>	<b>2117</b>	<b>2714</b>	<b>13923</b>	<b>111043</b>

Nota : El cómputo de muertos se realiza a 30 días.



CARRETERA					ZONA URBANA				
Accidentes con Víctimas			Víctimas		Accidentes con víctimas			Víctimas	
Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves	Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves
2.351	266	342	1.247	3.699	1.051	23	28	139	1.411
5.509	241	316	1.341	8.002	12.956	50	74	1.373	16.505
2.682	42	55	415	3.582	4.485	14	26	369	5.176
6.028	89	109	623	9.328	8.750	12	26	474	11.838
2.692	49	70	370	5.681	2.348	13	18	128	4.031
233	16	25	66	303	389	7	9	54	397
215	13	14	71	203	84	2	2	17	93
3	0	0	1	2	11	1	1	1	14
514	4	6	48	614	1.406	10	13	126	1.704
27	1	1	4	23	64	0	0	5	62
13	3	3	3	9	20	0	0	4	17
977	160	186	345	633	8.716	195	268	1.577	8.093
1	1	1	0	0	5	0	0	0	8
17	0	0	1	24	3	0	0	1	2
370	7	9	60	414	36	0	0	8	29
1.524	44	55	356	1.421	1.522	10	15	201	1.477
489	38	47	152	486	100	3	4	26	113
898	33	41	173	1.002	89	4	5	33	97
869	32	38	210	959	92	4	5	22	86
1.308	60	77	284	1.505	80	2	4	25	88
234	33	41	81	231	21	2	2	7	25
1.468	73	86	376	1.788	49	1	1	8	58
260	15	16	48	273	44	3	4	15	35
160	2	3	13	185	30	0	0	4	28
797	58	71	245	840	197	12	13	41	219
846	39	46	173	983	137	9	11	40	158
1.249	48	62	305	1.382	137	6	7	36	130
1.810	70	82	377	2.041	204	6	7	24	235
354	49	61	146	351	31	3	3	9	30
2.215	98	122	615	2.578	127	1	1	16	150
537	32	39	128	529	124	1	2	26	111
2.627	1	2	30	3.346	889	0	0	11	1.023
1.532	79	104	441	1.763	3.286	27	35	355	3.420
40789	1696	2130	8748	54180	47462	421	584	5175	56863



C.2.- 2010

**Accidentes con víctimas en función del tipo de accidente**

TIPO DE ACCIDENTE	TOTAL GENERAL				
	Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves
<b>COLISIÓN DE VEHÍCULOS EN MARCHA</b>					
Frontal	3.069	267	350	1.186	4.579
Fronto-lateral	17.317	276	358	2.228	23.093
Lateral	6.937	46	70	594	8.527
Por alcance	15.074	96	124	917	21.758
Múltiple o en caravana	5.062	72	103	444	9.840
<b>COLISIÓN VEHÍCULO-OBSTÁCULO EN CALZADA</b>					
Vehículo estacionado o averiado	600	31	38	136	668
Valla de defensa	242	14	16	62	248
Barrera de paso a nivel	13	1	1	0	12
Otro objeto o material	1.884	15	21	157	2.204
<b>ATROPELLO DE PERSONAS</b>					
Peatón sosteniendo bicicleta	88	0	0	15	79
Peatón reparando vehículo	28	3	3	10	20
Peatón aislado o grupo	9.836	347	444	1.911	8.912
Conductor de animales	9	2	2	3	5
<b>ATROPELLO DE ANIMALES</b>					
Conducido o en rebaño	15	0	0	6	17
Animales sueltos	351	6	8	40	413
<b>VUELCO EN LA CALZADA</b>					
	3.064	52	66	461	3.008
<b>SALIDA DE CALZADA (IZDA.)</b>					
Choque con árbol o poste	542	42	45	149	571
Choque con muro o edificio	916	41	47	163	1.074
Choque con cuneta o bordillo	883	25	30	172	976
Otro tipo de choque	1.444	58	71	268	1.740
Con despeñamiento	254	32	34	74	276
Con vuelco	1.249	62	77	302	1.524
En llano	337	16	19	85	343
Otra salida	171	3	4	21	189
<b>SALIDA DE CALZADA (DCHA.)</b>					
Choque con árbol o poste	873	53	66	254	914
Choque con muro o edificio	1.018	46	53	198	1.151
Choque con cuneta o bordillo	1.298	44	56	307	1.457
Otro tipo de choque	1.865	56	68	372	2.086
Con despeñamiento	356	43	52	117	377
Con vuelco	2.203	78	91	532	2.557
En llano	663	28	36	165	650
Otra salida	3.503	2	3	40	4.354
<b>OTRO TIPO DE ACCIDENTE</b>					
	4.339	96	122	606	4.728
<b>TOTAL</b>	<b>85.503</b>	<b>1.953</b>	<b>2.478</b>	<b>11.995</b>	<b>108.350</b>

Nota : El cómputo de muertos se realiza a 30 días.



CARRETERA					ZONA URBANA				
Accidentes con Víctimas			Víctimas		Accidentes con víctimas			Víctimas	
Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves	Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves
2.143	257	335	1.062	3.359	926	10	15	124	1.220
4.990	233	295	1.191	7.098	12.327	43	63	1.037	15.995
2.524	31	46	361	3.298	4.413	15	24	233	5.229
6.211	84	102	577	9.666	8.863	12	22	340	12.092
2.691	67	95	334	5.702	2.371	5	8	110	4.138
228	24	29	83	270	372	7	9	53	398
180	10	12	46	187	62	4	4	16	61
4	0	0	0	4	9	1	1	0	8
503	3	5	32	588	1.381	12	16	125	1.616
17	0	0	6	11	71	0	0	9	68
16	3	3	5	10	12	0	0	5	10
957	149	175	335	607	8.879	198	269	1.576	8.305
5	1	1	2	2	4	1	1	1	3
13	0	0	5	16	2	0	0	1	1
319	6	8	35	381	32	0	0	5	32
1.552	39	48	300	1.490	1.512	13	18	161	1.518
423	36	39	122	447	119	6	6	27	124
837	35	40	142	999	79	6	7	21	75
816	23	28	156	911	67	2	2	16	65
1.390	57	70	259	1.686	54	1	1	9	54
232	30	32	71	248	22	2	2	3	28
1.224	59	74	299	1.497	25	3	3	3	27
286	14	16	68	306	51	2	3	17	37
143	1	2	19	157	28	2	2	2	32
681	45	59	199	717	192	8	7	55	197
885	38	44	173	999	133	8	9	25	152
1.167	39	50	278	1.323	131	5	6	29	134
1.727	51	62	356	1.933	138	5	6	16	153
333	41	50	111	348	23	2	2	6	29
2.077	76	88	515	2.415	126	2	3	17	142
510	26	33	127	506	153	2	3	38	144
2.646	2	3	33	3.377	857	0	0	7	977
1.444	67	84	340	1.689	2.895	29	38	266	3.039
39.174	1.547	1.928	7.642	52.247	46.329	406	550	4.353	56.103

C.3.- 2011

**Accidentes con víctimas en función del tipo de accidente**

TIPO DE ACCIDENTE	TOTAL GENERAL				
	Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves
<b>COLISIÓN DE VEHÍCULOS EN MARCHA</b>					
Frontal	2.725	263	336	1.048	4.114
Fronto-lateral	17.103	208	272	2.180	22.587
Lateral	6.463	43	57	521	7.705
Por alcance	14.953	95	120	950	21.603
Múltiple o en caravana	4.632	54	71	349	9.139
<b>COLISIÓN VEHÍCULO-OBSTÁCULO EN CALZADA</b>					
Vehículo estacionado o averiado	562	14	17	104	673
Valla de defensa	143	7	9	48	132
Barrera de paso a nivel	11	0	0	0	12
Otro objeto o material	1.811	12	15	130	2.134
<b>ATROPELLO DE PERSONAS</b>					
Peatón sosteniendo bicicleta	146	7	8	14	138
Peatón reparando vehículo	35	7	7	11	20
Peatón aislado o grupo	9.919	283	352	1.662	9.190
Conductor de animales	5	0	0	0	5
<b>ATROPELLO DE ANIMALES</b>					
Conducido o en rebaño	13	0	0	3	16
Animales sueltos	397	6	7	52	504
<b>VUELCO EN LA CALZADA</b>					
	3.002	40	47	489	2.955
<b>SALIDA DE CALZADA (IZDA.)</b>					
Choque con árbol o poste	470	35	41	139	524
Choque con muro o edificio	703	26	32	138	783
Choque con cuneta o bordillo	747	24	27	176	841
Otro tipo de choque	1.339	53	61	224	1.486
Con despeñamiento	224	18	21	72	229
Con vuelco	1.257	61	68	323	1.414
En llano	398	13	15	121	369
Otra salida	162	2	3	12	176
<b>SALIDA DE CALZADA (DCHA.)</b>					
Choque con árbol o poste	777	48	55	204	813
Choque con muro o edificio	841	41	43	160	909
Choque con cuneta o bordillo	1.083	35	40	239	1.122
Otro tipo de choque	1.880	59	66	362	2.063
Con despeñamiento	349	44	55	131	319
Con vuelco	2.141	77	90	460	2.484
En llano	675	22	26	159	707
Otra salida	3.237	3	3	31	4.031
<b>OTRO TIPO DE ACCIDENTE</b>					
	4.824	83	96	635	5.083
<b>TOTAL</b>	<b>83.027</b>	<b>1.683</b>	<b>2.060</b>	<b>11.347</b>	<b>104.280</b>

Nota : El cómputo de muertos se realiza a 30 días según la metodología que se especifica en el Anexo.



VIAS INTERURBANAS					VIAS URBANAS				
Accidentes con Victimas			Victimas		Accidentes con victimas			Victimas	
Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves	Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves
1.914	251	322	947	3.052	811	12	14	101	1.062
4.704	170	213	1.069	6.816	12.399	38	59	1.111	15.771
2.244	31	41	302	2.860	4.219	12	16	219	4.845
5.929	86	103	546	9.260	9.024	9	17	404	12.343
2.381	47	60	260	5.104	2.251	7	11	89	4.035
193	11	12	55	253	369	3	5	49	420
88	5	6	34	72	55	2	3	14	60
1	0	0	0	1	10	0	0	0	11
408	3	3	22	487	1.403	9	12	108	1.647
24	5	6	2	16	122	2	2	12	122
17	7	7	5	6	18	0	0	6	14
774	123	137	277	489	9.145	160	215	1.585	8.701
1	0	0	0	1	4	0	0	0	4
10	0	0	1	15	3	0	0	2	1
358	6	7	44	463	39	0	0	8	41
1.446	35	38	294	1.408	1.556	5	9	195	1.547
349	22	27	113	396	121	13	14	26	128
620	20	26	121	699	83	6	6	17	84
679	22	24	159	772	68	2	3	17	69
1.279	52	57	210	1.435	60	1	4	14	51
202	17	20	62	208	22	1	1	10	21
1.214	60	67	318	1.358	43	1	1	5	56
318	10	12	93	311	62	3	3	28	58
127	2	3	11	135	35	0	0	1	41
588	42	49	171	602	189	6	6	33	211
719	34	36	135	780	122	7	7	25	129
955	28	32	213	1.008	128	7	8	26	114
1.703	51	58	335	1.876	177	8	8	27	187
319	41	52	122	295	30	3	3	9	24
1.969	78	89	444	2.292	172	1	1	16	192
542	21	24	132	588	133	1	2	27	119
2.358	2	2	27	3.029	879	1	1	4	1.002
1.447	63	70	301	1.805	3.377	20	26	334	3.478
<b>35.878</b>	<b>1.343</b>	<b>1.603</b>	<b>6.825</b>	<b>47.692</b>	<b>47.149</b>	<b>340</b>	<b>457</b>	<b>4.522</b>	<b>56.588</b>



## Anexo D: STATS19

STATS19 cubre colisiones que involucran lesiones que ocurren en la vía pública (incluyendo aceras) en la que al menos un vehículo de carretera, o un vehículo en colisión con un peatón, está implicado que se da a conocer a la policía dentro de los 30 días siguientes a su ocurrencia. El vehículo no necesita estar en movimiento en el momento de la colisión de vehículos, y peatones estacionarias o usuarios están incluidos. Quedan excluidos de STATS19 los suicidios confirmados, la muerte por causas naturales, las lesiones de los peatones sin afectación del vehículo (por ejemplo, una caída en la acera), y las colisiones en las que nadie está herido, pero el vehículo se dañe. A partir del 1 de enero de 2005, STATS19 también incluye la información sobre los factores que contribuyen a la colisión.

El sistema de STATS19 recoge algunos elementos de datos para cada colisión, incluyendo el tiempo, la ubicación y la gravedad, el tipo de vehículo(s) y su movimiento en el momento de la colisión, así como información sobre los conductores y las bajas involucradas. Un ejemplo de la forma de recolección de datos se encuentra en la página web del Departamento de Transporte (Department for Transport, 2004).

### **D.1.- Accidentes debidos a impactos contra columnas de iluminación**

**TOTAL NUMBER OF COLLISIONS: 12391**

**TOTAL NUMBER OF CASUALTIES: 16987**

Object Hit in Carriageway

	Fatal	Serious	Slight	TOTAL	%age Fatal	%age Serious	%age Slight
None	271	2035	9710	12016	66.7	68.0	71.5
Previous Accident	0	1	0	1	0.0	0.0	0.0
Roadworks	0	4	11	15	0.0	0.1	0.1
Parked vehicle	0	1	7	8	0.0	0.0	0.1
Bridge - roof	0	0	1	1	0.0	0.0	0.0
Bridge - side	3	5	20	28	0.7	0.2	0.1
Bollard/refuge	11	96	378	485	2.7	3.2	2.8
Open door of vehicle	0	2	0	2	0.0	0.1	0.0
Central island of roundabout	2	31	136	169	0.5	1.0	1.0
Kerb	117	803	3209	4129	28.8	26.8	23.6
Other object	2	14	107	123	0.5	0.5	0.8
An animal	0	1	7	8	0.0	0.0	0.1
Unknown	0	1	1	2	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>406</b>	<b>2994</b>	<b>13587</b>	<b>16987</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Vehicle Leaving Carriageway

	Fatal	Serious	Slight	TOTAL	%age Fatal	%age Serious	%age Slight
Did not leave carriageway	6	121	732	859	1.5	4.0	5.4
Left the carriageway to the nearside	227	1634	7617	9478	55.9	54.6	56.1
Left the carriageway to the nearside and rebounded	33	255	1184	1452	8.1	8.5	8.6
Left the carriageway straight ahead at a junction	8	66	353	427	2.0	2.2	2.6
Left the carriageway to the offside onto the central reserve	23	86	402	511	5.7	2.9	3.0
Left the carriageway to the offside onto the cen res and rebounded	6	33	94	133	1.5	1.1	0.7
Left the carriageway to the offside and crossed the cen res	8	22	117	147	2.0	0.7	0.9
Left the carriageway to the offside	86	657	2699	3442	21.2	21.9	19.9
Left the carriageway to the offside and rebounded	9	120	409	538	2.2	4.0	3.0
Unknown	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>406</b>	<b>2994</b>	<b>13587</b>	<b>16987</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>



Road Type

Road Type	Fatal	Serious	Slight	TOTAL	%age Fatal	%age Serious	%age Slight
Roundabout	11	220	1716	1947	2.7	7.3	12.6
One way street	8	81	384	473	2.0	2.7	2.8
Dual carriageway - 2 lanes	99	499	2278	2876	24.4	16.7	16.8
Dual carriageway - 3 or more lanes	20	124	345	489	4.9	4.1	2.5
Single track road	1	20	104	125	0.2	0.7	0.8
Single carriageway - 2 lanes	283	1978	8439	10678	64.8	66.0	62.1
Single carriageway - 3 lanes	3	46	220	269	0.7	1.5	1.6
Single carriageway - 4 lanes	0	23	77	100	0.0	0.8	0.6
Unknown	1	5	24	30	0.2	0.2	0.2
<b>TOTAL</b>	<b>406</b>	<b>2994</b>	<b>13587</b>	<b>16987</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

**D.2.- Accidentes debidos a impactos contra paneles informativos o señales de tráfico**

**TOTAL NUMBER OF COLLISIONS: 8849**

**TOTAL NUMBER OF CASUALTIES: 11524**

Object Hit in Carriageway

Object Hit in Carriageway	Fatal	Serious	Slight	TOTAL	%age Fatal	%age Serious	%age Slight
None	174	1332	6962	8468	69.6	72.3	73.8
Previous Accident	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
Roadworks	0	9	36	45	0.0	0.5	0.4
Parked vehicle	1	4	1	6	0.4	0.2	0.0
Bridge - roof	0	0	4	4	0.0	0.0	0.0
Bridge - side	3	3	19	25	1.2	0.2	0.2
Bollard/refuge	6	83	540	629	2.4	4.5	5.7
Open door of vehicle	0	1	1	2	0.0	0.1	0.0
Central island of roundabout	5	101	432	538	2.0	5.5	4.6
Kerb	57	292	1334	1683	22.8	15.8	14.1
Other object	3	17	88	108	1.2	0.9	0.9
An animal	1	1	10	12	0.4	0.1	0.1
Unknown	0	0	4	4	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>	<b>1843</b>	<b>9431</b>	<b>11524</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Vehicle Leaving Carriageway

Vehicle Leaving Carriageway	Fatal	Serious	Slight	TOTAL	%age Fatal	%age Serious	%age Slight
Did not leave carriageway	11	101	728	840	4.4	5.5	7.7
Left the carriageway to the nearside	134	928	4393	5455	53.6	50.4	46.6
Left the carriageway to the nearside and rebounded	11	118	692	821	4.4	6.4	7.3
Left the carriageway straight ahead at a junction	15	190	889	1094	6.0	10.3	9.4
Left the carriageway to the offside onto the central reserve	15	50	278	343	6.0	2.7	2.9
Left the carriageway to the offside onto the cen res and rebounded	6	19	70	95	2.4	1.0	0.7
Left the carriageway to the offside and crossed the cen res	1	25	92	118	0.4	1.4	1.0
Left the carriageway to the offside	49	321	1892	2262	19.6	17.4	20.1
Left the carriageway to the offside and rebounded	8	91	398	495	3.2	4.9	4.2
Unknown	0	0	1	1	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>	<b>1843</b>	<b>9431</b>	<b>11524</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Road Type

Road Type	Fatal	Serious	Slight	TOTAL	%age Fatal	%age Serious	%age Slight
Roundabout	19	284	1417	1720	7.6	15.4	15.0
One way street	5	36	254	295	2.0	2.0	2.7
Dual carriageway - 2 lanes	75	392	1825	2292	30.0	21.3	19.4
Dual carriageway - 3 or more lanes	16	82	281	379	6.4	4.4	3.0
Single track road	1	15	105	121	0.4	0.8	1.1
Single carriageway - 2 lanes	126	990	5309	6425	50.4	53.7	56.3
Single carriageway - 3 lanes	7	28	165	200	2.8	1.5	1.7
Single carriageway - 4 lanes	1	11	52	64	0.4	0.6	0.6
Unknown	0	5	23	28	0.0	0.3	0.2
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>	<b>1843</b>	<b>9431</b>	<b>11524</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>



## **Anexo E: La corrosión en la norma UNE EN 40**

### **E.1.- UNE EN 40-5**

La misma norma UNE EN 40-5: Requisitos para las columnas y báculos de alumbrado de acero [7], en su ANEXO A: MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN PARA COLUMNAS Y BÁCULOS DE ALUMBRADO DE ACERO, reconoce el problema grave de la corrosión en los aceros, y da unas normas que se deben cumplir obligatoriamente para la protección contra esta.

Así, con vistas a la protección contra la corrosión, la columna o báculo se divide en las siguientes áreas:

- Área A: La superficie exterior de la columna o báculo, desde la parte superior hasta una altura mínima de 0,2 m por encima del suelo o, el exterior completo de una columna o báculo con placa de base.
- Área B: La superficie exterior de la sección a la altura del suelo hasta una altura mínima de 0,25 m por encima del nivel del suelo.
- Área C: La superficie interior de la columna o báculo.

#### **E.1.1.- Galvanización en caliente**

La galvanización en caliente de las áreas A, B y C debería cumplir con los requisitos de la Norma EN ISO 1461 para todos los espesores.

Protección suplementaria opcional después de la galvanización en caliente:

- Área A: un revestimiento de protección.
- Área B: una capa de sustancia bituminosa o de producto similar.
- Área C: ningún tratamiento adicional.

#### **E.1.2.- Metalización térmica y pintura**

La preparación de las superficies de las áreas A y B para recibir la metalización debería ser mediante limpieza por chorreado al tipo Sa 2½ de acuerdo a la Norma ISO 8501-1.

El revestimiento metálico de cinc o de aluminio debería aplicarse a un espesor de revestimiento local de al menos 80 µm, conforme con los requisitos de la Norma ISO 2063.

Por consiguiente, debería aplicarse lo siguiente:

- Área A: ningún otro tratamiento o una capa de imprimación.
- Área B: una capa de imprimación o una capa de sustancia bituminosa o de producto similar.
- Área C: una capa de sustancia bituminosa o de producto similar.



### E.1.3.- Fosfatación y pintura

Las áreas A, B y C deberían decaparse y fosfatarse conforme a la Norma ISO 9717. La masa por unidad de superficie de la capa de fosfato debería ser al menos de 4 g/m<sup>2</sup>.

Por consiguiente, debería aplicarse en 24 h lo siguiente:

- Área A: una capa de imprimación.
- Área B: una capa de imprimación o una capa de sustancia bituminosa o de producto similar.
- Área C: una capa de sustancia bituminosa o de producto similar.

### E.1.4.- Pinturas

La preparación de las superficies de las áreas A y B para recibir el revestimiento debería ser mediante limpieza por chorreado al tipo Sa 2½ conforme a la Norma ISO 8501-1.

Por consiguiente, debería aplicarse en 24 h lo siguiente:

- Área A: una capa de imprimación.
- Área B: una capa de imprimación y/o una capa de sustancia bituminosa o de producto similar.
- Área C: una capa de sustancia bituminosa o de producto similar.

## **E.2.- UNE EN 40-7**

Al contrario que con el acero, la propia norma UNE EN 40-7: Requisitos para las columnas y báculos de alumbrado de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras [7], afirma el hecho de que estos elementos no necesitan protección contra la corrosión.

En concreto esta norma dice lo siguiente: "*Las columnas y báculos de alumbrado de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras no requiere una protección específica contra la corrosión en esta norma europea que no sea el sellado hermético de los bordes de corte que deben ser conformes a 8.3*"

Y únicamente contiene el ANEXO D: MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN PARA COLUMNAS Y BÁCULOS DE ALUMBRADO DE MATERIALES COMPUESTOS POLIMÉRICOS REFORZADOS CON FIBRAS, como medidas para una prolongación de la vida.

La caracterización de las áreas es idéntica a la que se describe en la norma UNE EN40-5, y con anterioridad se ha explicado en este documento en el apartado 3.1.3.

Se recomienda los siguientes tratamientos:

- Área A: No son necesarios tratamientos. Sin embargo, en ciertas partes de la UE con elevados niveles de radiación UV la opción de aplicar un recubrimiento de poliuretano u otro resistente a los UV puede ser considerado según criterio del prescriptor. Cuando esto se considere deseable, el recubrimiento debería aplicarse hasta 0,05 m por debajo del nivel del suelo.



- Área B: No son necesarios tratamientos de superficie. Puede aplicarse un recubrimiento de poliuretano o acrílico exterior por debajo del nivel del suelo para impedir o retardar la entrada de ciertas sustancias químicas del terreno. El recubrimiento debería ser aplicado solamente después de un tratamiento preliminar apropiado para asegurar la adherencia.
- Área C: No son necesarios tratamientos de superficie. Puede dotarse de una protección adicional a la sección que está al nivel del suelo, donde debería aplicarse de la misma forma que para el área B.



## Anexo F: Metodología

Al consistir el trabajo en el estudio y evaluación del comportamiento de un semáforo en materiales compuestos frente a su homólogo de acero ante el impacto vehicular, gracias a programas de análisis numérico basado en el método de los elementos finitos, los pasos que han compuesto este serán:

- Pre-Proceso: Definición de geometría y malla, materiales, propiedades, casos de carga y condiciones de contorno, tipo de análisis...
- Calculo: Resolución numérica de las ecuaciones de equilibrio en los puntos de integración. Obtención de resultados.
- Post-Proceso: Análisis de los resultados de las variables solicitadas. Interpretación gráfica de los mismos...

### **F.1.- El Método de los Elementos Finitos (MEF)**

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es un método numérico que se utiliza para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales. Su evolución y desarrollo desde mediados del siglo XX hasta nuestros días ha sido constante y en la actualidad puede considerarse como el método numérico más utilizado en la mayoría de los ámbitos de la ingeniería. Son muchas las facetas de la ingeniería en las que se precisa determinar la distribución de tensiones y deformaciones en un continuo elástico. Los casos particulares de dichos problemas pueden variar desde problemas bidimensionales de tensión o deformación plana, sólidos de revolución y flexión de placas y láminas, hasta el análisis más general de sólidos tridimensionales.

El MEF consiste en su formulación física en la división del dominio espacial, ya sea uni, bi o tridimensional en una serie de subdominios de geometría simple, a los cuales se les denomina elementos. Estos elementos se encuentran formados por una serie de puntos que definen su geometría y se denominan nodos. En el interior de cada elemento se interpola una función de desplazamientos que se formula en función de los valores de desplazamientos que existen en los nodos.

La forma de trabajo de estos elementos consiste en aplicar las ecuaciones de compatibilidad y comportamiento y obtener una relación entre la fuerza aplicada sobre los elementos y los desplazamientos de los nodos. Esta relación se expresa mediante la matriz elemental, la cual depende del número de nodos, situación de estos, material utilizado, geometría de elementos y tipo de problema.

Dependiendo del tipo de formulación del problema se determina si el problema es lineal (elasticidad lineal) o si no es lineal (grandes desplazamientos o deformaciones, comportamiento del material complejo).

A continuación se expresa el proceso de cálculo con el MEF:

1. Planteamiento de continuidad de desplazamientos y equilibrio de fuerza entre elementos.
2. Sistema de ecuaciones globales de la estructura.
3. Tipo de formulación inicial (lineal o no lineal).



4. Resolución.
5. Obtención de los desplazamientos nodales (incógnitas básicas).
6. Obtención de otras variables: deformaciones y tensiones.

La aproximación de los elementos finitos no requiere la selección del tipo de ecuación que será usada para modelar la estructura. Los códigos disponibles en el mercado han definido previamente los elementos para los cuales la matriz de rigidez individual del elemento ha sido resuelta.

De esta forma, el usuario necesita definir únicamente el tipo de elemento. Una vez que el elemento ha sido definido el procedimiento es el siguiente:

1. Decidir la geometría requerida para modelar correctamente el problema.
  - 1D (cables, vigas)
  - 2D (tensión o deformación plana)
  - 2D axisimétrica (láminas y sólidos de revolución)
  - 3D (láminas y sólidos)
2. Seleccionar el tipo de elemento y formular la matriz de rigidez del elemento si se requiere
  - Definir la matriz que relaciona las deformaciones del elemento con los desplazamientos nodales  $\{B\}$
  - Definir la matriz de la ley constitutiva  $\{D\}$
  - Aplicar una rutina numérica cuadrática para evaluar la rigidez del elemento sobre el volumen del elemento,  $\int \{B\}^T \{D\} \{B\} dv$

El MEF consiste en dividir un medio continuo en un número finito de partes cuyo comportamiento se especifica con un numero finito de parámetros, pasando de un sistema con infinitos grados de libertad a otro con un número fijo, con propiedades físicas y geométricas muy parecidas, en el que las ecuaciones de equilibrio se pueden expresar mediante un sistema algebraico de ecuaciones simultáneas con un determinado número de incógnitas, obteniéndose la solución del sistema completo mediante el ensamblaje de las soluciones para cada elemento finito.

3. Discretizar la geometría en una malla.
  - Definir las localizaciones de los nodos de los elementos.
  - Agudizar el mallado en zonas de concentración de tensiones
4. Definir las propiedades locales del elemento.
  - Anisótropo
  - Isótropo
  - Ortótropo
5. Siguiendo los pasos anteriores obtenemos la matriz de rigidez del elemento.
6. Transformar la matriz de rigidez local del elemento en coordenadas globales.



7. Obtener el ensamblaje de la matriz de rigidez suponiendo las matrices de rigidez globales de los elementos.
8. Definir las condiciones de contorno aplicadas al sistema y formular el vector de fuerzas nodales  $\{F\}$  así como definir desplazamientos, nodos fijos, contactos, cargas, temperatura, etc.
9. Resolver el conjunto de ecuaciones algebraicas lineales resultante usando los métodos apropiados.
10. Resolver tensiones y deformaciones locales de elementos. Calcular tensiones y deformaciones en lámina y comparar con los criterios de rotura. Una vez que se han establecido las características de los nodos o los elementos, las ecuaciones individuales deben ensamblarse para formar un sistema global de ecuaciones que describa la respuesta general del sistema.

Este ensamblaje, el cual aparece en el punto 9, da lugar a un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales cuya forma básica es la siguiente.

$$[K]\{u\} = \{f\}$$

En donde:

$[K]$  es una matriz ( $n \times n$ ) de rigidez del sistema;

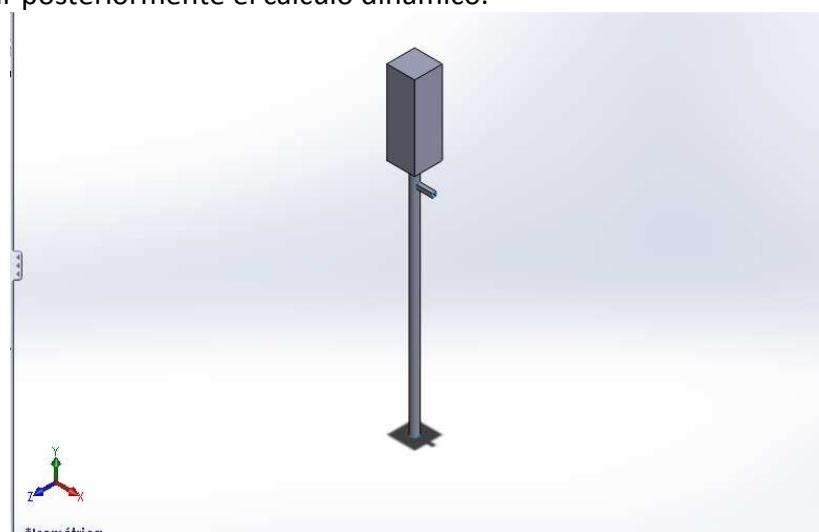
$\{u\}$  es un vector columna ( $nx1$ ) que normalmente representa los términos de desplazamiento del sistema que son desconocidos.

$\{f\}$  es un vector columna ( $nx1$ ) que normalmente son las cargas aplicadas que son conocidas.

## F.2.- Pre-proceso

### F.2.1.- Solidworks

Para definir la geometría de la farola se uso el programa comercial SolidWorks, siguiendo el esquema del **Apartado 3.2**. Y especificando sus dimensiones en metros para facilitar posteriormente el cálculo dinámico.





Para ello se escogió que el poste, con su diámetro medio fuera un elemento de superficie, así como el brazo lateral. Por otro lado, la caja de luces superior se extruyo como un sólido.

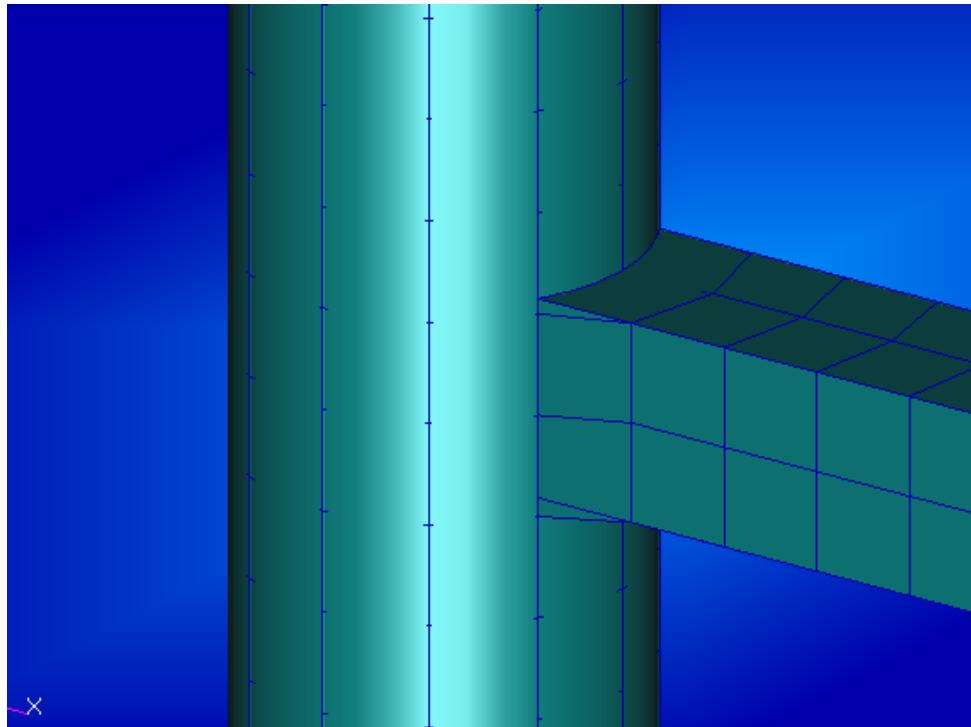
### F.2.2.- PATRAN

El siguiente paso consistió en definir la malla, que puede diferenciarse en dos partes:

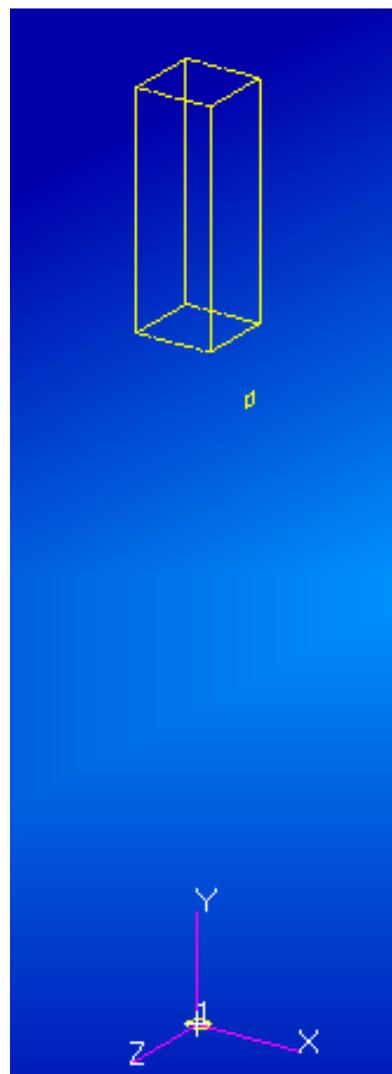
- El poste y el brazo lateral. Se usaron elementos tipo shell Quad con Mesher: Isomesh y Topology: Quad4.
- La caja de luces superior. Se usaron elementos tipo solid Tet con Mesher: TetMesh y Topology: Tet4.

Para comprobar que la malla se encontraba bien definida, se uso la opción que da el programa para ello siguiendo los siguientes pasos: *Meshing->Verify(Action)->Element(Object)->Boundaries(Test)*.

En el que se observaron ciertos fallos, en las uniones del poste con el brazo lateral y con la caja de luces, que se tuvieron que subsanar mediante el redimensionamiento de las mallas, y el uso del comando: *Meshing-> Equivalence(Action) ->Tolerance Cube*



Tras volver a comprobar que la malla estaba bien, se paso a definir los materiales y las propiedades de los elementos.



Aunque antes habría que realizar un pequeño inciso, para explicar el motivo y la obtención de la simplificación de las propiedades del poste construido en PRFV.

El motivo es la observación en los primeros cálculos que la parte más contribuyente para la rigidez de la columna era la correspondiente a flexión, no teniendo así tanta relevancia los esfuerzos a cortantes.

Mientras que la obtención de las nuevas propiedades de este material ficticio se realizaron mediante un programa del Área de Transportes sobre la obtención de propiedades de materiales compuestos, en el que los pasos a seguir fueron

1. La introducción de las propiedades del MAT y la fibra unidireccional.
2. La prueba de someter a una carga cualquiera el nuevo material, para hallar sus límites de rotura.
3. Repetir el paso 2 hasta que el coeficiente de seguridad se aproximará lo suficiente a 1,0.



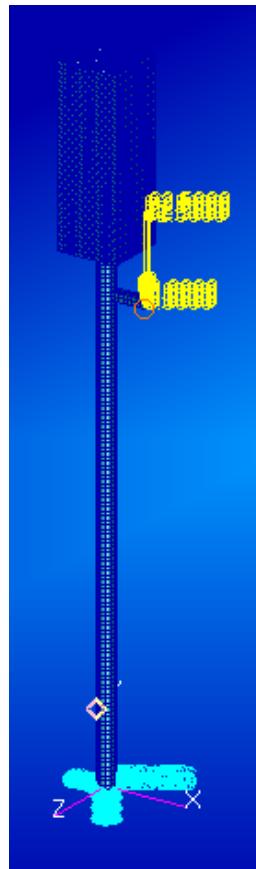
Ahora sí, se puede explicar que algunas propiedades fueron introducidas en este mismo paso ( $E, G, v, \rho$ ), con los valores que se muestran en el **Apartado 3.2** mientras que el resto habría que implementarlas en el input de cálculo más tarde.

Para el caso de a caja de luces superior, se le otorgó una densidad ficticia para que dada su geometría tuviera una masa de 50kg.

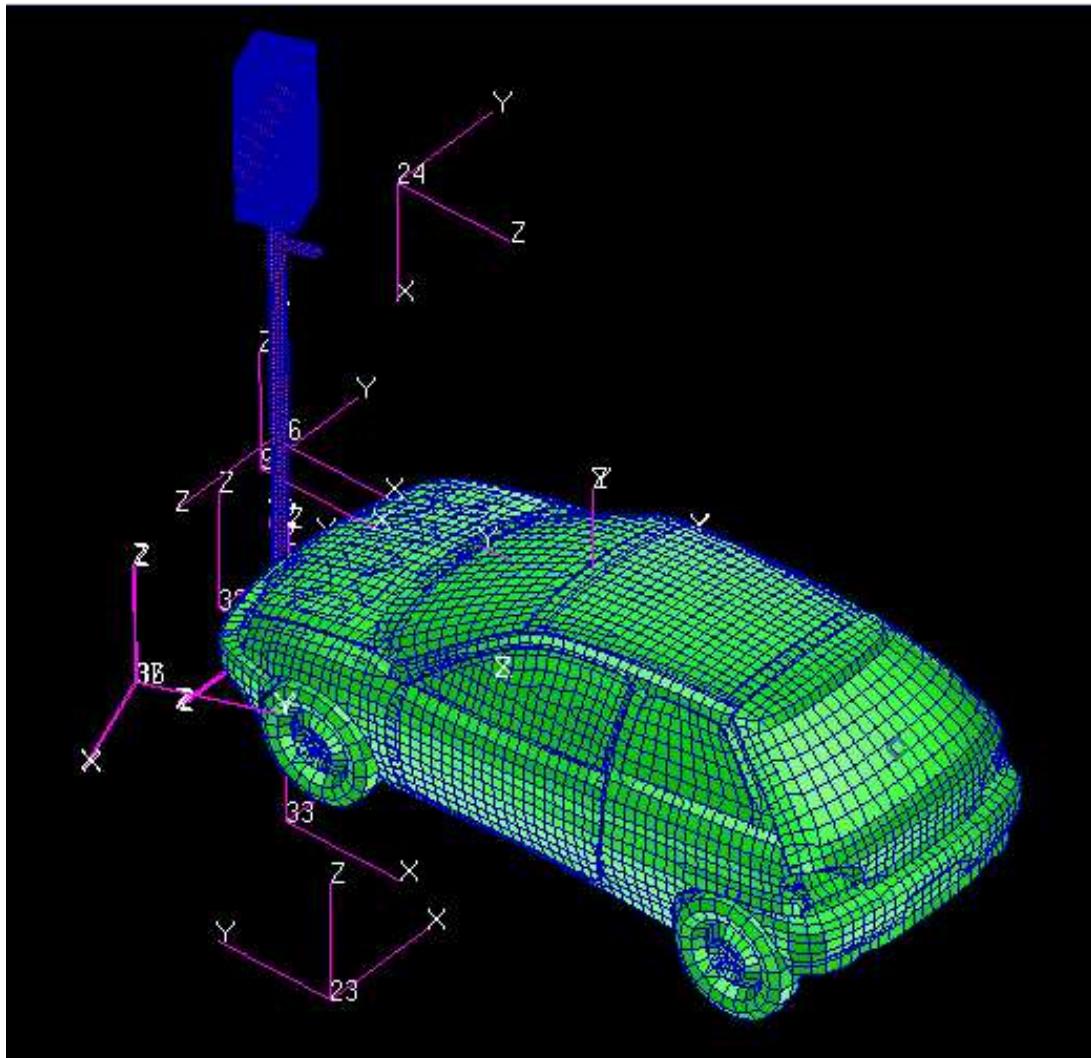
La única propiedad de elemento a definir debido a que para alguna zona del mallado se han utilizado elementos tipo *shell* con *thin*, se tratará del espesor, que tanto para el caso del poste como el del brazo lateral será de 10 mm

El siguiente paso fue definir las cargas y las condiciones de contorno:

- La substitución del peso de la caja de luces del brazo superior mediante una carga de valor 500N, distribuida toda esta entre todos los nodos del extremo del brazo.
- El empotramiento perfecto de todos los nodos del extremo inferior del poste.



Para acabar con el pre-proceso, hubo que importar el modelo del semáforo al del vehículo, facilitado por el profesor Marco Carrera. Teniendo que recolocar estos dos elementos formando el ángulo que se indica en el **Apartado 3.3**, y a la misma altura; y posicionando el semáforo cerca del frontal del coche, pero sin que el poste llegue a entrar en contacto con el paragolpes delantero.



Con el último paso, ya, simplemente de sacar un archivo input que fuera legible para el programa ABAQUS.

### F.3.- Cálculo (ABAQUS)

Antes de poder lanzar el análisis se tuvo que modificar los archivos .inp.

El principal cambio que había que sustituir, era el de la realización de un tipo de cálculo estático a uno dinámico, mediante el cambio de las líneas de texto:

\*STATIC

Por estas

\*DYNAMIC, EXPLICIT  
, 0.2,

Donde el 0.2 es el tiempo de ensayo en segundos.



Así, a su vez también hubo que definir tanto la velocidad para cada uno de los ensayos dinámicos. Introduciendo el siguiente texto

```
** InitVel_3
**
*INITIAL CONDITIONS, TYPE=VELOCITY
INITVEL_3_0, 1, -9.722222
```

Donde el -9.722222 es el la velocidad de lanzamiento en m/s.

Y como la inclusión de los elementos, y las propiedad (rozamiento) de cuando estos entran en contacto.

```
*SURFACE INTERACTION, NAME=CONTACTO
*FRICTION
0.3,
**
**
*CONTACT
*CONTACT INCLUSIONS, ALL ELEMENT BASED
*CONTACT PROPERTY ASSIGNMENT
,,CONTACTO
```

Por último, y no menos importante, había que introducir las curvas elasto-plásticas y el modelo de rotura de los materiales. Para el poste acero se corresponde con las siguientes líneas de texto:

```
*MATERIAL, NAME=ACERO_SEMAFORO
**
*DENSITY
7860.,
**
*ELASTIC, TYPE=ISO
2.5E+11, 0.28
**
*PLASTIC, HARDENING=ISOTROPIC
2.5E+8, 0.
3.02E+8, 0.039
3.38E+8, 0.086
3.81E+8, 0.174
4.26E+8, 0.255
4.73E+8, 0.329
**
*SHEAR FAILURE, ELEMENT DELETION=YES
0.329
```



Mientras que para el fabricado en PRFV, sería:

```
*MATERIAL, NAME=COMPOSITE_2_0
**
*DENSITY
  1900.,
**
*ELASTIC, TYPE=ISO
  3.187E+10,    0.32
**
*PLASTIC, HARDENING=ISOTROPIC
  3.45E+8,      0.
**
*TENSILE FAILURE, ELEMENT DELETION=YES
  3.45E+8
```

Finalizado el cálculo tras lanzar el archivo .inp con el "Abaqus Command" mediante el comando principal de llamada y unas subrutinas:

```
abq6123 j="nombre_del_archivo.inp" double cpus="nº CPUS"
```

el programa ABAQUS saca un archivo .odb, en el cual se encuentran todos los resultados que habrá que analizar.

#### **F.4.- Post-proceso (ABAQUS)**

En este último paso de la metodología el único programa que se utilizó será el ABAQUS gracias a la lectura del archivo .odb con su modulo Viewer.

Aquí habría que puntualizar que los resultados únicamente se observaran hasta que se estime que el poste, a priori el fabricado en PRFV, haya colapsado, dado que los resultados posteriores por ABAQUS no se corresponderían con la realidad.

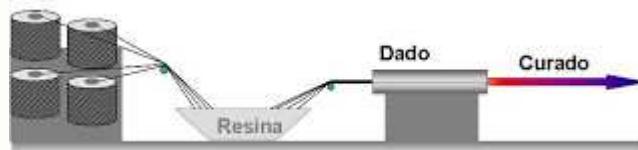


## Anexo G: Materiales compuestos

### G.1.- Pultrusión

Existe una gran variedad de procesos para la fabricación de composites, en general, consiste en colocar el refuerzo impregnado con una resina termoestable en la forma y dirección requeridas para que se consigan unas determinadas características. Siempre, el compuesto final tendrá unas propiedades superiores a los componentes por separado.

La pultrusión es un proceso continuo, automático y de molde cerrado, especialmente diseñado para altos volúmenes de producción, en cuyo caso es económicamente muy rentable. Básicamente consiste en tirar de los refuerzos impregnados con resina y el correspondiente sistema catalítico, a través de un molde a alta temperatura, de tal manera que se produce el curado de la resina en su interior y se obtienen perfiles de sección constante con la geometría del molde. Los refuerzos son impregnados con la resina mediante un baño de resina situado a la entrada del molde o por inyección de ésta en el interior del molde.



El proceso de pultrusión se utiliza para la obtención de piezas sólidas o huecas de sección constante, sustituyendo así a materiales tradicionales como son el acero, el hormigón o la madera. Una de las principales características de este proceso es la gran variedad de materiales que se pueden utilizar diferentes tipos de resinas, fibras, cargas, etc.) cubriendo un amplio espectro de propiedades del composite final.

Más del 90% de los productos fabricados mediante pultrusión son de fibra de vidrio-políester. Cuando se requiere una alta resistencia a la corrosión se usan resinas de viniléster. Si es una combinación de altas propiedades mecánicas y eléctricas se usan las resinas de epoxi y cuando se necesitan combinar una alta resistencia a la temperatura y altas propiedades mecánicas se usan las resinas epoxi combinadas con fibras de aramida o de carbono.

Las principales ventajas de la pultrusión son:

- Cualquier longitud de perfil que sea transportable puede ser pultrusionada.
- Cualquier forma compleja de sección, siempre que sea constante puede ser obtenida mediante pultrusión.
- Preformas de madera, o de espuma pueden ser incluidas de forma continua en los productos pultrusionados.
- La posibilidad de usar una amplia gama de refuerzos y preformas.
- Poca mano de obra y a la alta automatización y continuidad del proceso.
- El acabado de las piezas fabricadas mediante pultrusión es de alta calidad debido a la precisión de la superficie del molde.



Las principales desventajas de la pultrusión son:

- La alta dificultad de fabricar estructuras que no sean unidimensionales, como barras o perfiles y además de sección constante.
- La imposibilidad de orientar las fibras en ángulos óptimos.
- La necesidad de un molde de altas prestaciones con acabado muy fino y que se necesite de series de fabricación muy largas para amortizarlo.
- La velocidad del proceso es relativamente lenta.
- Se suelen dar problemas de adhesión cuando es necesario unir estas piezas mediante uniones adhesivas

## G.2.- *Fibras*

En cuanto a las fibras, se utilizan según las diferentes presentaciones industriales (hilos (roving), fieltro (MAT) de hilos continuos, tejido biaxial, laminados biaxiales, tejidos multiaxiales y velos de superficie) y la más empleada es la fibra de vidrio (90%), para mayores requerimientos estructurales se emplean las de carbono o aramida.



MAT

Para la fabricación de fibra de uso en plástico reforzado, se emplea el vidrio tipo "E", el cual es un vidrio borosílico, con escaso contenido de álcalis, (menor a 1%).

Las características de la fibra de vidrio son:

- Resistencia mecánica
- Características eléctricas
- Incombustibilidad
- Estabilidad dimensional
- Excesiva flexibilidad
- Débil conductividad térmica
- Permeabilidad dieléctrica
- Permeable a las ondas electromagnéticas
- Bajo coste



### **G.3.- Resinas**

Las resinas termoestables más comunes utilizadas para pultrusión son: poliéster insaturada (85%), viniléster (7%), epoxi (5%), fenólicas (2%) y otras (1%). Otras, que hoy están cobrando importancia, son las resinas poliuretánicas

Son compuestos obtenidos por policondensación de uno o varios glicoles con uno o varios diácidos donde por lo menos uno de ellos contiene el doble enlace etilénico.

En la práctica, la resina poliéster insaturada se obtiene por policondensación del anhídrido maléico, anhídrido ftálico y polipropilenglicol. El polímero obtenido es disuelto en estireno. Esta solución puede copolimerizar, bajo la acción de radicales libres o por el calor.

La copolimerización conduce al endurecimiento y se realiza sin eliminación de productos secundarios y sin necesidad de presiones ni de temperaturas elevadas.

La configuración y la composición química de la resina poliéster endurecida determinan sus características y sus propiedades (flexibilidad, dureza, resistencias mecánica, química, térmica, etc.).

Las resinas de poliéster más utilizadas son la de tipo ortoftlico e isoftalico. Estas últimas presentan propiedades superiores desde el punto de vista de comportamiento ante ataques químicos y medioambientales

Normalmente, los gel coats o capas superficiales de resina son suficientes para resolver la mayoría de los problemas medio-ambientales (ataques químicos, agua y humedad).

Sin embargo, cuando el material compuesto está sometido a abrasión o a altas temperaturas, lo más eficiente es ejecutar la pieza de materiales compuestos como si no hubiera tal requerimiento y posteriormente añadir el recubrimiento adecuado.

### **G.4.- Un ejemplo real de postes de PRFV**

Estos semáforos se encuentran en la Villa Olímpica de Barcelona, y son fabricadas por la empresa COMPOSITEC S.A.L. Situada en Reus (Tarragona), dedica la mayor parte de su actividad a la fabricación de productos destinados a la señalización viaria, como postes semafóricos y columnas de alumbrado público. Todas ellos realizados con poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV.).



Villa Olímpica (Barcelona)

Dichas columnas presentan grandes ventajas, frente a las tradicionales columnas metálicas:

- Total aislamiento eléctrico: La alta rigidez dieléctrica del material, superior a los 30.000 V por milímetro de espesor, impide absolutamente cualquier posibilidad de paso de corriente.
- Facilidad de montaje y mantenimiento: Su ligereza (5 veces más ligero que el acero), permiten un montaje fácil y sin necesidad de grúas. El mantenimiento es prácticamente nulo, ya que estas columnas están pensadas para durar años sin necesidad de aplicar una capa de pintura.
- Economía: Gracias a su total aislamiento se elimina la necesidad de tener líneas de tierra, suponiendo un gran ahorro global en la obra. Su bajo coste de mantenimiento, permite reducir drásticamente los costes posteriores de conservación.
- Resistencia a la corrosión: El propio material, y el recubrimiento exterior con lacas de poliuretano, proporciona la mayor resistencia a los agentes atmosféricos

Todas estas características hacen de estas columnas el producto ideal para la iluminación de parques y jardines, paseos marítimos, campos de golf, sin olvidar, por supuesto, la iluminación de calles, plazas y avenidas. La aplicación de nuestras columnas para señalización semafórica proporciona una mayor fiabilidad en la regulación, y por tanto una mayor seguridad vial.



La estructura de cada uno de los tramos de los que está constituida el poste ha sido especialmente diseñada para optimizar el comportamiento de la misma frente a impacto, siguiéndose las siguientes conclusiones extraídas de los ensayos realizados por la empresa:

1. Los laminados menos rígidos y con posibilidad de alcanzar mayores niveles de deformación antes de la rotura (construidos de MAT), son especialmente indicados para su aplicación en las superficies externas por su posibilidad de absorción de energía más elevada que otro tipo de láminas, mientras que es más interesante la aplicación de otras láminas con una rigidez y resistencia más elevada en una dirección (láminas unidireccionales), en la zona interior del apilamiento.

*Aplicación:* Todos los apilamientos analizados han sido diseñados con una capa externa de MAT, la cual a su vez se encuentra protegida por una capa de resina que no se considera de cara a su aportación en rigidez y resistencia, pero si dota a la estructura de una protección frente a impacto, dado su elevado nivel de absorción de energía específica. Además, la capa unidireccional se ha situado en la zona interior del laminado, envuelta por dos zonas de enrollamiento continuo, en todos los laminados analizados.

2. Los laminados bidireccionales son más eficientes en resistencia al daño por impacto que los tridimensionales o unidireccionales.

*Aplicación:* Este punto explica porqué las láminas unidireccionales se encuentran en una posición más alejada de la superficie que las de enrollamiento continuo.

3. En los apilamientos gruesos, el impacto produce daño local justo debajo de la superficie, mientras que en los apilamientos delgados el daño se produce en la cara posterior del apilamiento.

*Aplicación:* En ambos tramos de la farola se tienen apilamientos gruesos, en los que en caso de daño por impacto, este se concentraría principalmente en la zona externa, constituida por resina y MAT, manteniendo a salvo las láminas que principalmente constituyen la base de rigidez y resistencia de la estructura.

4. Las construcciones que utilizan dispersión de sus láminas a través del espesor son más resistentes al daño que aquellas en las que sus láminas se encuentran sin dispersar.

*Aplicación:* Todos los apilamientos analizados han sido diseñados utilizando cuatro zonas diferentes, estando a su vez las zonas de enrollamiento continuo constituidas por láminas a ~ 45°. Además, esto justifica la división del enrollamiento continuo en dos zonas.



En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos para el laminado estudiado en ambos casos de carga.

Caso analizado	Rotura total del semáforo	Velocidad de salida del vehículo	Daños en el vehículo	Energía Cinética absorbida en el impacto	Categoría de absorción de energía del semáforo
<b>Choque contra el semáforo de acero a 35km/h</b>	NO	8,64 km/h	Pequeños	78.000 J	Alta absorción de energía (HE)
<b>Choque contra el semáforo de acero a 50km/h</b>	NO	14,4 km/h	Graves en la cabina	163.000 J	Alta absorción de energía (HE)
<b>Choque contra el semáforo de material compuesto a 35 km/h</b>	SI	33,5 km/h	Pequeños	10.000 J	Sin absorción de energía (NE)
<b>Choque contra el semáforo de material compuesto a 50 km/h</b>	SI	48,2 km/h	Pequeños	10.000 J	Sin absorción de energía (NE)