

Trabajo final de Grado

## ANEJO 4 – ESTUDIO DE LA SEGURIDAD VIAL

---

Análisis funcional y de seguridad vial de la carretera N-332 a su paso por los términos municipales de Gandía y Bellreguart entre los PK 220+700 y PK 220+900 (provincia de Valencia)

GRADO EN INGENIERÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SEPTIEMBRE 2019

Curso 2018/19

Autor: Renato A. Aragundi Echeverría

Tutor: Vicente Melchor Ferrer Pérez



# ÍNDICE DEL ANEJO 4

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL ESTUDIO</b>	<b>3</b>
<b>2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b>	<b>3</b>
<b>2.1. MEDICIÓN DE LA ACCIDENTALIDAD</b>	<b>3</b>
2.1.1. INTRODUCCIÓN A LA ACCIDENTALIDAD	3
2.1.2. DATOS DE ACCIDENTES	3
2.1.3. LA SINIESTRALIDAD EN LAS ZONAS PERIURBANAS Y SU RELACIÓN CON LA VELOCIDAD	3
2.1.4. MEDICIÓN DE LA SINIESTRALIDAD	4
2.1.5. ANÁLISIS DE LOS ACCIDENTES.	6
2.1.6. CONDICIONES PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL TCA	6
<b>2.2. FACTORES CONCURRENTES EN LA SEGURIDAD VIAL. PRINCIPALES CAUSANTES DE ACCIDENTES</b>	<b>7</b>
2.2.1. FACTOR HUMANO	7
2.2.2. FACTOR VEHÍCULO	8
2.2.3. FACTOR INFRAESTRUCTURA	8
2.2.4. FACTOR TRÁFICO	8
2.2.5. FACTOR ENTORNO	9
<b>3. DIAGNÓSTICO DE SEGURIDAD VIAL</b>	<b>9</b>
<b>3.1. LISTADO DE PROBLEMAS DE SEGURIDAD VIAL</b>	<b>9</b>
3.1.1. EXCESO DE VELOCIDAD EN EL TRAMO DE ESTUDIO	10
3.1.2. RETENCIONES EN ZONAS INESPERADAS	10
3.1.3. INEXISTENCIA O INUTILIZACIÓN DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN LA MAYOR PARTE DEL TRAMO DE ESTUDIO	10
3.1.4. PUNTO DE ACCESO CONFLICTIVO AL POLÍGONO	11
3.1.5. MANIOBRAS NO PERMITIDAS	11
3.1.6. NÚMERO ELEVADO DE VEHÍCULOS PESADOS	12
<b>4. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN EN MATERIA DE SEGURIDAD VIAL</b>	<b>12</b>
<b>4.1. ALTERNATIVA 1</b>	<b>12</b>
4.1.1. CARRIL ESPECÍFICO PARA GIRO A DERECHAS EN EL ACCESO 2	12
<b>4.2. ALTERNATIVA 2</b>	<b>12</b>
4.2.1. INCORPORACIÓN DE GLORIETA EN EL PK 220+050 DE LA N-332.	12
<b>4.3. MEJORAS COMUNES A AMBAS ALTERNATIVAS</b>	<b>13</b>
4.3.1. ENSANCHAMIENTO DE LA CALZADA	13
4.3.2. REMODELACIÓN DEL ACCESO 2	13
4.3.3. CARRIL COLECTOR DE ACCESOS	13
4.3.4. PASO DE PEATONES SOBREELEVADO	13
<b>4.4. OTRAS ACTUACIONES</b>	<b>13</b>
4.4.1. REDUCTORES DE VELOCIDAD (RDV)	13
4.4.1.1. Reductor prefabricado. Resaltos.	14



4.4.1.2. Reductor de velocidad in situ. Paso peatonal elevado.	14
4.4.2. DOBLE LÍNEA CENTRAL CON CAPTAFAROS	14
4.4.3. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL DE LA GLORIETA PROYECTADA	15
4.4.4. ILUMINACIÓN EN CARRETERA	15
4.4.4.1. Iluminancia media ( $E_m$ )	15
4.4.4.2. Flujo de la lámpara ( $\Phi_l$ )	16
4.4.4.3. Disposición de las luminarias	16
4.4.4.4. Factor de mantenimiento ( $F_m$ )	16
4.4.4.5. Factor de utilización ( $U$ )	16
4.4.4.6. Cálculos	17
<b>5. EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS</b>	<b>17</b>
5.1. CARRIL EXCLUSIVO PARA GIRO A LA DERECHA. ALTERNATIVA 1.	17
5.2. PASO DE UNA INTERSECCIÓN A UNA GLORIETA. ALTERNATIVA 2.	17
5.3. AÑADIR ILUMINACIÓN A UNA INTERSECCIÓN	17
5.4. INSTALACIÓN DE SEÑALIZACIÓN DE TRÁFICO EN UNA INTERSECCIÓN	18
5.5. AÑADIR LÍNEA CENTRAL VIBRATORIA	18
5.6. INSTALACIÓN DE GUARDARAIL	18
<b>6. REFERENCIAS</b>	<b>18</b>
<b>APÉNDICE 1 - ANÁLISIS DE LOS ACCIDENTES</b>	<b>19</b>
<b>APÉNDICE 2 - TABLAS PARA EL CÁLCULO DE LOS ACCIDENT MODIFICATION FACTORS</b>	<b>26</b>
<b>APÉNDICE 3 - ILUMINACIÓN</b>	<b>30</b>

## 1. Introducción y objeto del estudio

El objeto del presente anejo consiste en diagnosticar y solucionar los problemas de seguridad vial que afectan al tramo comprendido entre los P.K. 219+700 y 220+900 de la carretera N-332.

En primer lugar, se realizará un análisis exhaustivo de la situación actual, aportando datos de accidentes y observando los factores que concurren en la generación de accidentes. A continuación, se realizará un diagnóstico de seguridad vial, identificando los problemas más importantes desde este punto de vista. Seguidamente se propondrán medidas con el objetivo de eliminar los problemas identificados con anterioridad, o bien, reducir su efecto. Por último, se analizará la efectividad de las medidas implantadas y se desarrollarán sus respectivos perfiles de velocidad de operación.

## 2. Análisis de la situación actual

### 2.1. Medición de la accidentalidad

#### 2.1.1. Introducción a la accidentalidad

Los accidentes son aquellos sucesos imprevistos que causan alteraciones en la marcha normal de las cosas y producen un daño. En el caso de los accidentes de tráfico estará implicado un vehículo en movimiento y tiene lugar en una vía pública.

Se denomina víctima de un accidente de tráfico a toda persona que resulte muerta o herida en dicho accidente. En función de las víctimas, los accidentes pueden clasificarse en:

- accidente con víctimas, cuando una o varias personas resultan muertas o heridas
- accidente mortal, cuando una o varias personas resultan muertas dentro de las primeras 24 horas
- accidente con solo daños materiales, cuando no se han ocasionado ni muertos ni heridos

Y según el tipo de víctimas, se pueden clasificar en:

- muertos, cuando fallecen en el acto o dentro de los 30 días siguientes
- heridos, cuando no ha resultado muerto en un accidente de circulación, pero que ha sufrido una o varias heridas graves o leves.

En el caso de los fallecidos se contabilizan la totalidad dentro de las primeras 24 horas y para el resto se disponen de factores de corrección. Los heridos a su vez pueden ser: graves cuando su estado precisa una hospitalización superior a 24 horas y leves, todos aquellos que no sean graves.

Los accidentes de tráfico se caracterizan por ser raros, aleatorios y discretos. Raros en el sentido de que su frecuencia es baja y, por tanto, se necesita contar con una gran cantidad de datos. Son aleatorios ya que tienen una gran variabilidad y no siguen una distribución clara, siendo necesario

emplear grandes series temporales y, por último, cabe destacar que se consideran como valores enteros no negativos.

En consecuencia, el número de accidentes que se producen en un tramo durante un año está sometido a variaciones aleatorias debidas a la propia naturaleza del fenómeno de la accidentalidad. Por ello, se consideran los datos de accidentes de cinco años.

#### 2.1.2. Datos de accidentes

Los datos que se disponen de los accidentes proceden de la DGT (Dirección general de tráfico).

En la *Tabla 1 – Resumen de los accidentes en el tramo de estudio de la N-332* se muestran los accidentes con víctimas, tanto muertos como heridos, entre los años 2011 y 2019 que se han reportado a lo largo del tramo de estudio comprendido entre los P.K. 219+700 y 220+900. Además, se ha incluido una columna con los datos de accidentes sin víctimas registrados por la DGT. A pesar de que no todos los accidentes son registrados, ya que muchas veces, todo queda entre aseguradoras y no se da aviso a otras autoridades, se ha considerado interesante incluirlo para ver que existe un importante número de accidentes con sólo daños materiales y por tanto habrá que tenerlo en cuenta para buscar una solución a este problema de seguridad vial.

#### 2.1.3. La siniestralidad en las zonas periurbanas y su relación con la velocidad

A diferencia de las zonas urbanas, en las zonas periurbanas e industriales como en la que nos encontramos, las intersecciones constituyen la mayor fuente de riesgo. En nuestra zona, al no encontrarse directamente en el núcleo de población, los peatones no suponen un factor de riesgo significativo para el tráfico.

Por otra parte, es la velocidad inadecuada o excesiva la que influye en gran medida en la probabilidad de sufrir una colisión.

Es importante destacar que, la velocidad, en sí misma, no constituye una causa de siniestralidad, puesto que es un efecto del movimiento de traslación de los vehículos y no un indicador del equilibrio del mismo. Es la falta de ese equilibrio en el sistema que constituye el estado del conductor, las características de la vía y el entorno, y las características del vehículo, lo que aumenta el riesgo de accidente.

A igualdad de condiciones en el estado del conductor, la vía, el entorno y el vehículo, es cierto que una velocidad menor proporciona al conductor más tiempo para percibir un evento inesperado y que la distancia recorrida durante la reacción es inferior, al igual que la distancia de frenado necesaria. Por ello, en las condiciones urbanas, donde existen múltiples peligros por la gran cantidad de usuarios que transitan las vías, es importante que la velocidad sea moderada y compatible con los usos urbanos. En consecuencia, la no adecuación de la velocidad de los conductores a las características de la vía, el entorno, el vehículo y las condiciones del propio conductor es un factor de riesgo de accidente.

Año	2011					2012					2013					2014					2015					2016					2017					2018					2011-2018				
PK	ACV	M	HG	HL	SV	ACV	M	HG	HL	SV	ACV	M	HG	HL	SV	ACV	M	HG	HL	SV	ACV	M	HG	HL	SV	ACV	M	HG	HL	SV	ACV	M	HG	HL	SV	ACV	M	HG	HL	SV					
220	1	0	0	1	3	0	0	0	0	1	1	0	0	1	2	4	0	0	4	0	1	0	0	1	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	7	0	0	7	12
220,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	6	0	0	6	1	
220,2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	1	5	3	
220,3	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	1	0	0	0	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	9	1	0	8	4	
220,4	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	2	0	0	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	8	0	0	8	2		
220,5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	1	0	0	1	1	7	0	0	7	5
220,6	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	4		
220,7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	5	4		
220,8	3	0	0	3	3	2	0	0	2	3	3	0	0	3	7	1	0	0	1	5	2	0	0	2	2	4	0	0	4	6	2	0	1	1	6	1	0	0	1	5	18	0	1	17	37
TOTAL	5	0	0	5	8	4	0	0	4	4	11	0	0	11	12	12	0	0	12	6	9	0	0	9	10	13	1	1	11	10	6	0	1	5	9	4	0	0	4	9	68	1	2	65	72

Tabla 1. Resumen de accidentes en el tramo de estudio  
ACV: Accidente con víctimas; M: muertes; HG: heridos graves; HL: Heridos Leves; SV: sin víctimas

Existen diversas investigaciones que relacionan qué velocidad produce qué daño. En este proyecto me gustaría recalcar aquella que relaciona la velocidad de impacto con la probabilidad de fallecimiento de un peatón. Rosén et al., 2010 determina que para una velocidad de impacto de 30 km/h, la probabilidad de fallecimiento es del 8 %, mientras que para 40 km/h aumenta al 30% y con 50 km/h, el 88% de los atropellados por un vehículo fallecerían. Actualmente en la travesía por el polígono del Velló la velocidad límite es de 50 km/h. Esto supone que, en caso de atropello a un peatón, la probabilidad de sobrevivir al impacto con una velocidad de 50km/h sería del 22%, por lo que habrá que tenerlo en cuenta para buscar soluciones a este problema de seguridad vial posteriormente.

#### 2.1.4. Medición de la siniestralidad

La medición de la siniestralidad se puede realizar de dos formas distintas: bien analizando la frecuencia de accidentes, que relacionan el número de accidentes con la longitud o el tiempo, o bien, analizando las tasas de siniestralidad que establecen la relación entre el número de accidentes y la exposición al riesgo. Este segundo indicador es el más empleado ya que la peligrosidad entre un tramo y otro no se pueden comparar únicamente con la frecuencia de los accidentes, sino que es necesario relacionarlo con la carga de tráfico que tiene cada tramo. El problema de la siniestralidad en aquellos tramos con igualdad de frecuencia de accidentes no es de igual magnitud si la exposición al riesgo difiere de un tramo a otro. Por tanto, en la medición de la siniestralidad, será necesario considerar tanto la frecuencia de accidentes como la exposición al riesgo.

A continuación, se procederá al análisis de las diferentes tasas de siniestralidad. Previamente al cálculo de las mismas, se detallará en la *Tabla 2 – Extracto de la Tabla 1* -el resumen de los datos más importantes que se pueden extraer de la Tabla 1 para poder calcular las diferentes tasas de siniestralidad. Seguidamente, se explicará cada indicador con su respectivo cálculo. En este estudio se analizarán los índices de peligrosidad, de mortalidad, de gravedad y de accidentalidad total.

Año	2013	2014	2015	2016	2017	2013-2017
IMD (veh/día)	21280	18938	22927	25512	26059	114716
Accidentes con víctimas	11	12	9	13	6	51
Muertos	0	0	0	1	0	1
Heridos Graves	0	0	0	1	1	2
Heridos Leves	11	12	9	11	5	48
Accidentes con daños	12	6	10	10	9	47
Longitud	1100m					

Tabla 2. Extracto de la tabla 1. Fuente: DGT

**Índice de peligrosidad:** relaciona el número de accidentes con víctimas en los últimos cinco años con el tráfico registrado en dicho periodo. Se mide por cada 100 millones de vehículos km.

$$IP = \frac{n^{\circ} \text{ de accidentes con víctimas}}{\sum_{i=2010}^{2014} IMD_i \cdot 365 \cdot Longitud}$$

$$IP = \frac{51}{114716 \cdot 365 \cdot 1100} = 110 \frac{\text{Acc. con víctimas}}{10^8 \text{ veh.km}}$$

**Índice de mortalidad:** relaciona el número de víctimas mortales en los últimos cinco años con el tráfico registrado en dicho periodo. Se mide por cada 100 millones de vehículos km.

$$IM = \frac{n^{\circ} \text{ víctimas mortales}}{\sum_{i=2010}^{2014} IMD_i \cdot 365 \cdot Longitud}$$

$$IM = \frac{1}{114716 \cdot 365 \cdot 1100} = 2.170 \frac{\text{vic. mortales}}{10^8 \text{ veh. km}}$$

**Índice de gravedad:** relaciona el número de víctimas mortales en los últimos cinco años con el número de accidentes con víctimas. Se mide por cada 100 accidentes con víctimas.

$$IG = \frac{n^{\circ} \text{ de víctimas mortales}}{n^{\circ} \text{ de accidentes con víctimas}}$$

$$IG = \frac{2.170}{110} = 0.0197$$

**Índice de Accidentalidad total:** relaciona el número de accidentes totales (con víctimas y con solo daños materiales) con el tráfico registrado.

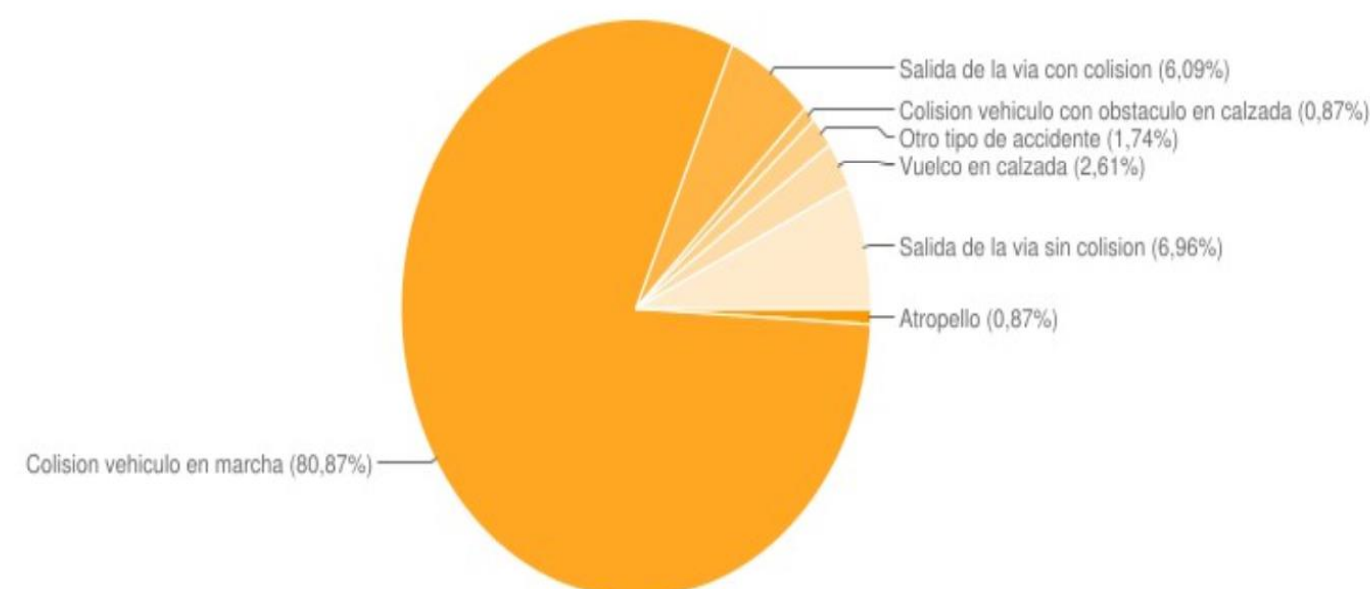
$$IAT = \frac{n^{\circ} \text{ de accidentes con víctimas} + n^{\circ} \text{ de accidentes con daños}}{\sum_{i=2010}^{2014} IMD_i \cdot 365 \cdot Longitud}$$

$$IAT = \frac{51+47}{114716 \cdot 365 \cdot 1100} = 212.7 \frac{\text{acc. con víctimas}}{10^8 \text{ veh. km}}$$

## LESIVIDAD



## ACCIDENTES POR TIPO





### 2.1.5. Análisis de los accidentes.

A través del análisis de los partes de accidentes en el tramo de estudio (ver apéndice 1) podemos obtener algunas conclusiones interesantes.

Estos partes han sido clasificados y ordenados según su PK, año, hora, sentido, severidad y causa.

Conclusiones:

- Se ha producido una importante disminución de los accidentes a partir del año 2017. Se presume que se debe a la finalización de las obras de ampliación de la rotonda Sur de Gandía.
- La gran mayoría de los accidentes se produce por alcances en las retenciones que se producen en ambos sentidos.
- También son concurrentes las colisiones con motocicletas en las intersecciones y durante las retenciones por la tendencia de las motocicletas a adelantar por el arcén.
- El único accidente mortal se produjo por una imprudencia de la víctima al circular en por la noche sin chaleco reflectante. Aun así, se considera que una iluminación apropiada hubiera podido evitar el accidente.

### 2.1.6. Condiciones para la identificación del TCA

La Dirección General de Carreteras emplea el término "tramo de concentración de accidentes" (TCA) para referirse a los puntos peligrosos de una red de carreteras; considerándose como tal aquel tramo de la red que presenta un riesgo de accidente significativamente superior a la media de tramos de características semejantes, y en el que, previsiblemente, una actuación de mejora de la infraestructura puede conducir a una reducción efectiva de la accidentalidad.

A continuación, se definirán los criterios de identificación de los tramos de concentración de accidentes. En primer lugar, para determinar si un tramo de carretera es un TCA debe cumplir la condición inicial:

$$\begin{aligned} IP_{5\text{años}} &\geq P \\ SACV_{5\text{años}} &\geq N \end{aligned}$$

Siendo:

$IP_{5\text{años}}$  = Índice de peligrosidad medio en los últimos 5 años. Medido en número de accidentes con víctimas por cada 100 millones de vehículos

$SACV_{5\text{años}}$  = Suma de todos los accidentes con víctimas en los últimos 5 años

P y N = Constantes dependientes del tipo de tramo (Tipo de vía, etc.)

Los valores de P y N están tabulados en tablas y se obtienen del estudio estadístico de carreteras con características similares en cuanto a tipología, intensidad diaria y zona en la que se sitúan, obteniendo sus valores medios y desviaciones. En el caso de carreteras convencionales, los valores de P y N que se obtienen son:

IMD	Urbano		Periurbano		Interurbano	
	P	N	P	N	P	N
0-3000	230	10	41	5	141	10
3000-5000	113	5	106	5	65	5
5000-8000	96	5	89	5	73	5
8000-15000	84	7	73	6	74	6
>15000	65	9	81	11	45	6

Tabla3- Valores de P y N. Fuente: DGT

Como por el tramo de estudio de la nacional discurre una IMD mayor a 15000 vehículos/día, y consideramos una zona urbana, entonces la P y la N equivalen a 81 y 11, respectivamente. La P y la N son por sentido de circulación y, por tanto, si no se tiene en cuenta el sentido de la circulación, deben multiplicarse por dos. En cambio, la IMD es la IMD total. De esta forma, se tendrá:

$$\begin{aligned} P_{\text{cálculo}} &= 162 \\ N_{\text{cálculo}} &= 22 \end{aligned}$$

A continuación, ya se disponen de datos suficientes para averiguar si el tramo que se está estudiando puede considerarse como tramo de concentración de accidentes tal y como establece la Dirección General de Carreteras.

$$\begin{aligned} IP_{5\text{años}} \geq P &\rightarrow 110 \frac{\text{Acc. con víctimas}}{10^8 \text{ veh.km}} \leq 162 \\ SACV_{5\text{años}} \geq N &\rightarrow 51 \text{ accidentes con víctimas} \geq 22 \end{aligned}$$

Se observa que sólo se cumple una de las dos condiciones necesarias por lo que no es considerado un tramo de concentración de accidentes.

A pesar de ello, se podía observar hasta hace unos meses la señal de tramo de concentración de accidentes. Esto se debía al gran aumento en el número de accidentes que se producían en el tramo comprendido entre los PK 220+500 y PK 221+600. Esta problemática mejoró notablemente a partir del

año 2017, año en el que las obras de ampliación y mejora de la rotonda Sur de Gandía finalizaron. Ver detalle de accidentes en el Apéndice 1.



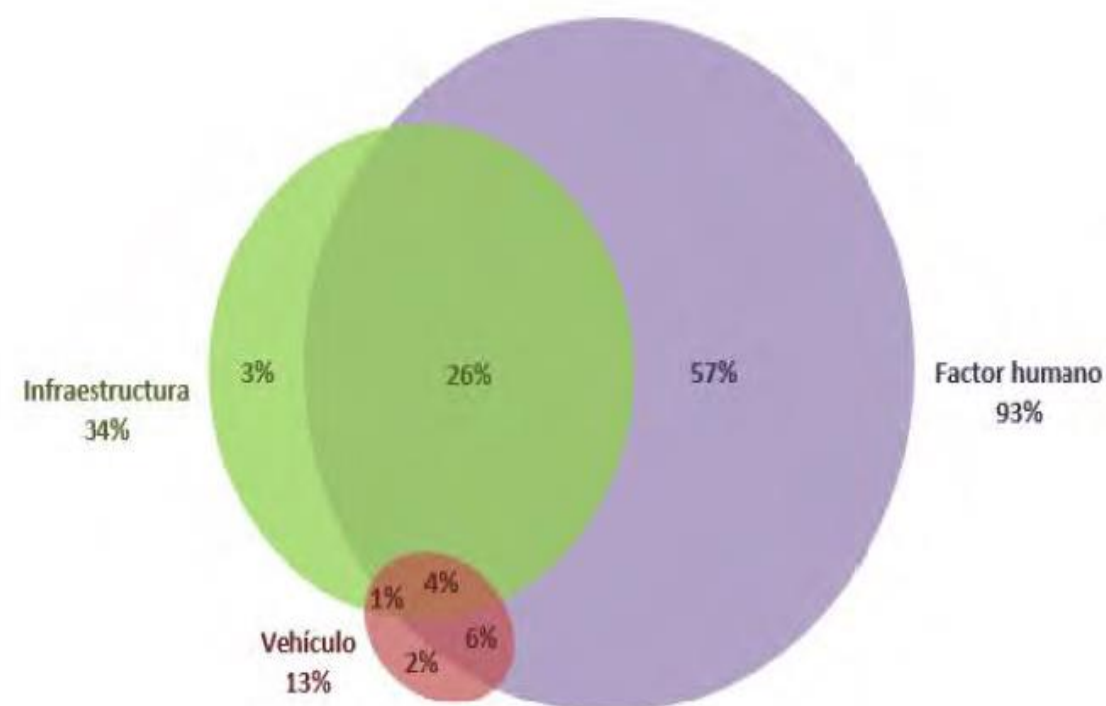
Fig.3. Señal de TCA en el PK 221+600

## 2.2. Factores concurrentes en la seguridad vial. Principales causantes de accidentes

Las principales causas de los accidentes de tráfico no son el resultado de un simple factor, sino más bien la conjunción de varios factores. Por ello, es importante definir cuál es el grado de participación de cada uno de ellos en la ocurrencia de un accidente dentro de la compleja red de interacciones entre el conductor, el vehículo, la vía, el tráfico y su entorno. Este apartado se centrará en el análisis de los factores más importantes que pueden ser susceptibles de intervenir en este proceso de creación de accidentes dentro del tramo que se está estudiando de la nacional. Los de mayor importancia se presentan en la Figura 4 junto con el porcentaje de afección que cada uno representa, tanto de manera individual como de manera conjunta:

El trazado de la N-332 en las inmediaciones de la zona de estudio se desarrolla en una zona poco montañosa con trazados mayormente rectilíneos donde se llegan a alcanzar velocidades elevadas y consistencia aceptable con una gran homogeneidad, de forma que el conductor consigue adquirir mucha percepción virtual. Es decir, debido a las características del trazado, el conductor sabe sin haber pasado previamente por la misma, lo que se le va a presentar. Con esto se consigue reducir la necesidad de percibir información adicional.

Fig 4. Factores concurrentes en la siniestralidad. Fuente: asignatura Seguridad Vial



Pero en el momento en que el conductor empieza a aproximarse a la travesía, en un tramo que discurre por suelo urbano, se produce un cambio en la monotonía de la circulación que debe ser señalizada correctamente. En este caso, se advierte de dicho cambio mediante la reducción de la velocidad en toda la travesía.

### 2.2.1. Factor humano

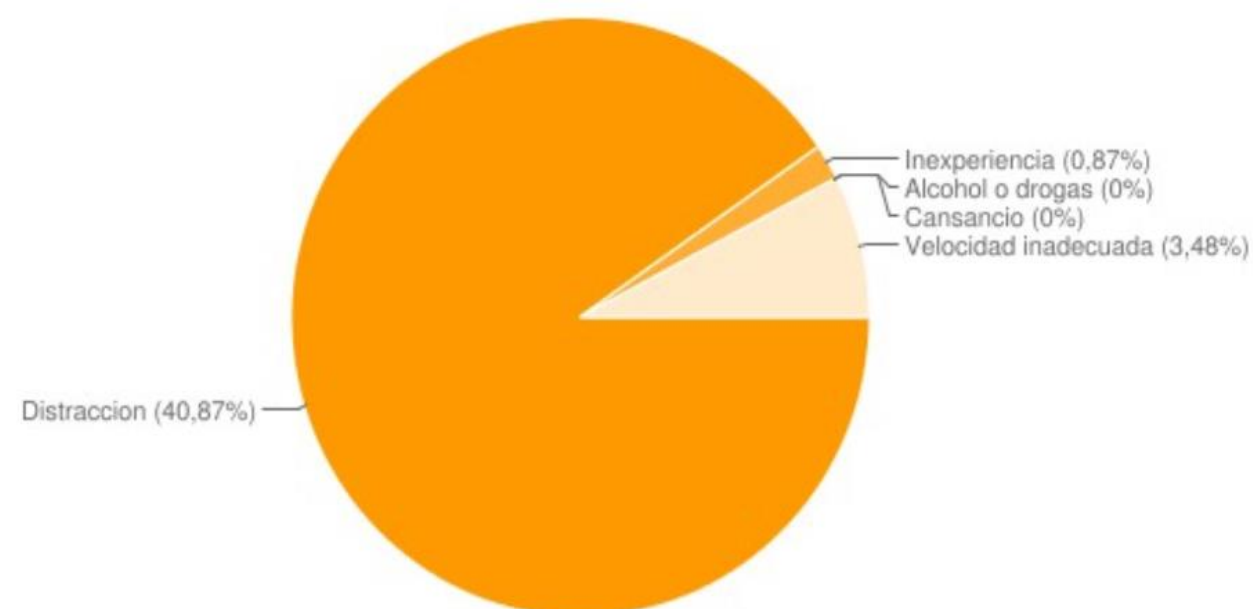
Es una de los factores más influyentes puesto que sobre la infraestructura o sobre el vehículo sí que se puede actuar, pero sobre el comportamiento humano es difícil influir. El análisis de la seguridad vial requiere conocer ciertos conceptos sobre el proceso de percepción-reacción del ser humano, que están detrás de los errores asociados a dicho factor. Por tanto, será necesario analizar como interactúa el conductor con la infraestructura, con el fin de detectar fallos que puedan ser causa de accidentes en la carretera.

Entre otras muchas causas de accidentes causadas por el propio conductor en la carretera de estudio o cualquier otra pueden ser:



- Deficiente interpretación de las condiciones del tráfico
- Efectuar adelantamientos en lugares prohibidos.
- Peatones que cruzan por lugares inadecuados, o transitan sin el chaleco reflectante reglamentario.
- Conducir a exceso de velocidad
- Toma de accesos a velocidad elevada.
- Distracciones al volante que provocan accidentes por alcance o salida de vía
- Cambios de dirección en zonas no habilitadas para ello.

ACCIDENTES POR FACTOR CONCURRENTE



Como se ha enumerado anteriormente uno de los factores que favorecen la accidentalidad es la distracción. En el caso del tramo de estudio, este factor supone más de un 50 % de los accidentes (Véase Figura 5). Es por ello que en este estudio de Seguridad Vial se van a intentar adoptar medidas que llamen la atención tanto de conductores como de peatones para que las distracciones disminuyan.

Además, hay que tener en cuenta el tema relacionado con las expectativas frente a la percepción visual. Se debe diferenciar entre los conductores que no conocen la carretera y los que la conocen. Existe una dualidad de comportamiento entre un conductor que solo sabe lo que ve frente a otro que sabe a lo que se va a enfrentar.

### 2.2.2. Factor vehículo

Intervienen en la generación de accidentes debido generalmente a un pésimo mantenimiento. A esto hay que añadir que cada vehículo tiene unas determinadas particularidades y, en consecuencia, los ingenieros no pueden intervenir. Las causas de posibles accidentes debido a este factor pueden ser:

- Vehículo en condiciones no adecuadas para su operación que puede provocar sistemas averiados de frenos, dirección o suspensión
- Mantenimiento inadecuado del vehículo

### 2.2.3. Factor infraestructura

Es el factor que más interactúa con el humano y es donde, a su vez, el papel del ingeniero civil cobra mayor protagonismo siempre teniendo presentes las limitaciones en cuanto a presupuesto o impacto ambiental entre otras. Especial atención requieren las carreteras convencionales como la tratada en el presente trabajo por su mayor tasa de accidentalidad, además es necesario visualizar las carreteras en su conjunto con el fin de evitar traslación de accidentes de un tramo a otro. Algunos puntos clave son:

- Pavimento (superficie húmeda, problemas de superficie y mejoras del pavimento)
- Influencia de las medianas (barreras)
- Accesos: mayor número de accesos, mayor número de puntos de conflictos y por lo tanto más probabilidad de ocurrencia de accidentes
- Márgenes de la vía, estado y elementos.
- Elementos de señalización
- Iluminación

### 2.2.4. Factor tráfico

Distintos estudios han demostrado la relación existente entre el aumento de accidentes con el aumento de los vehículos a motor. Pero no solamente esto, sino que un aumento del volumen de tráfico va a implicar un mayor riesgo de accidente para los peatones y los ciclistas. En el caso de la carretera de estudio, el volumen de tráfico es bastante elevado, lo que da a entender que el número de accidentes que puede ocasionar será grande.

El problema recae en la gran disparidad de velocidades que puede llegar a tener el tramo de estudio. En un primer plano, aparecen los vehículos que tienen su destino en las zonas contiguas a la carretera, y se manifiesta mediante velocidades más reducidas. En contraposición, se encuentran los vehículos que discurren por la nacional como tráfico de paso a una velocidad mucho mayor, sin destino en las zonas anexas a la carretera. Esta gran disparidad de velocidades hace que el riesgo de ocurrencia de un accidente sea mucho mayor. A esto hay que añadir la concentración de vehículos pesados que circulan por la nacional.



Fig.6. Vehículos en retención. Sentido Valencia.

#### 2.2.5. Factor entorno

La conducción hay que situarla dentro de un entorno físico que permita el desarrollo del sistema de tráfico. Va a representar cualquier tipo de exigencia que deberá ser sometido el conjunto vehículo-conductor, bajo unos elementos ambientales que no se podrán alterar. Por tanto, dentro de este factor se incluirá tanto las características de la calzada o vía por la que se circula y su entorno y las condiciones ambientales inalterables.

Las características de la calzada o vía que pueden ser partícipes de la ocurrencia de los accidentes pueden derivarse de: su planteamiento y construcción, trazado, pavimentación, anchura, resistencia al deslizamiento, número de carriles, la pendiente, el peralte, etc.

El diseño del entorno de la vía deberá incluir elementos que se consideren componentes de la vía por su influencia en la conducción, incluyendo desde la localización de señales, bolardos, barreras protectoras, señalización y otros objetos del mobiliario urbano, etc.

Si se analiza la climatología e incidencias habrá que tener en cuenta: la niebla, lluvia, nieve o hielo, obras en la vía, cruce de animales, otros vehículos y peatones, atascos, retenciones, etc.

En el caso de Bellreguart, es una población con clima mediterráneo, con pocos días de lluvia al año, pero en caso de llover suele ser de manera torrencial, es decir, lluvias fuertes que colapsan la circulación.

### 3. Diagnóstico de seguridad vial

En este apartado introductorio se identificarán los diferentes problemas que se han encontrado en materia de seguridad vial.

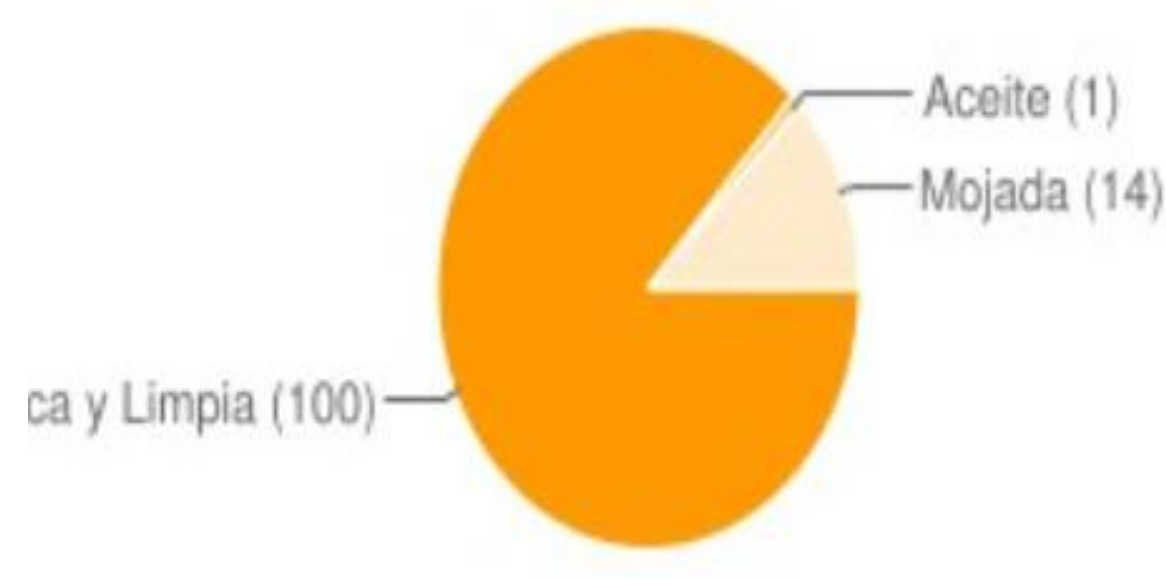
Una vez establecidos los puntos base del análisis de la accidentalidad de la zona de estudio se procederá a la identificación de problemas de seguridad vial.

#### 3.1. Listado de problemas de seguridad vial

Las travesías tienen características distintas a nivel de seguridad y de funcionalidad respecto de las calles urbanas o de las carreteras convencionales.

El principal peligro en el tramo de estudio se da en los accesos y en la incorporación de los vehículos provenientes de la rotonda a la vía principal. Se trata de un tramo anticuado, cuya infraestructura no se adapta a las necesidades de los usuarios.

### ACC. POR ESTADO DE CALZADA





A continuación, se presenta un listado con los principales problemas relacionados con la seguridad vial en el tramo de estudio:

- Exceso de velocidad en el tramo de estudio
- Retenciones en zonas inesperadas para los conductores
- Inexistencia de iluminación artificial en la mayor parte del tramo de estudio
- Punto de conflicto en el acceso al Polígono
- Maniobras no permitidas
- Número elevado de vehículos pesados

#### 3.1.1. Exceso de velocidad en el tramo de estudio

Este problema sucede principalmente en la salida del carril que conecta de forma directa los dos tramos de N-332 en sentido descendente sin necesidad de atravesar la rotonda de la variante sur de Gandía.

En primer lugar, se ha de considerar que, por el tipo de vía, carretera convencional, y debido a sus características geométricas antes de llegar al municipio los vehículos son propensos a circular a velocidades elevadas y, por tanto, a la llegada al principal punto de conflicto, acceso 1, los conductores se encuentran con vehículos que circulan a mucha menor velocidad. Para contrarrestar este problema, existen unas limitaciones de velocidad implantadas con el fin de reducir la velocidad de paso en dicha zona.

Actualmente la velocidad está limitada a 50 km/h pero pese a existir limitaciones la velocidad límite se sigue viendo sobrepasada por lo que habrá que actuar con medidas adicionales de seguridad.

Las actuales medidas son a priori suficientes para el control del tráfico en la zona. Se deberá garantizar el cumplimiento de dicha limitación mediante señalización.

#### 3.1.2. Retenciones en zonas inesperadas

Debido a la gran intensidad del tráfico, la cantidad de accesos en el casco urbano y el polígono el Velló y el semáforo para el paso de peatones situado en el PK 219+400 se crean grandes retenciones en sentido descendente, llegando incluso a colapsar la intersección en el acceso 1, impidiendo que los vehículos que provienen de la rotonda Sur de Gandía se incorporen a la N-332 y acercándose peligrosamente al carril de acceso directo que conecta ambos tramos de la N-332.



Fig 8. Vehículo aproximándose a zona de retenciones. Sentido Alicante

Esto contrasta con la velocidad de vehículos provenientes de la nacional N-332, cuya limitación de velocidad es de 50km/h pero que, al tratarse de una vía ancha y en buenas condiciones de visibilidad e infraestructuras, transmite al conductor una mayor sensación de seguridad al circular a mayor velocidad.

En la actualidad no se disponen medidas para alertar a los conductores de las posibles retenciones.

#### 3.1.3. Inexistencia o inutilización de iluminación artificial en la mayor parte del tramo de estudio

La mayor parte del tramo de estudio carece de iluminación. De hecho, hasta que no nos acercamos al núcleo de población del municipio de Bellreguart no vemos postes de alumbrado público. Esto agrava el riesgo de producirse un accidente debido a que, si por la noche no se dispone de iluminación al menos en las zonas donde puede haber más conflicto, los conductores no advierten dicho peligro y, por tanto, el riesgo de que se produzca un accidente es mayor. Es en la incorporación desde la rotonda Sur de Gandía a la N-332 dónde la carencia de iluminación cobra especial importancia, por la dificultad para calcular la distancia entre vehículos en las horas nocturnas.

Además, como podemos ver en la Tabla del Apéndice 1, dónde se detallan los accidentes ocurridos entre 2009 hasta 2018, el único accidente mortal desde 2011 hasta la actualidad se produjo por la falta



de chaleco reflectante en el peatón que circulaba por el arcén. Una apropiada iluminación podría evitar situaciones de riesgo, especialmente en el acceso 1, ya que, si de por sí se trata de una zona conflictiva, se le añade la dificultad de percepción que lleva consigo la falta de luz, nos encontramos con un problema aún mayor, especialmente con el horario de invierno.

### 3.1.4. Punto de acceso conflictivo al Polígono

Como ya hemos analizado en otros apartados del presente estudio, el acceso 1 es uno de los principales puntos de conflicto por la gran cantidad de movimientos posibles en un corto espacio, así como la velocidad a la que circulan los vehículos que provienen de las diferentes vías que confluyen en ese punto. A estos problemas se le sumarían además algunos aspectos que afectan a todo el tramo de estudio y que citamos en este mismo apartado.

Según los partes de accidentes de la DGT, en ese punto se han producido varios accidentes cuando, o bien un vehículo pretende incorporarse al carril principal de la N-332 proveniente del carril central o por colisión con motocicleta al efectuarse un giro a la derecha. Ver Figura 9



Fig 9. Vehículos en el carril central se incorporan a N-332

### 3.1.5. Maniobras no permitidas

En las diferentes visitas a obra realizadas, se ha observado la práctica de maniobras ilegales en ambos lados de la carretera.

En la incorporación del acceso 1 a la N-332 se ha podido observar que algunos vehículos realizan un giro a la izquierda (se ha observado incluso a camiones de gran tamaño realizar esta maniobra). Dicho movimiento no está permitido.

También se ha podido observar un giro a izquierdas desde el acceso 5 a la N-332.

Dicha problemática sucede principalmente por:

- Falta de elementos disuasorios para evitar maniobras ilegales
- Falta de puntos para el giro a izquierdas
- Alta densidad de tráfico



Fig 10. Punto recurrente de maniobra prohibida en acceso 1 (giro a izquierda)

### 3.1.6. Número elevado de vehículos pesados

Como se ha comentado anteriormente, actualmente circula un porcentaje del 11 % de vehículos pesados diariamente. Esto provoca disparidades entre las velocidades de circulación en comparación con otros vehículos además del gran impacto ambiental que supone para la población como puedan ser ruidos y polvo. Otro de los problemas que provoca un alto nivel de vehículos pesados es la convivencia con otros usuarios más vulnerables, especialmente los peatones y ciclistas.

## 4. Propuestas de actuación en materia de seguridad vial

A continuación, se van a establecer una serie de medidas de corrección que traten de solventar los problemas que se han mencionado en los apartados anteriores. Se describirán cada uno de ellos, las funciones que realizan tras su implantación y se indicarán las dimensiones en planta y alzado de cada una de las propuestas. En algunos casos, se describirán otras soluciones que podrían haberse aplicado en lugar de la implantada.

Estas medidas serán llevadas a cabo mediante moderadores de tráfico. Se entiende por moderar el tráfico el conjunto de medidas encaminadas a reducir la intensidad y velocidad de los vehículos hasta hacerlos compatibles con el resto de actividades que se desarrollan en la red viaria sobre la que se aplica.

Los métodos físicos de moderación del tráfico, en especial los que obligan al vehículo a modificar su trayectoria y velocidad, son los más empleados en la moderación del tráfico. Por eso, sobre todo en las zonas urbanas, la moderación del tráfico está comúnmente asociada a cambios horizontales y verticales del trazado, así como a cambios en la sección transversal o en el pavimento. Además, los moderadores de tráfico también tienen un impacto sobre la dinámica de los vehículos y el confort asociado a sus ocupantes.

Los moderadores de tráfico tienen efectos sobre su explotación, tanto por la disminución en la capacidad de las vías en las que se implementan como en la elección de los itinerarios por parte de los conductores que intentan evitar zonas con moderadores del tráfico, si esto les implica un incremento en el tiempo de viaje. El efecto de disminución de capacidad se traduce en un desvío de la demanda vehicular, ya que los conductores intentan eludir las zonas tratadas con medidas de moderación de tráfico.

### 4.1. Alternativa 1

#### 4.1.1. Carril específico para giro a derechas en el acceso 2

Debido al cierre del acceso 1, se debe redirigir a los vehículos que tomaban dicho acceso para su entrada al Polígono o a la zona Oeste de la población de Bellreguart.

Se considera que una remodelación del acceso y entrada al acceso 2 satisfará tanto a usuarios, comercios como mejorará la seguridad vial en la zona.

- Es una alternativa más segura al acceso 1. Además, dará acceso a los comercios e industrias afectadas por el cierre de dicho acceso.
- Se efectuará un cambio de velocidad gradual, por lo que la toma del acceso se hará en condiciones de seguridad
- Se efectuará un cambio de dirección gradual, por lo que tanto el número de accidentes relacionados con el giro a derecha como su severidad se verán reducidos
- Al trasladar el punto de acceso a un lugar más avanzado, disminuirá el número de movimientos en el PK 220+600, teniendo así los conductores menos factores a tener en cuenta a la hora de la toma de decisiones.

Dado que se trata de un tramo con una velocidad de proyecto  $V_p=50\text{km/h}$ , se consideraron las siguientes opciones:

1. Carril específico para el giro a la derecha. Solución finalmente adoptada por funcionalidad y espacio. La creación de un carril colector de accesos en dirección Valencia hacía necesario el desplazamiento de los carriles dirección Oeste por la falta de espacio entre las industrias y el carril de servicio en la zona Este.
2. Cuña de deceleración. Se planteó como opción principal durante gran parte del desarrollo de este estudio, pero fue descartada por las mismas razones que llevaron a la elección de un carril específico de giro a la derecha

### 4.2. Alternativa 2

#### 4.2.1. Incorporación de glorieta en el PK 220+050 de la N-332.

La incorporación de una glorieta al trazado supondría una efectiva solución a algunos de los problemas de nuestro tramo de estudio, aunque también traería consigo algunos problemas:

- Mejoraría significativamente el problema de giro a la izquierda y cambio de sentido, agravado por una alta IMD, que existe en el tramo.
- Daría acceso al polígono industrial redirigiendo los vehículos que anteriormente accedían por el acceso 1
- Se crearía un acceso adicional con la parte Este del municipio
- Quitaría la prioridad a la vía principal y que más tráfico tiene (N-332). Sería necesario adecuar la capacidad de la glorieta para que cumpla con el nivel de servicio exigido. Nivel de Servicio E.
- Al diseñarse los ramales con una anchura adecuada se paliarían los problemas de capacidad y congestión de la vía.



### 4.3. Mejoras comunes a ambas alternativas

#### 4.3.1. Ensanchamiento de la calzada

La incorporación a la calzada del carril colector de accesos partiendo del PK 220+150 hasta el PK 220+450 y la prolongación del carril de almacenamiento y espera de vehículos provenientes de la rotonda Sur de Gandía creando así un carril extra en dirección Alicante, imponen a la calzada un ensanchamiento. La calzada pasa de los 15 metros en el PK 220+300 a los 20.3 metros en ese mismo punto. La ampliación se deberá hacer necesariamente en el lado descendente de la N-332 ya que en el lado ascendente se dispone de muy poco espacio de maniobra por la existencia de industrias.

#### 4.3.2. Remodelación del Acceso 2

Al desviar el tráfico del acceso 1 al acceso 2 es imprescindible una remodelación.

- Mejora y delimitación de la conexión con el carril de servicio 1. Anteriormente, esta conexión era muy deficiente y la señalización horizontal que la regulaba era apenas visible
- Conexión el carril específico de giro con la miniglorieta del acceso 2
- Colocación de isletas separadoras de carriles para mejorar la seguridad vial.
- Mejora y delimitación del carril de servicio con el acceso 3

#### 4.3.3. Carril colector de accesos

Como ya se ha mencionado en el Anejo 3 “Reordenación de accesos”, se dispondrá de un carril colector de accesos en la parte ascendente de la N-332 partiendo del PK 220+100 hasta el PK 220+600

Dicho carril mejoraría las condiciones de seguridad vial y confort a los usuarios del carril de servicio 2 que en la actualidad supone un peligro para la seguridad vial ya que es usado como lugar de almacenaje de mercancías.

Por simplicidad descompondremos este carril colector como la unión de un carril de deceleración de tipo directo, un tramo rectilíneo y un carril de aceleración de tipo directo. Para su proyección y cálculo nos guiaremos de lo establecido en el capítulo 8 de la Norma 3.1-IC Trazado.

#### 4.3.4. Paso de peatones sobreelevado

Los pasos de peatones sobreelevados consisten en la elevación de la superficie que ocupa un paso para peatones a una altura de escasos centímetros sobre la calzada, proporcionando una meseta por la

que cruzan los peatones. Este moderador se utiliza principalmente por la disminución de velocidad que supone y sobre todo para incrementar la visibilidad de los peatones, priorizando de esta manera al tráfico peatonal frente al vehicular y por tanto incrementar la probabilidad de que los conductores les cedan el paso.

Se ha implantado esta medida en la conexión del ramal 2 con la miniglorieta. Ver Figura 11.

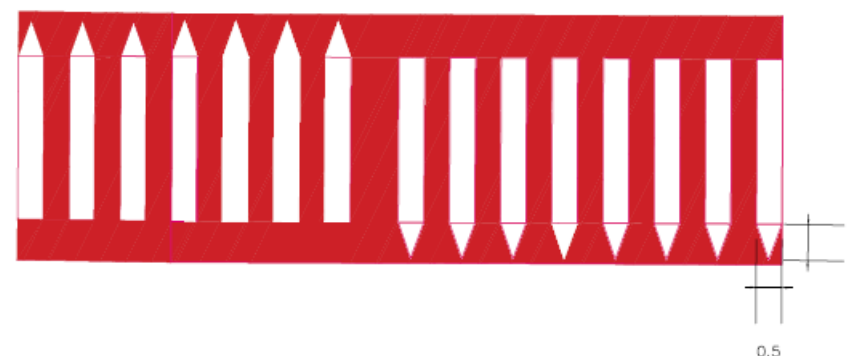


Fig. 11. Paso de peatones sobreelevado.

### 4.4. Otras actuaciones

#### 4.4.1. Reductores de velocidad (RDV)

Sus funciones son: reducción de la velocidad al circular sobre ellos, advertir a los conductores de la proximidad de intersecciones o puntos conflictivos, mejorar la seguridad vial si son diseñados e instalados en lugares apropiados, reducción de la intensidad de tráfico al desviarse a otras vías sin elementos moderadores de tráfico e impedir con su instalación que determinados vehículos pesados circulen por ciertas calles.

Su efectividad reside en el hecho de crear una aceleración vertical en los vehículos al atravesar los dispositivos, que transmite incomodidad a los conductores y ocupantes cuando se circula a velocidades superiores a las establecidas.

La distancia entre Reductores de Velocidad consecutivos deberá estar comprendida entre 50 y 200 m, si bien se procurará que no supere los 150m

Se propone el uso de RDV prefabricados en las localizaciones señaladas (Ver planos). En dichas localizaciones los vehículos son propensos a circular con una velocidad más elevada de la permitida porque las condiciones de la carretera lo permiten, no así el entorno urbano en el que se sitúa. Además, se recomienda el uso de RDV prefabricados por su rapidez y facilidad en su montaje y ejecución.

#### 4.4.1.1. Reductor prefabricado. Resaltos.

Los resaltos son unas elevaciones puntuales de la rasante de la calzada en corta longitud, con forma normalmente abombada que se colocan transversalmente a la vía abarcando todo su ancho (Fig. 25).

Reductor prefabricado. Las dimensiones recomendadas para los Reductores de Velocidad prefabricados en función de la velocidad máxima permitida son:

Velocidad máxima (km/h)	Longitud (cm) $\geq$	Altura (cm) $\leq$
50	60	3



Fig 12. Baden prefabricado situado actualmente en el Camí Vell de Gandía

#### 4.4.1.2. Reductor de velocidad in situ. Paso peatonal elevado.

El perfil longitudinal del Reductores de Velocidad trapezoidal

comprende una zona sobreelevada y dos partes en pendiente, llamadas rampas, formando un trapecio.

Sus dimensiones serán:

Altura: 10 cm  $\pm$  1 cm.

Longitud de la zona elevada: 4 m  $\pm$  0,20 m (en casos excepcionales se autorizarán longitudes inferiores, hasta un mínimo de 2,5 m).

Longitud de las rampas: Entre 1 y 2,5 m

Los pasos de peatones sobreelevados consisten en la elevación de la superficie que ocupa un paso para peatones a una altura de escasos centímetros sobre la calzada, proporcionando una meseta por la que cruzan los peatones.

Este moderador se utiliza principalmente por la disminución de velocidad que supone y sobre todo para incrementar la visibilidad de los peatones, priorizando de esta manera al tráfico peatonal frente al vehicular y por tanto incrementar la probabilidad de que los conductores les cedan el paso.

Se dispondrá a la entrada del acceso 2 (ver planos).

#### 4.4.2. Doble línea central con captafaros

Se adoptará como medida disuasoria para evitar las maniobras prohibidas que han sido comentadas en el apartado 3.1.5.

La doble línea central tendrá una separación de 30 cm para permitir la colocación de captafaros separados 10cm de las marcas viales longitudinales.

Los captafaros deberán de tener una separación mínima de 1m entre ellos.



Fig 13. Doble línea central

#### 4.4.3. Iluminación artificial de la glorieta proyectada

Una glorieta representa una obstrucción física en la trayectoria del tráfico que la atraviesa y además en el tráfico que se aproxima, teniendo que ceder el paso al tráfico que se encuentra ya girando. Por tanto, es fundamental que la visibilidad sea la adecuada para que los conductores puedan prevenir los riesgos y asumir la seguridad.

De entre las diferentes tipologías de iluminación de la calzada se ha optado por escoger la iluminación central mediante proyectores convencionales. Esta tipología consiste en la implantación de un soporte de gran altura en el centro de la glorieta, dotado de proyectores convencionales con distribución fotométrica no desenfocada. Con el fin de limitar el deslumbramiento, la altura del soporte a implantar en el centro de la glorieta será superior al 75% del radio medio de la glorieta.

#### 4.4.4. Iluminación en carretera

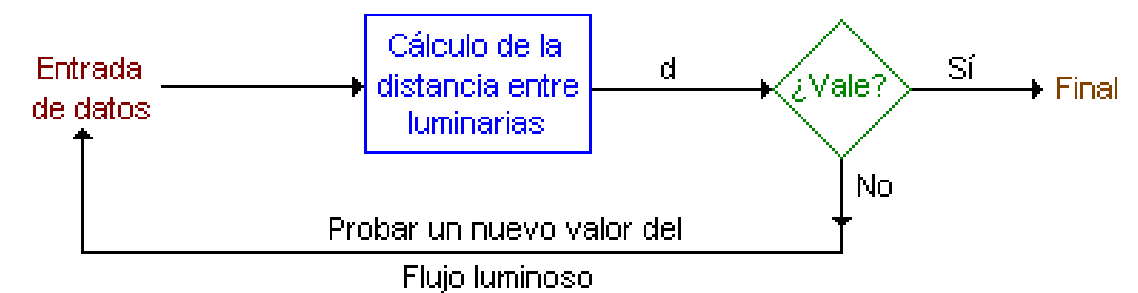
Con una adecuada iluminación en el tramo carente de alumbrado público se pretenden solucionar los problemas que lleva consigo la falta de luz: visibilidad reducida, cálculo de distancias defectuoso y percepción tardía del peligro, entre otros.

Para ello se procede al cálculo de la iluminación necesario para los distintos factores que tenemos en la vía y su entorno. Los factores necesarios para el cálculo son:

- Tipo de vía

- Tipo de lámpara y su luminosidad ( $\Phi_L$ )
- Ancho de la calzada (A)
- Altura de montaje (H)
- Disposición de las luminarias
- Factor de mantenimiento ( $f_m$ )
- Factor de utilización ( $\eta$ )
- Iluminancia media  $E_m$

Con estos datos y mediante el **método de los lúmenes** calcularemos la distancia, d, y disposición de las lámparas con luminosidad,  $\Phi_L$ , factor de utilización,  $\eta$ , factor de mantenimiento,  $f_m$ , a una altura, H, en una carretera de determinado tipo y con anchura de calzada, A.



$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

En primer lugar, necesitaremos conocer clase de alumbrado correspondiente a nuestra vía y la luminancia media necesaria. Para ello nos ayudaremos de las tablas obtenidas de la ITC EA 02 (ver apéndice 3).

Dado nuestro IMD (25138 veh/día) y tipo de vía, obtenemos que nuestra clase de alumbrado debe ser ME2 a lo que le corresponde una luminancia media de 1.5 cd/m<sup>2</sup>

Con la ayuda de una guía facilitada por la Universidad Politécnica de Cataluña (ver tabla apéndice 2) obtendremos los valores de los diferentes factores:

##### 4.4.4.1. Iluminancia media ( $E_m$ )

Este valor depende de las características y clase de pavimento, clase de vía, intensidad del tráfico, etc.

Está relacionado con la luminancia media. Al ser requerida una luminancia media de 1.5 cd/m<sup>2</sup>:

$$E_m = 26 \text{ lx}$$

Ver tabla en Apéndice 3

#### 4.4.4.2. Flujo de la lámpara ( $\Phi$ )

El flujo de la lámpara depende del tipo de lámpara, la marca y el modelo de luminaria que elijamos.

Elegimos una luminaria LED del fabricante TECEO de 56 LED a 700mA con un flujo de 12800 lm. Las luminarias serán dispuestas a una altura de 8m de altura útil.

Ver tabla en Apéndice 3

#### 4.4.4.3. Disposición de las luminarias

Al tener nuestra carretera, una vez hechas las modificaciones pertinentes, una anchura de calzada de 13m en su punto más ancho y al haber elegido para las luminarias columnas metálicas de 8m de altura útil, la disposición de las luminarias deberá ser pareada. Por tanto, dividiremos la anchura de la calzada entre 2 ( $A/2$ ).

Ver tabla en apéndice 3

#### 4.4.4.4. Factor de mantenimiento ( $F_m$ )

Depende de las características de la zona (contaminación, tráfico, mantenimiento...). Normalmente esto es difícil de evaluar y se recomienda tomar un valor no superior a 0.8 (habitualmente 0.7).

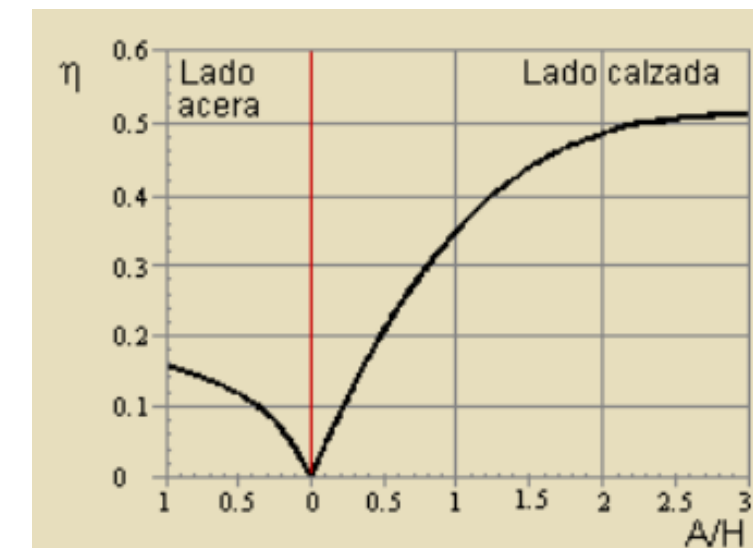
#### 4.4.4.5. Factor de utilización ( $\eta$ )

El **factor de utilización** es una medida del rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y se define como el cociente entre el flujo útil, el que llega a la calzada, y el emitido por la lámpara.

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\Phi_L}$$

Normalmente se representa mediante curvas que suministran los fabricantes con las luminarias. Estas curvas podemos encontrarlas en función del cociente anchura de la calle/altura ( $A/H$ ), la más habitual, o de los ángulos  $\gamma_1, \gamma_2$  en el lado calzada y acera respectivamente.

En este caso, al no disponer de las curvas del fabricante, hemos utilizado la curva siguiente por motivos de practicidad:





#### 4.4.4.6. Cálculos

**Cálculo de la distancia (d) a partir de la expresión de la iluminancia media.**

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

Sustituyendo los valores obtenidos anteriormente en la fórmula de la iluminancia media obtenemos una separación (d):

$$d=22.5 \text{ m}$$

Al ser la parte de nuestro tramo de estudio con falta de iluminación de una longitud de 400 m deberemos disponer 18 Luminarias separadas 22,5 m cada una, en disposición pareada.

#### 5. Efectividad de las medidas

Para analizar si las medidas aplicadas son efectivas en materia de seguridad vial, será necesario comprobar si después de haber aplicado dichas medidas, el número de accidentes aumenta o disminuye.

Para ello, existe una forma sencilla de estimar los accidentes de tráfico que pueden producirse ante la implantación de una nueva medida de seguridad en la carretera. Son los conocidos como accident modification factors (desde ahora AMF) llamado también CMF (crash modification factors). Son unos coeficientes que cuantifican los cambios en número de accidentes en un emplazamiento como resultado de implementar un tratamiento o una medida de seguridad vial específica. Se han obtenido gracias a numerosos investigadores que, mediante estudios antes/después, han conseguido analizar cómo puede variar el número de accidentes tras una modificación realizada sobre la carretera.

La forma de obtener el número de accidentes después de implanta la medida es la siguiente:

$$N \text{ después} = AMF \cdot N \text{ antes}$$

Siendo:

Nantes: nº de accidentes antes de implantar la medida

AMF: coeficiente modificador

Ndespués: nº de accidentes después de implantar la medida

Las medidas propuestas que disponen de sus AMF son las que se detallan a continuación: Carril exclusivo para el giro a la derecha (solo alternativa 1), el paso de una intersección a una glorieta (solo alternativa 2), incorporar iluminación en las intersecciones, mejorar accesos, mejorar intersecciones y reducir la velocidad media de recorrido.

En el apéndice III del presente anejo se describe la tabla donde figuran los coeficientes mencionados y que son necesarios para el cálculo del número de accidentes estimados después de la implantación de la medida. Están en función de las diferentes situaciones que se han estudiado para la obtención de dichos coeficientes.

La elección de estos coeficientes se ha hecho en base a las necesidades de mejora en la travesía escogiendo los AMF con un buen rendimiento (Nº de estrellas) y con un 95% de intervalo de confianza = [AMF-2σ; AMF+2σ].

##### 5.1. Carril exclusivo para giro a la derecha. Alternativa 1.

El hecho de habilitar un carril exclusivo para el giro a derechas para poder hacer el cambio de dirección de manera gradual mejora sustancialmente la seguridad vial en su entorno. Así lo califica el NCHRP Report 617.

En este caso, y siempre y cuando el carril esté señalizado, como es el caso, el AMF será de 0.96.

##### 5.2. Paso de una intersección a una glorieta. Alternativa 2.

El hecho de cambiar una intersección donde confluyen tres o más vías por una glorieta, constituye una mejora en cuanto a la seguridad vial de la zona. Así lo demuestran también los coeficientes asignados a los AMF.

En el caso de la carretera de estudio, para la glorieta de cuatro ramales con control previo al acceso mediante una señal, se obtiene un AMF de 0.52. Así pues, tras la implantación de la glorieta el número de accidentes se reduciría a la mitad.

##### 5.3. Añadir iluminación a una intersección

El hecho de poseer iluminación en las intersecciones hace que, durante la noche, los conductores puedan percibir mayor información de la zona y, por tanto, percatarse de los peligros que pueden afectarle. Por este motivo, se ha planteado la necesidad de iluminar las nuevas glorietas convencionales que se han dispuesto como propuesta de mejora de la seguridad vial.

El NCHRP Report 617 ha dispuesto un coeficiente que cuantifica los accidentes de tráfico después a iluminar las intersecciones. Durante la noche, se ha previsto que los accidentes de tráfico disminuyan en un 21% (AMF=0.79). Si se considera este factor durante todo el día, el nivel de accidentes no cambia



bruscamente de los reportados antes y después de aplicar la medida. Esto se debe a que como, durante el día, la iluminación implantada no influye en la reducción de accidentes, éstos permanecerán prácticamente invariables, llegando a reducirse en un 4%.

#### 5.4. Instalación de señalización de tráfico en una intersección

La instalación de señalización en el acceso 2 obtendría, por el tipo de intersección, un AMF de 0.86 para todo tipo de accidentes.

#### 5.5. Añadir línea central vibratoria

Añadiendo una línea central vibratoria se estima que para este tipo de carreteras tiene un AMF de 0.86 en todos los casos de accidentes. En caso de los choques frontales el AMF se reduce hasta 0.79.

#### 5.6. Instalación de guardarail

La instalación del guardarail en toda la longitud del tramo de estudio y a ambos lados de la vía nos aportaría una sustancial reducción de las salidas de vía, siendo su AMF de 0.56.

Estos índices se pueden consultar en las tablas del apéndice 2. El método de calificación de las mejoras y los valores AMF asignados a cada una de ellas han sido obtenidos del NCHRP Report 617.

### 6. Referencias

- [1] MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección general de carreteras (2008) Instrucción técnica para la instalación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta en carreteras en la red de carreteras del estado
- [2] GARCÍA, A., MORENO, A.T., ALÓS, N. *Guía metodológica para la elaboración de planes urbanos de moderación de tráfico*. CEDEX: servicio de publicaciones. Diciembre 2012. Ministerio de Fomento.
- [3] MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección general de carreteras. (1999). *Recomendaciones sobre glorietas*. Instrucciones de construcción.
- [4] MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección general de carreteras. *Trazado. Instrucción de Carreteras*. Norma 3.1. IC. B.O.E 2 de Febrero de 2000.
- [5] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (1987). *Norma 8.2. Instrucción de Carreteras: marcas viales*. B.O.E. núm. 185.

[6] NCHRP REPORT 617. *Accident Modification Factors for Traffic Engineering and ITS improvement*. Transportation research board 2008 executive committee. WASHINGTON, D.C.2008. Disponible en: [www.TRB.org](http://www.TRB.org).

[7] URRACA PIÑEIRO, J.I. *La necesidad de iluminar adecuadamente glorietas.[En línea]*. Luces. CEI. Octubre 2011. Fecha de consulta: 15/05/2016. Disponible en: [www.ciccp.es7ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/.../IluminacionGlorietas.pdf](http://www.ciccp.es7ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/.../IluminacionGlorietas.pdf)

[8] MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. Instrucción técnica complementaria EA – 02 Niveles de Iluminación.



# APÉNDICE 1 – ANÁLISIS DE LOS ACCIDENTES

## APÉNDICE 1 - ANÁLISIS DE LOS ACCIDENTES

Con el fin de realizar una mejor evaluación de la problemática de la zona se obtuvieron y analizaron los partes de accidentes de 2011 a 2018.

En las siguientes tablas se puede obtener una idea clara de los accidentes más recurrentes de los últimos años. Han sido ordenados por PK, año, hora, tipo, sentido de la vía y severidad de los heridos.

Es necesario puntualizar que, las autoridades solo son informadas de los accidentes en pocas ocasiones, por lo que la mayoría de los accidentes son resueltos por las aseguradoras si mediación de la autoridad de tráfico. Aun así, consideramos estos datos de una gran importancia.

Las conclusiones obtenidas se pueden consultar en el apartado 2.1.5. Análisis de los accidentes.

	PK	Fecha	Hora		Sentido	M	HG	HL	SV
1	219,900	21.3.13	16:00	Alcance por distracción en atasco	D				1
2	220	20.4.11	19:50	Colisión por alcance debido a distracción cuando vehículo esperaba para hacer cambio de dirección	A				1
3		17.10.11	16:00	Colisión con vehículo del sentido contrario al querer girar a la izquierda	A				1
4		23.1.12	9:00	Alcance por distracción al intentar girar a la izquierda	A				1
5		23.2.13	11:45	Colisión por alcance v al intentar girar a la izquierda	A				1
6		23.12.13	14:00	Vehículo ligero se interpone en la trayectoria a motocicleta	A			1	
7		15-1-14	17:50	Camioneta corta trayectoria de Bicicleta	A			1	
8		15.10.14	19:45	Alcance por distracción	A			1	
9		22.12.14	8:30	Alcance	A			1	
10		19.1.15	15:00	-	A				1
11		13.07.16	12:30	Alcance al intentar girar a la izquierda	A				1
12		3.3.17	20:20	Caída de rama por temporal	A				1
13		24.11.17	19:00	Alcance en retención	A				1
14		20.6.11	9:20	Alcance en retención	D				1
15		1.8.11	11:15	Adelantamiento antireglamentario de moto por la derecha por retención	D			1	
16		3.12.2013	6:45	Adelantamiento antireglamentario por la derecha por retención	D				1
17		5.8.2014	20:00	Alcance en retención	D			1	
18		28.1.2015	11:00	Alcance en retención	D			1	
19		12.8.15	19:40	Choque con moto al girar a derechas línea continua	D				1
20		29.10.2015	12:00	Alcance por retención	D				1
21	220,100	10.7.17	14:55	Colisión por alcance (desvanecimiento)	A			1	
22		25.10.2014	21:00	Alcance en retención	D			1	
23		9.9.15	11:40	Alcance en retención	D			1	
24		19.11.15	17:00	Colisión con moto por giro a derecha	D			1	
25		16.12.15	7:25	Alcance en retención	D			1	
26		9.3.18	7:12	Alcance en retención	D			1	
27		27.12.2017	18:00	Colisión con moto al girar a la izquierda	D				1
28	220,200	21.7.16	19:35	Colisión moto-veh en acceso	D			1	
29		15.6.11	22:00	Colisión por alcance	D			1	
30		8.3.13	18:00	Alcance en retención	D				1

31		28.6.13	19:10	Alcance en retención	D			1	
32		4.10.13	14:00	Alcance en retención	D				1
33		31.10.2014	20:00	Alcance en retención	D			1	
34		26.1.15	10:30	Alcance en retención	D				1
35		25.2.16	12:35	Alcance en retención	D			1	
36		14.7.16	18:15	Colisión vh-moto al girar a la derecha	D		1		
37	220,300	18.1.18	16:45	Alcance en retención	A			1	
38		24.1.18	15:45	Alcance en retención	A				1
39		10.4.12	4:48	Alcance en retención	D			1	
40		6.8.12	19:00	Alcance en retención	D			1	
41		3.5.13	21:15	Alcance en retención	D			1	
42		8.11.13	23:00	Salida de vía de bicicleta por causa de turismo	D			1	
43		12.9.14	20:45	Alcance en retención	D			1	
44		19.6.15	15:15	Alcance en retención	D				1
45		17.10.15	12:15	Colisión por alcance	D				1
46		25.1.2016	0:00	Atropello de motocicleta a peatón	D	1			
47		15.10.16	20:00	Alcance en retención	D			1	
48		6.3.14	19:40	Salida de vía	D				1
49		18.8.14	18:30	Colisión frontal, invasión carril contrario	Ambos			1	
50	220,400	28.3.14	11:45	Alcance en retención	A			1	
51		25.4.16	9:00	Alcance en retención	A			1	
52		10.10.17	17:45	Colisión por alcance (obras)	A			1	
53		23.1.12	8:00	Alcance en retención	D			1	
54		18.5.12	12:00	Alcance en retención	D			1	
55		2.11.12	11:40	Camión golpea al incorporarse desde la izquierda	D				1
56		16.3.13	11:35	Camión golpea al incorporarse desde acceso	D			1	
57		9.6.15	17:20	Camión golpea al incorporarse desde acceso	D			1	
58		2.9.16	17:10	Alcance en retención	D				1
59		13.9.16	20:30	Colisión por alcance	D			1	
60	220,500	29.4.12	5:45	Salida de vía (contro de alcoholemia positivo)	A				1



61		7.11.12	0:00	Colisión por alcance	A				1
62		7.3.13	8:45	Alcance en retención a rotonda	A			1	
63		29.4.13	12:15	Colisión por alcance	D			1	
64		10.3.15	12:40	Colisión en acceso	D			1	
65		18.9.15	16:30	Alcance en retención	D				1
66		21.6.17	13:45	Colisión con moto giro a derecha	D			1	
67		13.7.17	19:40	Colisión con moto giro a derecha	D			1	
68		14.3.18	13:50	Colisión con moto giro a derecha	D			1	
69		9.5.18	10:15	Colisión	D				1
70		27.3.14	17:30	Colisión con moto giro a derecha	D			1	
71		3.4.11	18:30	Colisión frontal-lateral	Ambos				1
72	220,600	20.8.11	9:00	Salida de vía	A				1
73		5.2.12	0:40	Salida de vía (control de alcoholemia positivo)	A				1
74		2.2.12	14:30	Colisión con ciclista	D			1	
75		23.3.15	20:45	Colisión en acceso	D			1	
76		30.4.15	17:50	Alcance en retención	D				1
77		27.1.16	20:30	Alcance en retención	D				1
78	220,700	25.4.13	15:15	Salida de vía	A				1
79		22.8.13	18:30	Colisión por alcance	A			1	
80		8.7.16	19:20	Colisión en rotonda	A			1	
81		19.1.18	21:45	Salida de vía (control de alcoholemia positivo y uso del movil)	A				1
82		22.10.12	14:30	Colisión con biciclara	D			1	
83		24.9.14	19:00	Colisión al intentar carril central-N332-Polígono	D			1	
84		8.4.16	12:40	Alcance en retención	D				1
85		14.6.16	13:40	Colisión al incorporarse a la N-332	D			1	
86		15.1.18	16:45	Alcance en retención	D				1
87	220,800	10.1.11	16:20	Colisión por alcance en ramal rotonda	A			1	
88		23.3.11	12:15	Salida de vía en rotonda	A				1
89		9.04.11	18:10	Colisión en rotonda	A				1
90		21.12.11	11:30	Colisión en rotonda	A			1	

91		23.5.12	10:15	Colisión	A				1
92		18.6.12	11:30	Colisión en rotonda	A				1
93		13.8.12	13:00	Colisión por alcance en ramal rotonda	A			1	
94		3.10.12	19:30	Caída motociclista	A			1	
95		19.1.13	15:15	Colisión por alcance	A			1	
96		2.2.13	11:30	Colisión por alcance en ramal rotonda	A			1	
97		25.4.13	9:00	Salida de vía	A				1
98		2.5.13	12:30	Colisión en rotonda	A				1
99		31.5.13	8:30	Colisión con moto en rotonda	A			1	
100		29.8.13	13:45	Salida de vía	A				1
101		9.11.13	11:15	Colisión por alcance en ramal rotonda	A				1
102		14.5.14	12:00	Colisión por alcance en ramal rotonda	A				1
103		18.6.14	11:20	Colisión por alcance en ramal rotonda	A			1	
104		18.8.14	21:30	Colisión por alcance en ramal rotonda	A				1
105		24.10.14	15:30	Salida de vía en rotonda	A				1
106		24.8.15	11:00	Colisión en rotonda	A			1	
107		10.10.15	20:30	Colisión por alcance en ramal rotonda	A				1
108		3.4.16	10:50	Colisión por alcance en ramal rotonda	A			1	
109		7.9.16	11:15	Colisión por alcance en ramal rotonda	A			1	
110		28.9.16	17:45	Colisión por alcance en ramal rotonda	A				1
111		28.10.16	1:40	Salida de vía en rotonda	A				1
112		14.11.16	17:20	Colisión por alcance	A				1
113		23.11.16	11:45	Salida de vía	A				1
114		17.1.17	15:50	Colisión por alcance	A				1
115		25.1.17	11:20	Colisión por alcance	A				1
116		21.8.17	13:55	Colisión por alcance	A				1
117		27.2.15	12:00	Colisión por alcance	A				1
118		28.2.18	4:00	Salida de vía	A				1
119		11.6.18	7:50	Colisión por alcance en ramal rotonda	A				1
120		28.7.18	14:00	Salida de vía	A				1

121		1.9.18	6:10	Salida de vía	A			1	
122		7.9.18	17:35	Salida de vía de motocicleta	A				1
123		3.12.11	13:55	Colisión en rotonda (superficie mojada)	D			1	
124		16.12.11	19:00	Colisión en rotonda	D				1
125		20.3.12	11:15	Salida de vía	D				1
126		4.3.13	21:05	Salida de vía	D				1
127		1.10.13	8:00	Colisión por alcance en ramal rotonda	D				1
128		25.10.13	12:00	Colisión por alcance	D				1
129		17.3.16	9:35	Colisión con moto en rotonda	D			1	
130		11.4.16	18:20	Colisión por alcance en ramal rotonda	D				1
131		20.4.16	9:50	Colisión por alcance (superficie mojada)	D				1
132		17.5.17	7:45	Colisión en rotonda	D			1	
133		21.6.17	12:15	Colisión en rotonda	D				1
134		10.11.17	15:20	Colisión con moto en rotonda	D		1		
135		27.11.17	15:30	Colisión por alcance en ramal rotonda	D				1
136		21.12.17	13:15	Colisión por alcance en ramal rotonda	D				1
137		19.10.18	14:00	Colisión por alcance	D				1
138		2.2.14	4:00	Salida de vía	D				1
139		5.6.14	11:30	Colisión en rotonda	D				1
140		8.5.15	13:30	Colisión en rotonda	Ambos			1	
141		23.2.16	13:20	Colisión con bici en rotonda	Ambos			1	
TOTAL						1	2	65	73

# **APÉNDICE 2 – TABLAS PARA EL CÁLCULO DE LOS ACCIDENT MODIFICATION FACTORS**

## APÉNDICE 2 – TABLAS PARA EL CÁLCULO DE LOS ACCIDENT MODIFICATION FACTORS

A continuación, se expondrán una serie de tablas obtenidas del NCHRP REPORT 617 donde se recogen los coeficientes que determinan el número de accidentes tras la implantación de una determinada medida.

### CARRIL EXCLUSIVO PARA EL GIRO A LA DERECHA

TREATMENT: Add Exclusive Right-Turn Lane		AMF Level of Predictive Certainty: High*			
METHODOLOGY: Empirical Bayes Before-After/Analysis-Driven Expert Panel		CRASH TYPE STUDIED AND ESTIMATED EFFECTS			
REFERENCE: Harwood et al. - 2002 (12); NCHRP Project 17-25 research results		Total Intersection Accidents (all severity levels, all accident types)	No. of Improved Sites	AMF	
STUDY SITES:				One Approach	Both <sup>A</sup> Approaches
<ul style="list-style-type: none"><li>• Included rural and urban sites located in eight states – Illinois, Iowa, Louisiana, Minnesota, Nebraska, North Carolina, Oregon, and Virginia.</li><li>• 108 treatment sites where a right-turn lane (RTL) was added, as well as 300 similar intersections that were not improved during the study period and used for comparison and reference sites.</li><li>• All improvements were made during the years 1989 through 1998.</li></ul> Mean duration of before and after periods were 6.7 years and 3.9 years, respectively.		Rural Stop-Controlled Intersection (four legs)	28	0.86 (0.05)	0.74
		Rural Signalized Intersection (four legs)		0.96 <sup>B</sup> (0.02)	0.92 <sup>B</sup>
		Urban Signalized Intersection (four legs)	18	0.96 (0.02)	0.92
		Urban Signalized Intersection (three legs)		0.96 <sup>C</sup>	—
		Urban Stop-Controlled Intersection (four legs)		0.86 <sup>C</sup>	0.74 <sup>C</sup>
		Fatal and Injury Intersection Accidents (all accident types)			
		Rural Stop-Controlled Intersection (four legs)	29	0.77 <sup>D</sup> (0.07)	0.59 <sup>D</sup>
		Rural Signalized Intersection (four legs)		0.91 <sup>B</sup> (0.03)	0.83 <sup>B</sup>
		Urban Signalized Intersection (four legs)	17	0.91 (0.03)	0.83
		Urban Signalized Intersection (three legs)		0.91 <sup>C</sup>	—
		Urban Stop-Controlled Intersection (four legs)		0.77 <sup>C</sup>	0.59 <sup>C</sup>
		*LOPC considered to be MH for AMFs derived by analysis-driven expert panels.			
COMMENTS:		<ul style="list-style-type: none"><li>• The study applied two alternative evaluation approaches (B/A with yoked comparisons and B/A with a comparison group) and recommended that the EB evaluation results be used if statistically significant. If not, it was recommended that statistically significant comparison group results be used, followed by statistically significant yoked comparison results. The authors note that results from either comparison method may be “overly optimistic.”</li><li>• Stop-controlled locations had stop signs on the minor road approaches.</li><li>• Mean total entering ADT for rural stop-controlled, rural signalized, urban stop-controlled, and urban signalized improved sites were 9,700 vpd, 17,800 vpd, 15,500 vpd, and 26,800 vpd, respectively.</li><li>• All tests of statistical significance in this report were performed at the 5% significance level (95% confidence level). Only statistically significant results are shown.</li></ul>			
FOOTNOTES:					
<sup>A</sup> AMF (both approaches) = AMF (one approach) x AMF (one approach).					
<sup>B</sup> Authors recommend that the AMFs for urban signalized intersections be applied to rural signalized intersections.					
<sup>C</sup> Recommended AMF based on analysis-driven expert panel results from NCHRP 17-25/17-26 panel on urban/suburban arterials.					
<sup>D</sup> AMF based on comparison group evaluation.					





PASO DE UNA INTERSECCIÓN A UNA GLORIETA

TREATMENT: Install Roundabout	AMF Level of Predictive Certainty: High			
METHODOLOGY: Empirical Bayes Before-After	CRASH TYPE STUDIED AND ESTIMATED EFFECTS			
REFERENCE: Rodegerdts et al. - 2007 (8).	Single Lane - Urban/Suburban (prior control - two-way stop-controlled)	No. of Improved Sites	AMF	
STUDY SITES:  • Treatment sites included 55 intersections that were converted to roundabouts (36 were previously two-way stop-controlled, 10 were all-way stop-controlled, and 9 were controlled by signals).  • The roundabouts were in rural, suburban, and urban environments.  • Single-lane and multilane roundabouts were included; traffic volumes at the treatment sites in the after condition ranged from 2,668 vpd to 58,800 vpd.	All Crashes	16	0.44 (0.06)	
	Injury Crashes		0.22 (0.07)	
	Single Lane - Rural (prior control - two-way stop-controlled)			
	All Crashes	9	0.29 (0.04)	
	Injury Crashes		0.13 (0.03)	
	Multilane - Urban/Suburban (prior control - stop sign)			
	All Crashes	11	0.82 (0.08)	
	Injury Crashes		0.28 (0.09)	
	COMMENTS: • A non-significant increase of 3% was found for 10 sites which were all-way stop-controlled prior to conversion to a roundabout.  • The authors were not able to determine the safety effects for pedestrians and bicyclists, but refer the reader to the positive results that have been found in Scandinavian evaluations. <sup>A</sup>  • No evidence was found to indicate roundabouts result in more difficulties for older drivers.	Single/Multilane - Urban/Suburban (prior control - signal)		
		All Crashes	9	0.52 (0.05)
		Injury Crashes		0.22 (0.06)
		All Sites		
All Crashes		55	0.65 (0.03)	
Injury Crashes			0.24 (0.03)	
FOOTNOTES: <sup>A</sup> Ulf and Jörgen - 1999 (78).				

AÑADIR ILUMINACIÓN A UNA INTERSECCIÓN

<b>TREATMENT: Add Intersection Lighting</b>	<b>AMF Level of Predictive Certainty: Medium-High</b>	
<b>METHODOLOGY:</b> Meta-Analysis/Analysis-Driven Expert Panel	<b>CRASH TYPE STUDIED AND ESTIMATED EFFECTS</b>	
<b>REFERENCE:</b> Elvik and Vaa - 2004 (60); NCHRP 17-25 Final Report; NCHRP 17-26 Final Report		
<b>STUDY SITES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>38 studies were evaluated as part of the meta-analysis, including 14 U.S. studies.<sup>A</sup></li><li>Distributions of crashes by injury severity and time of day were obtained from the HSIS data for the states of North Carolina and Minnesota.</li></ul>	<b>Nighttime Crashes</b>	<b>AMF</b>
	Total Crashes	0.79
	All Injury Crashes	0.71
	<b>All Crashes</b>	<b>AMF</b>
	Total Crashes	0.96
	All Injury Crashes	0.94
<b>COMMENTS:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>The meta-analysis results produced AMF estimates for reductions in fatal, injury and property-damage-only accidents of 0.36, 0.72, and 0.83, respectively.<sup>A</sup></li><li>The NCHRP 17-25/17-26 expert panel on urban/suburban arterials recommended that the meta-analysis results be applied to intersections and that the fatal and injury results be combined into a single AMF for all levels of injury.</li><li>The NCHRP 17-26 Final Report includes a distribution of crashes by time of day and injury severity for different types of intersections.</li></ul>		
<b>FOOTNOTES:</b> <sup>A</sup> Elvik and Vaa (60)		

INSTALACIÓN DE SEÑALIZACIÓN DE TRÁFICO EN UNA INTERSECCIÓN

TREATMENT: Install Traffic Signal at Urban Intersection	AMF Level of Predictive Certainty: High		
METHODOLOGY: Empirical Bayes Before-After	CRASH TYPE STUDIED AND ESTIMATED EFFECTS		
REFERENCE: McGee, Taori, and Persaud - 2003 (18)			
STUDY SITES:  • Included sites located in five states – California, Florida, Maryland, Virginia, Wisconsin – and Toronto. • Three-leg intersection data included 22 treatment sites (converted from stop to signal control) and 118 reference group sites (99 stop-controlled and 19 signalized intersections). • Four-leg intersection data included 100 treatment sites (converted from stop to signal control) and 295 reference group sites (96 stop-controlled and 199 signalized intersections). • An additional reference group was developed from the HSIS California urban data and included 1,418 stop-controlled and 799 signalized intersections. <sup>A</sup> • Minor street traffic volumes for the treatment sites ranged from 911 to 3,952 vpd; major street volumes ranged from 11,739 to 24,584 vpd.	Three-Leg Intersections	No. of Improved Sites	AMF
	All Crashes	22	0.86 (0.32)
	Right-Angle Crashes		0.66 (0.45)
	Rear-End Crashes		1.5 (0.51)
	Four-Leg Intersections		
	All Crashes	100	0.77 (0.22)
	Right-Angle Crashes		0.33 (0.20)
	Rear-End Crashes		1.38 (0.39)
COMMENTS:  • AMFs are for crashes involving fatalities and injuries only; property-damage-only (PDO) crashes were excluded from the analysis. • AMFs were developed using data from <b>urban</b> intersections. The authors do not recommend that these results be applied to rural intersections. • The study notes that the results could be adapted (i.e., reversed) to assess the safety of removing a traffic signal. The authors of the study do not have as much confidence in using the results in this way.			
FOOTNOTES: <sup>A</sup> The Highway Safety Information System (HSIS) is a multistate safety database that contains accident, roadway inventory, and traffic volume data for a select group of states and is sponsored by the FHWA.			

AÑADIR LÍNEA CENTRAL VIBRATORIA

TREATMENT: Add Centerline Rumble Strips	AMF Level of Predictive Certainty: Medium-High		
METHODOLOGY: Empirical Bayes Before-After	CRASH TYPE STUDIED AND ESTIMATED EFFECTS		
REFERENCE: Persaud, Retting, and Lyon - 2003 (57)	Accident Type (all severities)	No. of Improved Sites	AMF
STUDY SITES:  • Crash and traffic volume data were collected for 98 treatment sites, consisting of 210 miles, where centerline rumble strips had been installed on rural two-lane roads in the states of California, Colorado, Delaware, Maryland, Minnesota, Oregon, and Washington.  • The average length of the treatment sites was 2 miles, and the traffic volumes ranged from 5,000 to 22,000 vpd.  • The reference group of sites was developed from HSIS data for the states of California, Washington, and Minnesota. <sup>A</sup> Additional data were acquired from Colorado for SPF calibration for the Colorado sites.	All Crashes	98	0.86 (0.05)
	Frontal/Opposing-Direction Sideswipe Crashes		0.79 (0.12)
	Accident Type (injury crashes)		
	All Crashes	98	0.85 (0.08)
	Frontal/Opposing-Direction Sideswipe Crashes		0.75 (0.15)
	COMMENTS:		
	• The authors note that the results cover a wide range of geometric conditions, including curved and tangent sections and sections with and without grades.		
	• The results include all rumble strip designs (milled-in, rolled-in, formed, and raised thermo-plastic) and placements (continuous versus intermittent) that were present.		
	• The AMF is not applicable to other road classes (multilane).		
	FOOTNOTES: <sup>A</sup> The Highway Safety Information System (HSIS) is a multistate safety database that contains accident, roadway inventory, and traffic volume data for a select group of states and is sponsored by the FHWA.		

## INSTALACIÓN DE GUARDARAIL

<b>TREATMENT:</b> Install/Upgrade Guardrail	<b>AMF Level of Predictive Certainty: Medium-High</b>	
<b>METHODOLOGY:</b> Meta-Analysis	<b>CRASH TYPE STUDIED AND ESTIMATED EFFECTS</b>	
<b>REFERENCE:</b> Elvik and Vaa - 2004 (60)	<b>Run-Off-Road Accidents</b>	<b>AMF</b>
<b>STUDY SITES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• 20 studies were evaluated, including 12 U.S. studies (6 of which were conducted in 1982 or later).</li></ul>	Fatal Injury Crashes	0.56 (0.10)
	All Injury Crashes	0.53 (0.05)
<b>COMMENTS:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• The results apply to the installation of guardrail along an embankment. The studies were not differentiated by roadway class.</li><li>• The analysis also included an estimate for the change in accident rate, but the results were not significant.</li><li>• Results were also included for changing to softer guardrails. However, specifics on the type of change in hardware were not indicated, and not all results were significant. Therefore, they are not included here.</li></ul>		



# APÉNDICE 3 - ILUMINACIÓN



### APÉNDICE 3 - TABLAS PARA CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN

A continuación, se expondrán una serie de tablas de las cuales se obtuvieron los datos para el cálculo de la iluminación en el tramo de carretera objeto de estudio.

Las tablas para conocer la luminancia media necesaria fueron obtenidas de la Instrucción Técnica Complementaria EA – 02.

El cálculo se realizó siguiendo en método de los lúmenes.



## LUMINANCIA MEDIA SEGÚN EL TIPO DE CARRETERA

Tabla 2 – Clases de alumbrado para vías tipo A

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado <sup>(*)</sup>
<b>A1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías).</b></li> </ul>	
	Intensidad de tráfico	
	Alta (IMD) $\geq 25.000$ .....	ME1
	Media (IMD) $\geq 15.000$ y $< 25.000$ .....	ME2
<b>A2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas).</b></li> </ul>	
	Intensidad de tráfico	
	Alta (IMD) $> 15.000$ .....	ME1
	Media y baja (IMD) $< 15.000$ .....	ME2
<b>A3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici.</b></li> <li><b>Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio.</b></li> </ul>	
	Intensidad de tráfico	
	IMD $\geq 7.000$ .....	ME1 / ME2
	IMD $< 7.000$ .....	ME3a / ME4a
<b>A3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Vías colectoras y rondas de circunvalación.</b></li> <li><b>Carreteras interurbanas con accesos no restringidos.</b></li> <li><b>Vías urbanas de tráfico importante, rápidas radiales y de distribución urbana a distritos.</b></li> <li><b>Vías principales de la ciudad y travesía de poblaciones.</b></li> </ul>	
	Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera.	
	IMD $\geq 25.000$ .....	ME1
	IMD $\geq 15.000$ y $< 25.000$ .....	ME2
<b>A3</b>	IMD $\geq 7.000$ y $< 15.000$ .....	ME3b
	IMD $< 7.000$ .....	ME4a / ME4b
(*) Para todas las situaciones de proyecto (A1, A2 y A3), cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.		

Tabla 6 – Series ME de clase de alumbrado para viales secos tipos A y B

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia <sup>(4)</sup> Media $L_m$ (cd/m <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	Uniformidad Global $U_o$ [mínima]	Uniformidad Longitudinal $U$ [mínima]	Incremento Umbral $TI$ (%) <sup>(2)</sup> [máximo]	Relación Entorno $SR$ <sup>(3)</sup> [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

## NIVEL DE ILUMINANCIA MEDIA

Tipo de vía	Iluminancia media (lx)	Luminancia media (cd/m2)
A	35	2
B	35	2
C	30	1.9
D	28	1.7
E	25	1.4

### TIPO DE LÁMPARA/ALTURA

Flujo de la lámpara (lm)	Altura (m)
$3000 \leq \Phi_l < 10000$	$6 \leq H < 8$
$10000 \leq \Phi_l < 20000$	$8 \leq H < 10$
$20000 \leq \Phi_l < 40000$	$10 \leq H < 12$
$\geq 40000$	$\geq 12$

### DISPOSICIÓN DE LAS LUMINARIAS

Disposición	Relación anchura/altura	Unilateral o tresbolillo	A
Unilateral	$\leq 1$	Bilateral	A/2
Tresbolillo	$1 < A/H \leq 1.5$		
Pareada	$> 1.5$		

### FACTOR DE MANTENIMIENTO

Características de la vía	Luminaria abierta	Luminaria cerrada
Limpia	0.75	0.80
Media	0.68	0.70
Sucia	0.65	0.68

### FACTOR DE UTILIZACIÓN

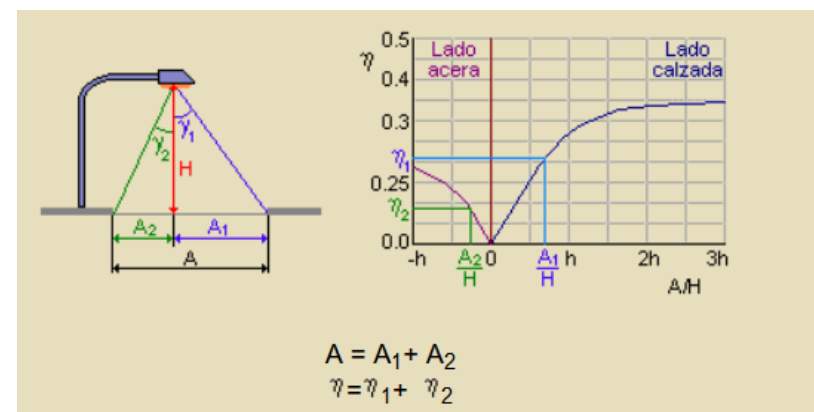


TABLA DE COMPROBACIÓN

$E_m$ (lux)	separación / altura
$2 \leq E_m < 7$	$5 \leq d/h < 4$
$7 \leq E_m < 15$	$4 \leq d/h < 3.5$
$15 \leq E_m \leq 30$	$3.5 \leq d/h < 2$