

MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL BASADO EN FACTORES HUMANOS

COMITÉ TÉCNICO C.2 DISEÑO Y OPERACIÓN DE UNA INESTRUCTURA CARRETERA MÁS
SEGURA

SOBRE LA ASOCIACIÓN MUNDIAL DE LA CARRETERA

La Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR) es una organización sin fines de lucro establecida en 1909 para mejorar la cooperación internacional y fomentar el progreso en el ámbito de las carreteras y el transporte por carretera.

El estudio objeto del presente informe se definió en el Plan Estratégico de la AIPCR de 2016-2019 aprobado por el Consejo de la Asociación Mundial de la Carretera, integrado por representantes de los gobiernos nacionales miembros. Los miembros del Comité Técnico responsable de este informe fueron nominados por los gobiernos nacionales miembros debido a sus competencias especiales.

Las opiniones, resultados, conclusiones y recomendaciones expresadas en esta publicación son las de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de sus entidades o agencias matrices.

Este informe está disponible en la página web de la Asociación Mundial de la Carretera: <http://www.piarc.org>

Derechos de autor por la Asociación Mundial de Carreteras. Todos los derechos reservados.

Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR)

Arche Sud 5° niveau

92055 La Défense CEDEX, FRANCIA

ISBN: 978-2-84060-607-9

Portada © Comité Técnico C.2

MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL BASADO EN FACTORES HUMANOS

**COMITÉ TÉCNICO C. 2 *DISEÑO Y OPERACIÓN DE UNA
INFRAESTRUCTURA CARRETERA MÁS SEGURA***

AUTORES/ AGRADECIMIENTOS

Este informe ha sido elaborado, en el período 2012-2015, por el Grupo de Trabajo "Investigación de accidentes de tráfico" del Comité Técnico de la AIPCR 3.2 "Infraestructura vial más segura" y finalizado en el período 2016-2019 por el Grupo de Trabajo "Factores humanos en el diseño y establecimiento de límites de velocidad creíbles" del Comité Técnico de la AIPCR C.2 "Diseño y explotación de una infraestructura carretera más segura". El trabajo se inició a partir de la edición existente de la "Guía de Investigación de Accidentes Viales para Ingenieros" producida en agosto de 2007 por el CT 3.1 "Seguridad Vial" y editada en 2013 como 2013R07EN dentro de la AIPCR. El grupo de trabajo decidió que el nuevo documento aportara un nuevo enfoque e introdujera información específica para cualquier país interesado en adoptar el paradigma del Sistema Seguro adoptado por el Manual de Seguridad Vial de la AIPCR (AIPCR, 2015) e introducir en sus planes nacionales procedimientos de Gestión de la Seguridad Vial. Este informe amplía su enfoque de la investigación de accidentes a la evaluación de la seguridad vial y pretende subrayar la importancia de un enfoque proactivo basado en los principios de los factores humanos en el diseño de carreteras.

Los colaboradores de este informe son (entre paréntesis el comité de la AIPCR durante el cual el autor trabajó en el documento):

- P. Eng, Daniel Aubin, aubind@mmm.ca (AIPCR TC C3.2 y TC C2)
- Diplom-Psicólogo Dr. Sibylle Birth, intelligenz@ist-potsdam.de (AIPCR TC C3.2 y TC C2)
- Prof. Eng. Lorenzo Domenichini, lorenzo.domenichini@unifi.it (AIPCR TC C3.2 y TC C2)
- Carlos de Almeida Roque, carlosalmeidaroque@gmail.com (AIPCR TC C3.2 y TC C2)
- Gerhard Schuwerk, Gerhard.schuwerk@astra.admin.ch (AIPCR TC C3.2 y TC C2)
- Yoshiyasu MURASHIGE, y.murashige.aa@ri-nexco.co.jp (AIPCR TC C3.2 y TC C2)
- Tang Chengcheng, Ph. D., cc.tang@rioh.cn (AIPCR TC C3.2 y TC C2)
- Jiří Landa, jiri.landa@wo.cz (AIPCR TC C3.2)
- Hans-Joachim Vollpracht, h_vollpracht@hotmail.com (PIARC TC C3.2)
- Schepers, Paul, (WVL) paul.schepers@rws.nl (PIARC TC C3.2)
- Jindřich Frič, Ph.D. jindrich.fric@cdv.cz (PIARC TC C3.2)
- Dr. BORSOS Attila, Ph.D. borsosa@sze.hu (PIARC TC C3.2)
- Prof. Bystrík BEZAK, PhD. bystrik.bezak@stuba.sk (PIARC TC C3.2)
- Dr. João Lourenço Cardoso, PhD. joao.cardoso@lnec.pt (AIPCR TC C3.2)

Revisión final y control de calidad de la versión inglesa del informe por Marion Doerfel, Suiza, Prof. Dipl.-Ing., marion.doerfel@bfh.ch (TC C3.2 y TC C2)

Comité C.2 Diseño y Operación de una Infraestructura Vial más Segura (2016-2019) el presidente y el secretario son:

- Silla: Shaw Voon WONG (Malasia)
- Secretaria de habla inglesa: WICKHAM Lucy (Reino Unido)
- Secretario francófono: HOLLAND Matthieu (Francia)
- Secretaria de habla hispana: Alberto MENDOZA DÍAZ (México).

MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL BASADO EN FACTORES HUMANOS

El objetivo de este Informe es instruir a las autoridades viales responsables sobre cómo evaluar la calidad de la seguridad vial a lo largo de las carreteras en operación, combinando el conocido enfoque reactivo, basado en el análisis de los datos de accidentes y la identificación y priorización de las secciones de alta concentración de accidentes (o puntos negros), con el enfoque proactivo, destinado a identificar las situaciones de riesgo potencial antes de que ocurran los accidentes. El enfoque proactivo es una metodología no basada en accidentes que aplica los principios de los Factores Humanos en el diseño de carreteras para identificar las deficiencias de la infraestructura y seleccionar medidas correctivas en la geometría de las carreteras, el equipamiento y el entorno vial para prevenir accidentes.

Analizando los procedimientos reales para la gestión de la seguridad de la red de carreteras, el informe analiza cómo el enfoque proactivo propuesto puede integrarse en las metodologías actuales para la evaluación de la seguridad vial y explica cómo implementarlo para identificar las secciones peligrosas en las que existen deficiencias relacionadas con los factores humanos.

En el Informe:

- se recuerdan las interacciones entre el hombre y la carretera que actúan mientras se conduce y provocan posibles errores operativos y de maniobra que pueden provocar accidentes;
- se describe un procedimiento para realizar evaluaciones de seguridad vial teniendo en cuenta las interacciones hombre-carretera;
- se presentan listas de control específicamente desarrolladas para ayudar a los técnicos a identificar las deficiencias de la infraestructura durante las evaluaciones de seguridad de Factores Humanos in situ;
- se prescribe un procedimiento para asignar un puntaje de seguridad al sitio investigado.

Las evaluaciones de seguridad basadas en los principios del Factor Humano requieren actividades de formación especiales para formar a técnicos e ingenieros que puedan implementar correctamente el procedimiento.

El valor añadido de la metodología propuesta consiste en la posibilidad de comenzar con el desarrollo del proceso de gestión de la seguridad de la red de carreteras incluso en situaciones en las que faltan bases de datos fiables sobre accidentes y características de la red de carreteras o no están disponibles en condiciones operativas. Esta posibilidad acorta el proceso de puesta en marcha para activar los planes de mejora de la seguridad vial en los países en los que aún no se ha desarrollado completamente un procedimiento de gestión de la seguridad vial.

El Informe incluye, en el último capítulo, estudios de caso seleccionados para ejemplificar los beneficios potenciales que pueden ofrecer las evaluaciones de seguridad vial basadas en el Método de los Factores Humanos. Los estudios de caso presentados subrayan que la naturaleza de los problemas de seguridad vial que se producen varía en función de los distintos entornos y condiciones de tráfico de las carreteras y que las medidas correctoras adecuadas, seleccionadas sobre la base de las deficiencias de los factores humanos identificados, variarán en consecuencia.

CONTENIDO

1. PRÓLOGO	3
2. INTRODUCCIÓN	4
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	6
4. EL PROCESO DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DE LAS REDES DE CARRETERAS	7
4.1. ACTIVIDADES PROACTIVAS Y REACTIVAS EN NSM	7
4.2. EL SIGNIFICADO PROACTIVO DE LAS EVALUACIONES DE SEGURIDAD VIAL BASADAS EN HF	9
4.3. EL PROCESO MEJORADO DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DE LA RED	10
5. RECOLECCIÓN DE DATOS	12
6. REVISIÓN DE SEGURIDAD DE LA RED	21
6.1. DEFINICIONES.....	21
6.2. SEGMENTACIÓN DE LA RED DE CARRETERAS.....	22
6.3. IDENTIFICACIÓN DE SECCIONES DE ALTA CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES	23
6.4. IDENTIFICACIÓN DE LA SECCIÓN PELIGROSA	31
6.5. ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN	32
7. EL MÉTODO DE LOS FACTORES HUMANOS	34
7.1. FACTORES HUMANOS DE LA INTERACCIÓN HOMBRE-CARRETERA	34
7.2. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD BASADA EN EL MÉTODO DE LOS FACTORES HUMANOS.....	38
7.3. HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE LOS FACTORES HUMANOS.....	46
8. TRATAMIENTOS DE SEGURIDAD IDENTIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	48
8.1. RECOMENDACIÓN DE TRATAMIENTOS	48
8.2. MONITOREO	50
9. CASOS PRÁCTICOS DE DIFERENTES PAÍSES	51
9.1. CASOS PRÁCTICOS DE JAPÓN.....	51
9.2. CASOS PRÁCTICOS DE PORTUGAL	55
9.3. CASO PRÁCTICO DE ITALIA	64
9.4. CASO PRÁCTICO DE CHINA	70
9.5. CASO PRÁCTICO DE MALASIA	73
9.6. CASO PRÁCTICO DE ALEMANIA	78
10. CONCLUSIÓN	84
11. REFERENCIAS	85

1. PRÓLOGO

El presente informe de la AIPCR se basa en dos informes anteriores de la AIPCR que tratan de los principios de los factores humanos en el diseño de carreteras para conseguir infraestructuras viarias más seguras:

- AIPCR, Human Factors Guidelines for a Safer Man-Road Interface, PIARC, publ. 2016R20EN, 2016.
- AIPCR, "Factores humanos en el diseño de carreteras. Review of Design Standards in Nine Countries" (Revisión de las normas de diseño en nueve países), AIPCR, publicación 2012R36EN, París, 2012.

Los principios de los Factores Humanos (HF) que rigen la interacción entre el conductor y la infraestructura vial y su entorno se presentan en el informe de la AIPCR 2016; se explican las tres reglas principales para cuidar adecuadamente los HF en el diseño de un entorno vial más seguro y se discuten ejemplos prácticos de cómo pueden aplicarse los principios de los HF en la práctica real.

El informe de la AIPCR 2012 revisa las normas de diseño de carreteras vigentes en nueve países e identifica hasta qué punto los principios de HF están incorporados en ellas. Se describen los diferentes grados de cumplimiento y se subraya la clara ausencia general en ellos de la segunda regla de HF relacionada con el campo de visión.

El presente informe trata de la aplicación de los principios de HF en el conocido procedimiento de inspecciones de seguridad vial (RSI); integra el informe de la AIPCR "Road Safety Inspection Guideline for safety checks of existing roads" (Directrices de inspección de seguridad vial para los controles de seguridad de las carreteras existentes) publicado en 2012 [AIPCR, 2012] y subraya hasta qué punto el proceso de gestión de la seguridad de la red de carreteras (NSM) puede beneficiarse de la aplicación del procedimiento de RSI integrado con el método de evaluación de la seguridad basado en HF descrito en este informe.

El método propuesto puede aplicarse tanto durante las inspecciones de seguridad a nivel de red como durante las inspecciones de emplazamientos en tramos de alta concentración de accidentes o durante las investigaciones de accidentes in situ. Esta última aplicación complementa las Directrices de la AIPCR sobre investigación de accidentes (AIPCR, 2013).

Por último, el presente informe completa el capítulo 8 del Manual de Seguridad Vial de la AIPCR (RSM de la AIPCR, 2015) al presentar un método que permite mantener al conductor como elemento clave en las inspecciones de seguridad vial, las auditorías de seguridad vial y, en un sentido más amplio, en la gestión de la seguridad vial.

2. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha mejorado el estado de los conocimientos científicos y técnicos sobre los límites psicológicos y fisiológicos de los usuarios de las carreteras (AIPCR, 2016) y se ha demostrado que deben integrarse mejor en las normas de diseño de las carreteras [2] y en el procedimiento de gestión de la seguridad de la red viaria en explotación.

Durante mucho tiempo, los datos sobre accidentes se interpretaron como una descripción del mal comportamiento humano en términos de violación de las normas de tráfico. Esto dio como resultado el objetivo unilateral de fortalecer las medidas correctivas de educación y aplicación de la ley a los usuarios de la vía pública como una prioridad. No siempre se ha tenido en cuenta la interacción entre las características de diseño de la carretera y su efecto en el rendimiento de conducción de los usuarios de la carretera, lo que explica por qué las investigaciones de accidentes y las inspecciones in situ a menudo no son capaces de identificar las causas de los accidentes. Los accidentes se producen incluso cuando el diseño de la carretera se ajusta a las normas y a menudo esto es inexplicable. Esto se debe a que no se aprovecha plenamente el potencial de los análisis de accidentes y las inspecciones in situ.

Las características engañosas y/o inesperadas de la carretera son a menudo las causas de los errores del conductor en relación con los accidentes.

Importante pero no suficiente la identificación de los tipos de accidentes, tales como los de tipo salida del camino (run-off-road), los de tipo alcance (rear-front) o fronto-lateral front-lateral), porque sólo describen las circunstancias al final de una cadena de acciones erróneas y maniobras de conducción; sólo pueden dar una hipótesis sobre la causa de los accidentes y el evento desencadenante que los lleva al accidente. Para comprobar esta hipótesis y para identificar claramente las causas que conducen a los accidentes, se debe considerar el método de los factores humanos (HF). Este método permite comprobar si el trazado y el entorno de la carretera están adaptados a las capacidades y necesidades de los usuarios. De lo contrario, esto puede ser el estímulo inicial de la cadena de acciones de conducción equivocadas que conducen al accidente.

Los valores umbral psicológicos y fisiológicos de las capacidades humanas desempeñan un papel importante en la causa de los accidentes. Se deben realizar evaluaciones especiales in situ de los Factores Humanos para evaluar hasta qué punto las capacidades y límites humanos han sido sobrecargados o violados, de modo que el usuario de la vía pública no tenga ninguna posibilidad de cometer errores. Esto puede ocurrir incluso si el conductor respeta las normas de circulación (por ejemplo, si conduce de acuerdo con el límite de velocidad indicado) y tiene un buen comportamiento al volante. Las auditorías de seguridad vial (RSA), las inspecciones de seguridad vial (RSI) y las investigaciones de accidentes pueden beneficiarse del método HF para comprender mejor la causa de los accidentes. La identificación de los factores desencadenantes de accidentes permite también una elección más eficiente de las medidas de seguridad más apropiadas.

Por lo tanto, la introducción del conductor y sus capacidades y limitaciones como punto de referencia central en el proceso de gestión de la seguridad vial puede aportar una contribución significativa al logro del concepto de "sistema seguro" adoptado por el Plan Global de las Naciones Unidas para la Década de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020.

El Sistema Seguro está estructurado en cinco pilares.

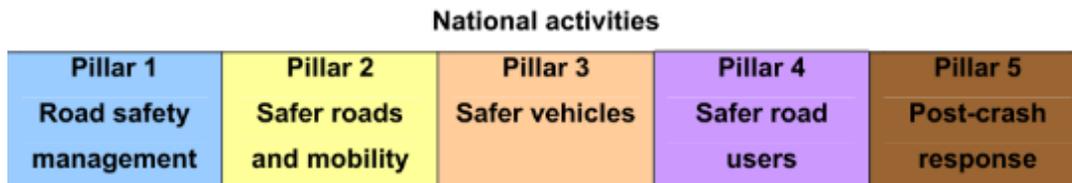


Figura 2-1: Los cinco pilares del Plan de Acción Mundial

(Fuente: www.who.int/roadsafety/)

La AIPCR se concentra en el desarrollo de herramientas para

- Pilar 1: Gestión de la seguridad vial
- Pilar 2: Carreteras y movilidad más seguras
- Pilar 4: Usuarios de la carretera más seguros

Este informe pertenece a las actividades del Pilar 2 - Carreteras y movilidad más seguras, y se concentra en el contenido del Manual de Seguridad Vial de la AIPCR [1] sobre la gestión de la seguridad vial. Su objetivo es instruir a las autoridades viales responsables sobre cómo mejorar la eficacia de las evaluaciones de la seguridad vial, aprovechando los resultados de las investigaciones más recientes en el campo de la participación de los factores humanos (HF) en la seguridad vial (AIPCR, 2016).

El procedimiento actual utilizado para gestionar la seguridad de las carreteras existentes permite combinar los conocidos enfoques reactivos y proactivos. El enfoque reactivo se basa en el análisis de datos de accidentes para identificar y priorizar las secciones de alta concentración de accidentes (o puntos negros); el enfoque proactivo se basa en las Inspecciones de Seguridad Vial (RSI), cuyo objetivo es identificar medidas correctivas en la geometría de las carreteras, el equipamiento y el entorno vial para prevenir futuros accidentes (AIPCR, 2009).

El método de los factores humanos está destinado a unirse al procedimiento actual de la RSI para aumentar la capacidad de los inspectores para identificar lugares potencialmente peligrosos a lo largo de la carretera. Se ha demostrado que los resultados que se pueden obtener mediante el procedimiento RSI mejorado son fiables también cuando no se conocen los tramos de alta concentración de accidentes debido a la falta de bases de datos fiables sobre accidentes. De hecho, una investigación a ciegas demostró que hasta el 80% de las ubicaciones peligrosas identificadas resultan también en secciones de alta concentración de accidentes [12].

El Método HF también puede aplicarse durante una RSA en la fase de diseño de un proyecto de infraestructura, incluso si esta aplicación no está explícitamente cubierta por el presente informe.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para preparar este informe, los grupos de trabajo nombrados por el Comité Técnico de la AIPCR para unas infraestructuras viarias más seguras en los períodos 2012-2015 y 2016-2019 analizaron en primer lugar el contenido de los informes existentes de la AIPCR sobre las investigaciones de accidentes [29] y las inspecciones de seguridad [16].

Posteriormente, se realizó una extensa revisión bibliográfica sobre el tema más amplio de la Gestión de la Seguridad Vial para entender cuál podría ser el valor añadido de introducir el nuevo método de evaluación de la seguridad basado en HF.

En este contexto, el informe se finalizó gracias a sesiones de discusión, intercambio de experiencias y sesiones de redacción. Se prepararon las listas de control adecuadas y se elaboró una puntuación HF para clasificar los resultados en materia de seguridad de cada tramo de carretera inspeccionado.

Los miembros del Grupo de Trabajo recopilaron estudios de casos para ejemplificar el procedimiento previsto y mostrar las mejoras previstas en materia de seguridad vial. Se recopilaron 11 estudios de caso de no. 6 países (Japón, Portugal, Italia, Alemania, China y Malasia) y su descripción se incluye en el Cap. 9.

En todos los casos recogidos, la situación desencadenante fue la presencia de un tramo de carretera de alta concentración de accidentes. Se describen las características geométricas y de tráfico de estas secciones y se presentan los resultados de las actividades de inspección de HF. En la mayoría de los casos se reconocen las ilusiones ópticas y las dificultades de percepción (Portugal, Italia, China y Alemania), así como las expectativas insatisfechas de los conductores (Japón, China, Malasia y Alemania). La velocidad inadecuada fue identificada como la consecuencia más frecuente.

Por último, se describen las medidas correctivas de seguridad elegidas para superar las situaciones de riesgo identificadas. Una vez identificada la causa del accidente gracias a la aplicación del Método HF, la selección de la medida correctiva será la más adecuada para resolver el problema de seguridad reconocido.

4. EL PROCESO DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DE LAS REDES DE CARRETERAS

4.1. ACTIVIDADES PROACTIVAS Y REACTIVAS EN NSM

La visión estratégica integrada en el enfoque de sistema seguro promovido por el Plan Global de las Naciones Unidas [3], se prevé la eliminación a largo plazo de las muertes y lesiones graves causadas por accidentes de tránsito, así como la mejora de la capacidad de los países para gestionar la seguridad vial, la prevención de accidentes y la reducción de la gravedad de los mismos.

Desde 1960, se ha observado un cambio progresivo en el pensamiento y las prácticas sobre cómo gestionar la seguridad vial (Recuadro 1.3 en [1]). Hoy en día, se ha logrado una firme creencia generalizada que vincula el éxito de la Gestión de la Seguridad de la Red de Carreteras (NSM) a un enfoque sistemático cuyas bases se identifican en un proceso que incluye acciones proactivas y reactivas (véase Figura 4-1):

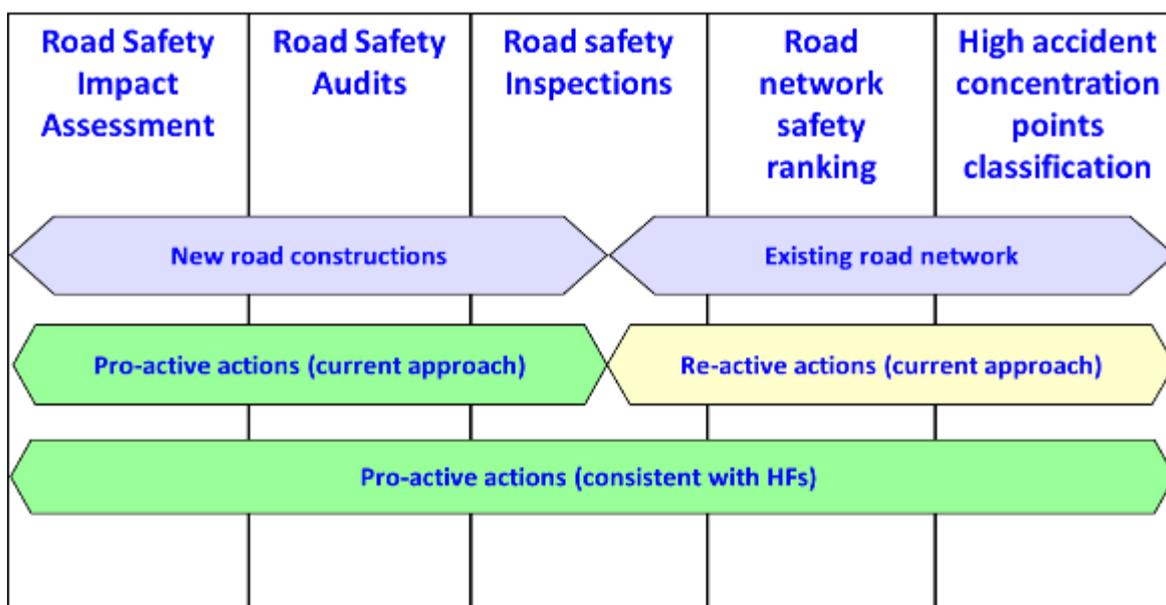


Figura 4-1: Enfoques proactivos y reactivos en la gestión de la seguridad de las redes de carreteras (NSM)

Las acciones **proactivas** o preventivas (cuadro verde en la parte izquierda de la Figura 4-1) incluyen:

- la adopción de nuevas intervenciones en infraestructuras claramente centradas en la mejora de las capacidades de movilidad y el desarrollo económico de cada país sin pagar la carga de los costes sociales relacionados con los accidentes;
- la realización de procedimientos de auditoría de seguridad para controlar la correcta aplicación de los principios y prácticas de seguridad vial durante el diseño, la construcción y la explotación temprana de carreteras nuevas o reconfiguradas y
- la realización de inspecciones de seguridad de la red de carreteras en operación para controlar los resultados en materia de seguridad del entorno vial y para comprobar la posible

aparición de nuevas situaciones de riesgo en el tráfico, aunque todavía no se hayan puesto de manifiesto por la elevada frecuencia de accidentes.

Las acciones **reactivas** o correctivas (recuadro amarillo en la parte derecha de la Figura 4-1) se centran en el análisis del comportamiento real de la seguridad de la red de carreteras existente sobre la base de análisis e investigaciones de accidentes y en la realización de visitas in situ en los tramos de puntos negros para identificar las medidas de seguridad que deben introducirse.

La Directiva 2008/96/CE de la UE sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias¹ [3] abordó este enfoque e identificó cuatro herramientas de ingeniería para llevar a cabo la tarea:

- la evaluación de impacto de la seguridad vial de cada nueva intervención en carretera;
- las Auditorías de Seguridad Vial (RSA) en cada fase del proceso de diseño y construcción;
- las Inspecciones de Seguridad Vial (RSI) de la red de carreteras en operación y
- el proceso de "Clasificación de la Seguridad de la Red", incluida la identificación de las secciones de alta concentración de accidentes y la definición de la lista de prioridades para el tratamiento de la seguridad.

Una forma aún más eficaz de alcanzar los objetivos del sistema seguro (Safe System) puede obtenerse ampliando el enfoque preventivo al análisis de los tramos de carretera existentes, tal y como se muestra en el recuadro verde de la parte inferior de la Figura 4-1 y que han propuesto algunas administraciones avanzadas (véase Figura 4-2). Los errores de conducción involuntarios y las vulnerabilidades humanas (es decir, los principios de los factores humanos, AIPCR, 2016) deben tenerse en cuenta en la clasificación de la seguridad vial y en las actividades de investigación de accidentes para cumplir este concepto.

De esta forma, se puede destacar el significado proactivo de los conocidos procedimientos de Inspección de Seguridad Vial (RSI) integrándolos con actividades especiales de Evaluación de la Seguridad Vial in situ basadas en Factores Humanos (RSE_HF), es decir, realizadas teniendo en cuenta el Factor Humano en los principios de diseño de carreteras desarrollados en [4]. Esto puede permitir evaluar hasta qué punto el trazado de la carretera y su entorno tienen en cuenta las capacidades humanas y los límites durante la conducción.

Se pueden identificar tramos de carretera peligrosos, no cargados por altas frecuencias de accidentes, realizando RSE_HF y es posible su introducción dentro de la lista de prioridades de los tramos de carretera que requieren mejoras de seguridad. Por lo tanto, el orden de prioridad incluiría ambos:

- Secciones de alta concentración de accidentes (HACS) o áreas propensas a choques, ya caracterizadas por altas frecuencias o índices de accidentes (enfoque reactivo), y

¹ La Directiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo se aplica a las carreteras que forman parte de la red transeuropea de carreteras. Los Estados miembros también podrán aplicar las disposiciones de la Directiva, como un conjunto de buenas prácticas, a la red nacional de infraestructuras de transporte por carretera construida con financiación comunitaria total o parcial. Por ejemplo, en Italia se ha previsto que el ámbito de aplicación de la Directiva de la UE se amplíe a toda la red nacional de carreteras a partir de 2021. Según la normativa húngara, la gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias se aplica no sólo a la red transeuropea de carreteras establecida en la Directiva 2008/96/CE, sino a todas las carreteras principales nacionales desde el 1 de enero de 2014, así como a todas las carreteras con más de 10.000 UCP/día a partir del 1 de enero de 2015.

- Secciones Peligrosas (HS), donde se presentan características que proporcionan estímulos engañosos a los usuarios de la carretera, que posiblemente conducen a accidentes (enfoque proactivo).

El enfoque propuesto permite convertir en práctica la identificación y el tratamiento proactivo de los puntos de riesgo en las redes de carreteras existentes antes de que se produzcan colisiones en estos lugares, tal como promueve el RSM de la AIPCR [1].



Figura 4-2 - Intervención proactiva durante todo el ciclo de vida de una carretera, y para proyectos y carreteras en operación [fuente: M. Doerfel, extracto de las conferencias de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Berna y de la formación de expertos en seguridad vial].

4.2. EL SIGNIFICADO PROACTIVO DE LAS EVALUACIONES DE SEGURIDAD VIAL BASADAS EN HF

Un enfoque proactivo considera la probabilidad de una interacción hombre-carretera incorrecta como un medio para identificar las deficiencias de la carretera que son capaces de desencadenar errores operativos y de conducción que, si no se corrigen a tiempo, provocan la ocurrencia de un accidente.

En algunos lugares, la suma de todas las combinaciones posibles de las características de la carretera, el entorno circundante y la estructura del campo de visión podría superar la capacidad del conductor para reconocer el trazado de la carretera, lo que provocaría confusión. Si se requiere demasiado para realizar la tarea de conducir con seguridad, en comparación con las capacidades cognitivas y sensorimotoras² del conductor, podrían producirse errores de conducción, que podrían dar lugar a accidentes. Por lo tanto, la evaluación de la calidad ergonómica de la carretera es el objetivo principal de las actividades de "Evaluación de la seguridad vial basada en HF" (RSE_HF). Esto permite identificar estímulos erróneos que pueden causar decisiones de conducción engañosas y prevenir la ocurrencia de accidentes evitables -

² Sensorimotor se define como un proceso de integración de las acciones motoras y la información sensorial.

tanto severos como con daños a la propiedad solamente - que es la mejor garantía para lograr un Sistema Seguro.

4.3. EL PROCESO MEJORADO DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DE LA RED

El desarrollo de un proceso de Gestión de la Seguridad de la Red de Carreteras (NSM) de las carreteras existentes incluye tres pasos, como se muestra en la Figura 2.4-3:

- recogida de datos, incluidos los accidentes, las características de las carreteras y los datos sobre tráfico. Permite la implementación de estadísticas nacionales, la definición de políticas de seguridad y el desarrollo de análisis de seguridad de la red de carreteras en operación;
- Network Safety Screening (NSS), destinado a identificar los tramos de carretera que requieren la aplicación de tratamientos de seguridad (HACS y HS);
- la definición técnica de los tratamientos de seguridad de los tramos de carretera que figuran en primer lugar en la lista de prioridades, teniendo en cuenta el presupuesto disponible.

Este procedimiento permite identificar las medidas adecuadas y asegurar que los recursos financieros limitados se utilicen de forma adecuada.

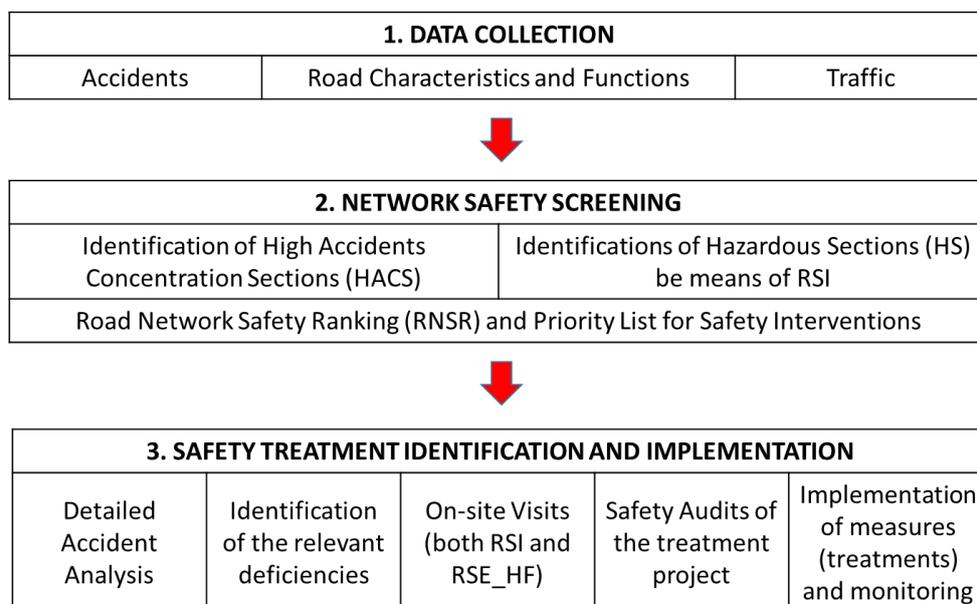


Figura 2.4-3 - Proceso recomendado de gestión de la seguridad de la red de carreteras para las carreteras existentes

Para realizar los pasos 2) y 3) es necesario disponer de la información y los datos recogidos en el paso 1), organizados en bases de datos interconectadas y de fácil acceso. Estas actividades se detallan en el capítulo 3. La recopilación de datos es una actividad lenta y costosa; requiere una capacidad de gestión general específica que en realidad no podría estar presente en todos los países (también en los países de renta alta, HIC). La reducción de la cantidad de datos requeridos por el proceso debería ser una necesidad en algunos casos, ya que permitiría una implementación mucho más rápida del sistema. La mejora de la fiabilidad del proceso, permitida por datos más detallados y controlados, puede posponerse en estos casos a una segunda fase del proceso de implementación.

De acuerdo con la metodología mejorada propuesta, el proceso de control de seguridad de la red (fase 2) incluye dos actividades distintas: la identificación de las secciones de alta concentración de accidentes (HACS) y de las secciones peligrosas (HS).

La primera actividad pertenece al tradicional enfoque "reactivo", basado en el análisis de accidentes. La descripción de esto, es el enfoque del Cap. 4.

La segunda actividad, actualmente no considerada a nivel de los SAT, se detalla en el Cap. 5 y considera la implementación de las Inspecciones de Seguridad Vial (RSI) complementadas con las Evaluaciones de Seguridad Vial basadas en Factores Humanos (RSE_HF), para identificar las Secciones Peligrosas (HS). Las carreteras de alta velocidad son tramos que requieren mejoras de seguridad en los que la frecuencia de accidentes puede ser alta o baja, o incluso nula. Estas actividades pueden ayudar a responder preguntas como:

- ¿Por qué los buenos tramos de carretera (de acuerdo con los requisitos de la norma) se ven afectados por un elevado número de accidentes?
- ¿Por qué las secciones de baja concentración de accidentes pueden convertirse en secciones de carga de accidentes del mañana (secciones de falsos negativos de la actividad Black Spot Management (BSM))?
- ¿Por qué las secciones de alta concentración de accidentes resultantes de un proceso de identificación de puntos negros son realmente inexplicables desde el punto de vista de la ingeniería (secciones de falsos positivos de la actividad de BSM)?

La implementación de las actividades proactivas de RSI y RSE_HF no requiere datos adicionales, debería reducir los resultados poco confiables comprometidos en la identificación de HACS (ver Cap. 4) e incluso puede ser implementada si no se dispone de bases de datos confiables.

La última etapa, que trata de la mejora de las características de seguridad de la carretera (actividad 3), requiere un análisis detallado de los datos sobre accidentes y de las características de la infraestructura en los emplazamientos que figuran en primer lugar en la lista prioritaria. Esta actividad final tiene como objetivo identificar qué tratamiento de ingeniería puede resolver o mitigar los problemas de seguridad identificados en estos lugares. Para identificar las características de la infraestructura que causan accidentes, se deben realizar visitas in situ. Un enfoque centrado en HF en las visitas in situ podrá aportar un valor añadido para comprender los problemas existentes también en esta fase del procedimiento de gestión de la seguridad de las redes.

5. RECOLECCIÓN DE DATOS

Los accidentes representan la salida negativa del sistema vehículo-carretera-humano. Cuando se trata del análisis de seguridad de una intersección o del desarrollo de una estrategia nacional de seguridad vial, se necesitan datos fiables y pertinentes sobre accidentes para lograr un sistema eficaz de gestión de la seguridad vial a nivel nacional, regional y local. Los métodos y procedimientos de recogida de datos dependen de los objetivos que deben alcanzarse, de las tecnologías disponibles y de la situación legislativa.

Las herramientas de seguridad vial que se basan en los datos de accidentes observados se denominan herramientas reactivas, ya que reaccionan ante eventos negativos (accidentes) después de que ocurrieran.

La recopilación de datos se basa en gran medida en el registro de datos sobre accidentes en una base de datos. Estas bases de datos pueden ser operadas por varias partes interesadas y consisten en:

- Informes policiales
- Estadísticas nacionales
- Base de datos de las autoridades y operadores de carreteras
- Datos sanitarios y hospitalarios
- Base de datos de las agencias de rescate de emergencia
- Base de datos por llamada electrónica y punto de respuesta de seguridad pública (PSAP)

En los Anexos se pueden encontrar dos ejemplos de formulario de informe de accidente (ANEXO 1: Formulario de informe de accidente italiano, ANEXO 2: Formulario de informe egipcio, como resultado de un proyecto de hermanamiento - más detalles en Vollpracht et al. 2010).

Además de las bases de datos nacionales, también existen bases de datos europeas e internacionales sobre accidentes:

- Base de datos CARE (Base de datos comunitaria sobre accidentes de tráfico en Europa): (http://europa.eu.int/comm/transport/care/index_en.htm)
- IRTAD (Base de datos internacional de tráfico y accidentes de tráfico): (<http://www.bast.de/htdocs/fachthemen/irtad/english/irtadlan.htm>)
- Base de datos IRF WRS (International Road Foundation World Road Statistics): (<http://www.irfnet.org/>)
- Base de datos HSIS (Highway Safety Information System): (<http://www.hsisinfo.org>)
- CDS (Crashworthiness Data System), FARS (Fatality Analysis Reporting System) y NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration): (<http://www.nhtsa.gov/>)
- NTSB - Base de datos de la National Transportation Safety Board: (<http://www.ntsb.gov/>)

Lamentablemente, no se ha producido una normalización de los procedimientos y formularios de recogida de datos entre los distintos organismos e instituciones y no se han coordinado las estructuras de la base de datos. En consecuencia, el conjunto de datos contenidos en cada una de las bases de datos anteriores es diferente y para responder a los alcances de cada tipo específico de análisis de accidentes puede ser necesario utilizar varias fuentes al mismo tiempo.

El análisis de accidentes se puede realizar a diferentes niveles y con diferentes alcances:

- elaborar estadísticas nacionales: en estos casos, deberían ser necesarios datos agregados para identificar el nivel de seguridad de cada clase de carretera (carreteras nacionales principales, carreteras locales, vías urbanas de recogida, etc.), de cada usuario de la carretera (conductores de vehículos, vehículos de dos ruedas motorizados, ciclistas, peatones, etc.), la influencia del sexo y la edad, etc.;
- clasificar los niveles de seguridad de los diferentes tramos de una red de carreteras (ranking de seguridad vial): la localización geográfica de los accidentes observados y su gravedad (accidentes mortales, lesiones o daños únicamente) son necesarios en este caso;
- determinar las medidas de seguridad adecuadas que deben recomendarse en los tramos de carretera con alta concentración de accidentes: en estos casos, debería ser necesario disponer de un conjunto completo de datos detallados, incluidos los tipos de accidentes recurrentes (colisiones en la parte trasera, fuera de la carretera, colisiones frontales laterales, etc.), las características de la carretera, los datos sobre tráfico, los datos meteorológicos y medioambientales, etc. La calidad y el nivel de detalle de los datos pertinentes son el requisito previo para la aplicación de las medidas correctivas pertinentes.

La exhaustividad y la complejidad de los datos recopilados dependen de la capacidad de gestión de la seguridad de cada país. El desarrollo de una base de datos que constituye la base del sistema de gestión de la seguridad vial puede llevar mucho tiempo y ser muy costoso, y su construcción y mantenimiento requieren datos y experiencia que la mayoría de las administraciones de carreteras no tienen, ni siquiera en los HIC.

Los países tienen una administración, una disponibilidad de datos y un nivel de conocimientos diferentes, por lo que la recopilación de datos y las bases de datos sobre accidentes deben estructurarse en consecuencia. El uso previsto y el nivel de detalles pueden variar. El nivel jerárquico de detalles junto con su enfoque progresivo ha sido categorizado como sigue:

- NIVEL I → Se requiere un conjunto mínimo de datos
- NIVEL II → Se requieren datos completos
- NIVEL III → se requieren datos detallados

Cuanto más detallados sean los datos disponibles, mayor será la fiabilidad del análisis realizado. Sin embargo, hay que ser lo suficientemente precavido como para comprender el posible contratiempo de que dichos detalles no se determinen con precisión en la práctica.

La disponibilidad de la gravedad del accidente (fatal, lesiones y daños materiales solamente - PDO - accidentes) también es útil en el análisis de seguridad. A menudo, las estadísticas oficiales sólo incluyen los accidentes graves (con víctimas mortales y/o lesiones), pero el conocimiento del tipo y la localización de los accidentes de las DOP permite identificar las secciones más peligrosas.

En el siguiente Tabla 5.1 se indican los datos recomendados que deben recopilarse en función del nivel del tipo de enfoque.

Tabla 5.1- NIVEL I: conjunto mínimo de datos disponibles

CARNÉ DE IDENTIDAD	DATOS	ACTIVIDAD		
		ESTADÍSTICAS NACIONALES	RANKING DE SEGURIDAD VIAL	IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS
Datos de accidentes				
	Fecha y hora del día	✓	✓	✓
	Ubicación (coordenadas)	✓	✓	✓
	Severidad	✓	✓	✓
	Descripción del accidente (texto y croquis)	✓	✓	✓
Datos sobre el accidente en el que están involucrados los conductores				
	Deterioros del conductor	✓	✓	✓
Datos de tráfico				
	Ninguno			
Características de la red de carreteras				
	Tipo de camino	✓	✓	✓
Datos sobre el entorno vial				
	Ninguno			
Datos meteorológicos				
	Ninguno			
Datos históricos relativos a las intervenciones de mantenimiento				
	Ninguno			

Datos adicionales			
<ul style="list-style-type: none">• el conductor (categoría del permiso, experiencia del conductor, edad, nacionalidad, educación, etc.);• deterioro del conductor (alcohol, drogas, otros, etc.);• condición del conductor (alerta, cansado, impulsivo, indisposición repentina, suicida, etc.);• uso de dispositivos de retención (casco, cinturón de seguridad, asiento infantil, etc.);• condición del peatón (alerta, impedido por el alcohol/drogas, etc.);• comportamiento del peatón (correcto, defectuoso, mala estimación del movimiento del vehículo, entrada repentina en la calzada, etc.);• número de matrícula;• marca del vehículo;• operador del vehículo (transporte privado, comercial, público, etc.);• año de fabricación del vehículo;• participación de los servicios de emergencia.	✓		

Tabla 5.2 - NIVEL II: nivel intermedio de datos disponibles

CARNÉ DE IDENTIDAD	DATOS	ACTIVIDAD		
		ESTADÍSTICAS NACIONALES	RANKING DE SEGURIDAD VIAL	IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS
Datos de accidentes				
1	Fecha y hora del día	✓	✓	✓
2	Ubicación (coordenadas y referencia de la red de carreteras)	✓	✓	✓
3	Severidad	✓	✓	✓
4	Descripción del accidente (texto y croquis)	✓	✓	✓
Datos sobre el accidente en el que están involucrados los conductores				
1	Deterioros del conductor	✓	✓	✓
Datos de tráfico				
	Volumen de tráfico		✓	✓
Características de la red de carreteras				
	Tipo de camino	✓	✓	✓
	Carretera Urbana o In-Town (rural)	✓	✓	✓
	Alineación vertical y horizontal		✓	✓
	Organización y dimensiones de las secciones transversales		✓	✓
	Características de la intersección y ubicación		✓	✓
Datos sobre el entorno vial				
	Ninguno			

Datos meteorológicos				
1	Condiciones climáticas en el momento del accidente	✓	✓	✓
Datos históricos relativos a las intervenciones de mantenimiento				
	Ninguno			
Datos adicionales				
1	<ul style="list-style-type: none"> • el conductor (categoría del permiso, experiencia del conductor, edad, nacionalidad, educación, etc.); • deterioro del conductor (alcohol, drogas, otros, etc.); • condición del conductor (alerta, cansado, impulsivo, indisposición repentina, suicida, etc.); • uso de dispositivos de retención (casco, cinturón de seguridad, asiento infantil, etc.); • condición del peatón (alerta, impedido por el alcohol/drogas, etc.); • comportamiento del peatón (estimación correcta, defectuosa y deficiente del movimiento del vehículo, • entrada repentina a la carretera, etc.); • número de matrícula; • marca del vehículo; • operador del vehículo (transporte privado, comercial, público, etc.); • año de fabricación del vehículo; • participación de los servicios de emergencia. 	✓		

Tabla 5.3 - NIVEL III: datos muy detallados disponibles

CARNÉ DE IDENTIDAD	DATOS	ACTIVIDAD		
		ESTADÍSTICAS NACIONALES	RANKING DE SEGURIDAD VIAL	IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS
Datos de accidentes				
	Fecha y hora del día	✓	✓	✓
	Ubicación (coordenadas y referencia de la red de carreteras)	✓	✓	✓
	Severidad	✓	✓	✓
	Descripción del accidente (texto y croquis)		✓	✓
	Tipo de vehículos involucrados	✓		✓
	Tipo de accidente (véase el ejemplo del anexo 3)	✓		✓
Datos sobre el accidente en el que están involucrados los conductores				
	Deterioros del conductor	✓	✓	✓
	Edad y sexo del conductor	✓	✓	✓
Datos de tráfico				
	Volumen de tráfico	✓	✓	✓
	Mezcla de tráfico		✓	✓
	Normas de tráfico en el lugar del accidente		✓	✓
	Características del tráfico en el momento del accidente		✓	✓
	Velocidad operativa en el lugar del accidente		✓	✓
Características de la red de carreteras				

	Tipo de camino	✓	✓	✓
	Alineación vertical y horizontal		✓	✓
	Organización y dimensiones de las secciones transversales		✓	✓
	Características de la intersección y ubicación		✓	✓
	Ubicación del camino de entrada			✓
	Ubicación y características de las paradas de autobús			✓
	Cruces peatonales y aceras			✓
	Características del carril bici			✓
	Características del alumbrado público			✓
	Características y ubicación del área de estacionamiento			✓
	Condiciones del pavimento			✓
Datos medioambientales				
	Uso del suelo (residencial, industrial, comercial, agrícola)			✓
	Paisaje viario (llano, montañoso, montañoso, urbano)			✓
Datos meteorológicos				
	Condiciones climáticas en el momento del accidente	✓	✓	✓
Datos históricos relativos a las intervenciones de mantenimiento				
	Principales cambios en la organización de las carreteras en el período de análisis			✓
Datos adicionales				
	<ul style="list-style-type: none"> • el conductor (categoría del permiso, experiencia del conductor, edad, nacionalidad, educación, etc.); • deterioro del conductor (alcohol, drogas, otros, etc.); • condición del conductor (alerta, cansado, impulsivo, indisposición repentina, suicida, etc.); • uso de dispositivos de retención (casco, cinturón de seguridad, asiento infantil, etc.); • condición del peatón (alerta, impedido por el 	✓		

	<p>alcohol/drogas, etc.);</p> <ul style="list-style-type: none">• comportamiento del peatón (estimación correcta, defectuosa y deficiente del movimiento del vehículo,• entrada repentina a la carretera, etc.);• número de matrícula;• marca del vehículo;• operador del vehículo (transporte privado, comercial, público, etc.);• año de fabricación del vehículo;• participación de los servicios de emergencia.			
--	---	--	--	--

Tabla 5.4 - NIVEL III: datos muy detallados disponibles

6. REVISIÓN DE SEGURIDAD DE LA RED

6.1. DEFINICIONES

El cribado de la seguridad de las redes es un proceso en el que se analizan estadísticamente las variaciones en el número de accidentes o posibles accidentes en los diferentes tramos de una red de carreteras. El objetivo del proceso es identificar los tramos de carretera que presentan déficits de seguridad, ya sea en forma de un número anormalmente elevado de accidentes, un elevado porcentaje de accidentes graves o un elevado porcentaje de un tipo de accidente concreto. Se trata de un proceso "basado en accidentes" o "reactivo".

Existen varias opciones de procedimientos de cribado de red, que van desde la simple clasificación de los tramos de carretera en función del número de accidentes registrados hasta técnicas estadísticamente avanzadas basadas en modelos de predicción de accidentes. El método de cribado de redes implementado en el software AASHTO Safety Analyst [6] que se recomienda en el recientemente publicado Manual de Seguridad en Carreteras [7] representa el estado actual de la técnica.

De acuerdo con la Directiva de la UE 2008/96/CE [3], el Ranking de Seguridad de la Red se define como "un método para identificar, analizar y clasificar partes de la red de carreteras existente en función de su potencial de desarrollo de la seguridad y de ahorro de costes en caso de accidente".

Las partes de la red de carreteras que requieren tratamiento de seguridad se denominan con diferentes términos: puntos negros, secciones de alta concentración de choques o accidentes, ubicaciones de carreteras peligrosas, ubicaciones propensas a accidentes, ubicaciones de accidentes peligrosos, ubicaciones problemáticas, puntos calientes o lugares prometedores. De hecho, cada uno de los términos enumerados tiene un significado específico; algunos de ellos se utilizan en actividades de gestión de puntos negros (Black Spot Management, BSM), haciendo hincapié en las localizaciones de accidentes (con términos positivos, como sitios prometedores, o negativos, como puntos negros), y otros se utilizan en la gestión de la seguridad de la red (Network Safety Management, NSM), refiriéndose a tramos de carretera, caracterizados por una longitud determinada, en los que se produce un número anómalo de accidentes (o con el término positivo "en los que se dispone de un alto potencial para la seguridad vial"). En este informe se da preferencia a la expresión "Secciones de alta concentración de accidentes" (HACS) para subrayarlo:

- en general, un problema de seguridad no se debe únicamente a problemas específicos del lugar (punto negro en el que se producen patrones comunes de accidentes), sino a las características del tramo de carretera que precede al lugar del accidente, en el que se producen los estímulos relacionados con los errores de conducción;
- los accidentes no relacionados con el lugar de los hechos deben eliminarse del análisis, ya que no contribuyen al proceso encaminado a aumentar los resultados en materia de seguridad vial;
- se incluye el carácter preventivo que se persigue con la actividad de identificación del sistema HACS.

No existe una definición estándar de HACS; con mayor frecuencia, HACS es cualquier sección en la que el número específico de accidentes es mayor que en secciones similares, debido a factores de riesgo locales y de sección.

En general, la definición de HACS no sólo debería incluir el número de accidentes, sino también su gravedad [7], incluyendo accidentes mortales, lesiones y daños materiales solamente (PDO).

La puntuación de las carreteras por riesgo de acuerdo con el protocolo desarrollado por el Programa Europeo de Evaluación de Carreteras (EuroRAP) puede considerarse una forma de selección de la red. Sin embargo, EuroRAP no es un organismo oficial y la clasificación de riesgo no tiene carácter oficial [8].

6.2. SEGMENTACIÓN DE LA RED DE CARRETERAS

Los tramos de alta concentración de accidentes deben identificarse subdividiendo la red de carreteras considerada en una población claramente definida de subtramos que debe ser más o menos homogénea en cuanto a los parámetros que influyen de forma significativa en el número de accidentes. Esto significa que a lo largo de cada subsección las variables consideradas alcanzan valores constantes.

Los criterios de subdivisión dependen del método de identificación HACS utilizado. En general, distinguen entre elementos de carretera en zonas urbanas o rurales y categorías funcionales de carreteras y consideran por separado los segmentos de carretera o las intersecciones principales. También se consideran modificaciones significativas de los volúmenes de tráfico. Otra subdivisión más detallada podría aplicarse en relación con las variables consideradas por los modelos de predicción de accidentes utilizados en los métodos de identificación de NIVEL III (véase el capítulo 5): organización de la sección transversal, incluido el número de carriles, la anchura de los carriles, la anchura de los arcenes o la presencia de carriles para bicicletas, el tipo de elemento de la carretera (como túneles y puentes), los límites de velocidad, la densidad de la calzada, las alineaciones horizontales y verticales de la carretera (curvas, pendientes, etc.) y el entorno en el que se sitúan los bordes de la carretera (residenciales, comerciales, agrícolas, etc.).

Las secciones homogéneas deben tener en general longitudes variables. Deben evitarse las secciones demasiado pequeñas. En el caso de NSM, se recomiendan longitudes de sección mínimas de entre 2 y 10 km. A veces, se consideran secciones de longitud constante si la ubicación del accidente no es lo suficientemente precisa (véase Figura 4.6-1).

La división puede basarse en principios "basados en puntos", en los que se utilizan como puntos de división: intersecciones importantes, entradas a la ciudad u otros "puntos", o en un principio "basado en accidentes", en el que se explota la localización de los accidentes registrados en el período considerado. Debe utilizarse un procedimiento de segmentación dinámica si se utilizan varios criterios de segmentación.

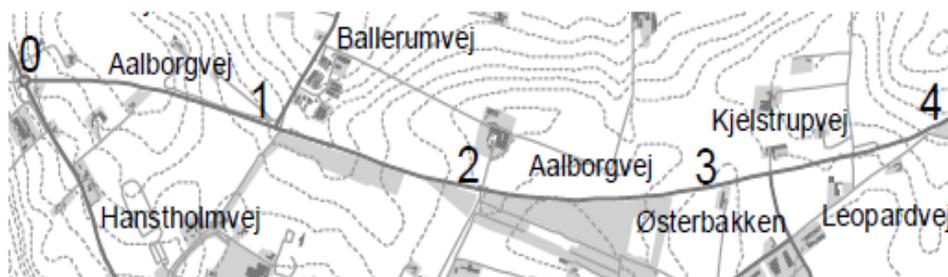


Figura 4.6-1: Ejemplo de segmentación de un tramo de carretera - los números en el mapa indican los kilómetros [9]

6.3. IDENTIFICACIÓN DE SECCIONES DE ALTA CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES

Los tramos de alta concentración de accidentes (HACS) se identifican generalmente en términos de número de accidentes observado/previsto/esperado³ como tramos de carretera con un número de accidentes superior al número normal en tramos de carretera similares, debido a las características específicas de las carreteras locales.

El procedimiento más apropiado para la identificación de HACS se basa en el número total de accidentes, no sólo en los accidentes graves; de hecho, un proceso de identificación basado en accidentes graves sólo puede dar resultados engañosos porque el número de usuarios heridos puede ser el resultado de parámetros que no tienen nada que ver con los factores de riesgo derivados de deficiencias o fallos en el diseño de la carretera y en su entorno (como el número de pasajeros, el uso deficiente de los cinturones de seguridad o de los cascos, las características de las personas implicadas, como la edad y las deficiencias mecánicas de los vehículos implicados).

La gravedad de los accidentes debe incluirse en el proceso utilizando un principio de ponderación, ya que ofrece la oportunidad de incluir todos los accidentes en la identificación. Las ponderaciones para las diferentes categorías de gravedad se pueden basar en:

- coste de las lesiones: las ponderaciones se calculan teniendo en cuenta el coste socioeconómico de las lesiones, que es el coste medio de los accidentes o de los usuarios de la carretera heridos de diferente gravedad;
- arbitrarias: las ponderaciones se deciden arbitrariamente teniendo en cuenta, por ejemplo, los objetivos políticos para centrarse en determinadas categorías de gravedad en el trabajo de seguridad.

La identificación de HACS puede realizarse con referencia a metodologías más o menos complejas. Los diferentes tipos de enfoques requieren diferentes niveles de recursos y de calidad y cantidad de datos (véase el capítulo 5). Por lo tanto, el método que puede considerarse relevante para cada país o administración de carreteras depende de los recursos y datos disponibles y de la etapa actual de desarrollo del Sistema de Gestión de la Seguridad Vial. La preferencia por un enfoque políticamente comprensible y de fácil aplicación también puede ser de interés para facilitar y acelerar la construcción de la capacidad de un Sistema de Gestión de la Seguridad Vial.

Por lo tanto, se puede proponer un procedimiento flexible y jerárquico para identificar HACS, proporcionando tres tipos de métodos de aplicación posibles:

- NIVEL I: métodos basados en la frecuencia de los accidentes;
- NIVEL II: Métodos basados en categorías/modelos;
- NIVEL III: Métodos basados en el modelo de Bayes Empíricos (EB).

La descripción sintética de cada uno de estos posibles métodos de implementación y la discusión sobre las ventajas y desventajas de cada uno de ellos se presenta a continuación.

³ De acuerdo con la terminología adoptada por el Manual Americano de Seguridad en Carreteras (HSM, 2010), el número **observado** de colisiones es el registrado en las bases de datos de colisiones, el número **previsto** de accidentes es el proporcionado por los modelos de predicción de colisiones y el número **previsto** de accidentes es el que puede suponer una carga para el tramo de carretera, calculado mediante la ponderación de las colisiones observadas y las colisiones previstas para hacer frente a la variación aleatoria de las colisiones (Elvik 2007).

Método de identificación "NIVEL I": método basado en la frecuencia de accidentes sin segmentación vial.

Una definición numérica simple de HACS se da como cualquier sección de la carretera en la que ocurren más accidentes que un número umbral absoluto. Los métodos basados en la frecuencia de accidentes son un método muy utilizado para identificar las secciones de accidentes peligrosos principalmente en los procesos de BSM, en lugar de en los procesos de NSM, ya que tienen, entre otras cosas, la ventaja de que mantienen estable el umbral de referencia a lo largo del tiempo y son comprensibles para los responsables de la toma de decisiones estratégicas y para los políticos⁴.

Un método muy sencillo para identificar los puntos negros es el adoptado por la norma VSS Swiss BSM SNR 641 724, 2015, que se basa en la evaluación tanto de la frecuencia como de la gravedad de los accidentes ocurridos en una red de carreteras de una categoría determinada.

El proceso de identificación propiamente dicho se divide en cuatro subprocesos: el tratamiento de datos, la identificación propiamente dicha, la clasificación y el examen, tal como se muestra en la Figura 6-2.

Los accidentes individuales deben ser visualizados por el nivel de gravedad en un mapa de la red de carreteras. Tiene que ser visualmente distinguible si el accidente ocurrió

- en una autopista,
- en la entrada o salida de una autopista,
- en una zona no urbana (excluidas las autopistas) o
- en un área urbana.

Además, al menos los siguientes niveles de gravedad deben ser visualmente distinguibles en la hoja de ruta:

- Acc(F+S) : accidentes que causan lesiones personales (muertos o heridos graves)
- Acc(L) : accidentes con consecuencias leves
- Se debe crear un mapa con todos los accidentes que causen lesiones personales (Acc(F+S) y Acc(L)) en un plazo de 3 años. Sólo se analizan los períodos completos de un año completo. La identificación del punto negro se realiza subdividiendo la red viaria por tipos de vías y zonas (autopistas, intersecciones, vías urbanas y rurales) y considerando para cada una de ellas un perímetro de búsqueda de un diámetro determinado, centrado en cada lugar de accidente registrado. Un valor ponderado calculado con una puntuación para los accidentes, comparado con un umbral absoluto, puede utilizarse con datos de accidentes simples y estructurados y sin datos de infraestructura complejos y, por lo tanto, también es comprensible para los responsables de la toma de decisiones estratégicas y los políticos.
- Para este paso del proceso se recomienda el uso de un sistema GIS (véase Figura 6-3). El procesamiento de datos y la identificación de los puntos negros pueden ser calculados en cualquier sistema SIG (por ejemplo, Open Source).

⁴ Por lo general, se considera que los métodos basados en la frecuencia identifican los puntos de alta concentración de colisiones (como una intersección) en lugar de las secciones de alta concentración de colisiones (una sección de carretera de cierta longitud, incluidas las intersecciones).

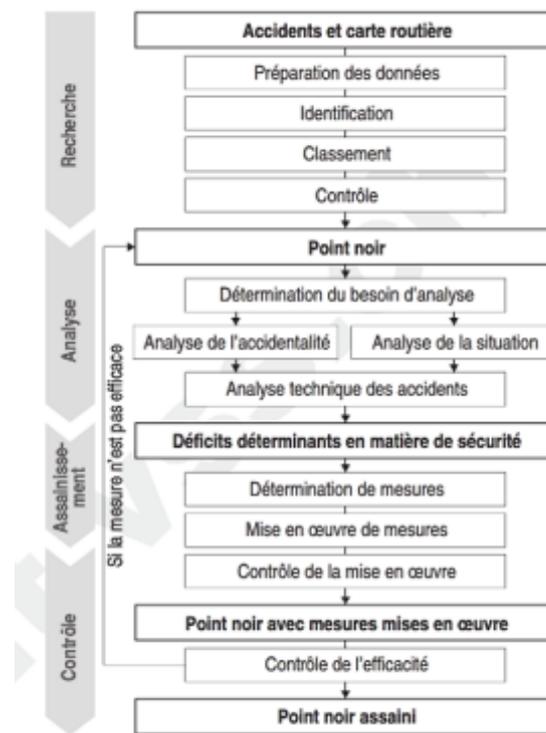


Fig. 1
Etapas de la procédure BSM

Figura 6-2: descripción general del proceso para la gestión del punto negro (fuente: norma suiza VSS SNR 641 724 - 2015)

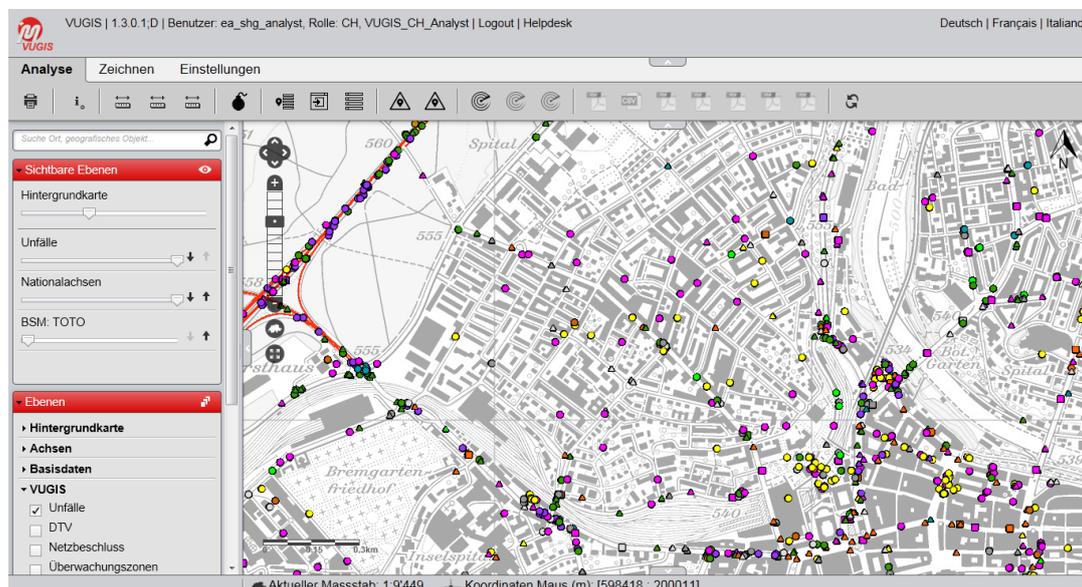


Figura6-3: Accidentes en un mapa (MISTRA VUGIS, 2013)

Los puntos negros se identifican mediante valores umbral predefinidos absolutos. Para ello, se compara una puntuación (valor calculado), que representa el número de accidentes dentro de un perímetro de búsqueda predefinido alrededor de cada accidente, ponderado por sus niveles de gravedad, con el umbral del tipo de carretera en cuestión. Si la puntuación es igual o superior al umbral, el perímetro (zona) con sus accidentes se considera un punto negro.

superficie tipo de carretera	y	perímetro búsqueda predefinido ¹⁾	de	valor (nota)	calculado	umbral (3 años)
Autopista		250 m		2 - Acc _(F+S) + 1 - Acc _(L)		≥ 8
no urbano ²⁾		150 m			≥ 5	
Urbano		50 m			≥ 5	

¹⁾ el perímetro de búsqueda predefinido es el diámetro

²⁾ los accidentes en las entradas o salidas de una autopista se calculan con las carreteras no urbanas y con su umbral

Cuadro 6.1: Ejemplo de esquema de cálculo para puntos negros (VSS Swiss standard, BSM SNR 641 724, 2013)

El peso de Acc_(F+S) y Acc_(L) debe determinarse de acuerdo con la estrategia nacional de seguridad. También el umbral y el valor del perímetro deben determinarse en función del nivel de seguridad vial.

Las zonas solapadas se fusionan y se consideran como un único candidato a punto negro (véase Figura6-4).

Además, se compila una lista con los candidatos del punto negro. Esta lista contiene la puntuación y el número de accidentes (desglosados por nivel de gravedad) para el período considerado (véase, por ejemplo, el cuadro 5).

En comparación con otros enfoques posibles, el método basado en la frecuencia de los accidentes puede caracterizarse como sigue:

- Naturaleza: pragmática
- Calidad: la mejor desde un punto de vista práctico. No tiene en cuenta ni la variación sistemática del accidente ni las fluctuaciones aleatorias.
- Datos obligatorios: mínimo
- Recursos necesarios: mínimo
- Tiempo necesario para la implementación: mínimo

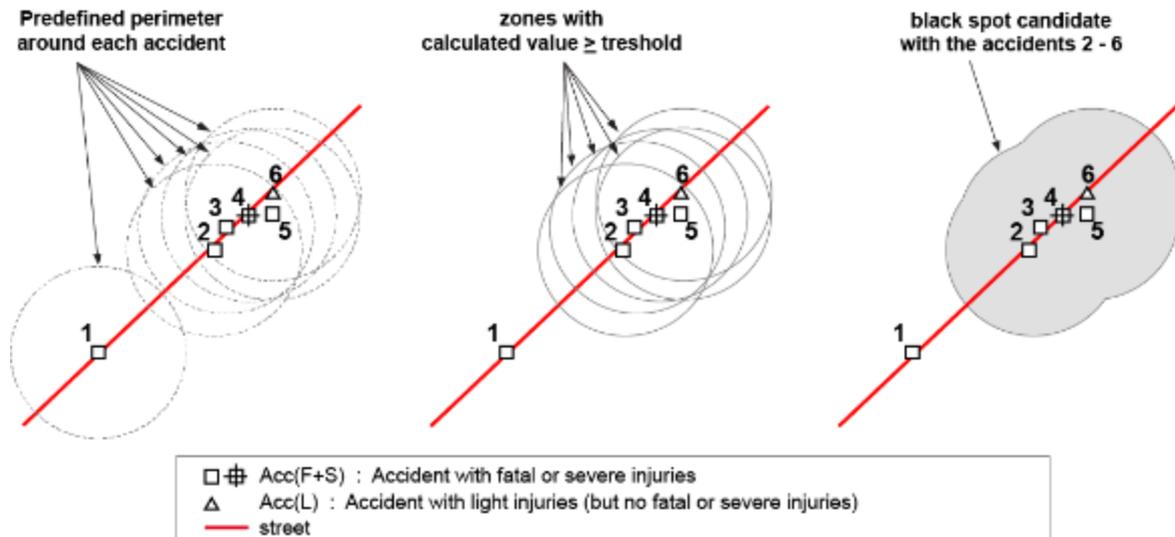


Figura6-4: Delimitación de los accidentes individuales a los puntos negros

Ranking	Responsabilidad		Acc _(F+S)	Acc _(L)	punta je	grupos de tipos de accidentes										
	CH	ASTRA				Filiale	Bund, Kantone, Gemeinden	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	Winterthur	ASTRA	14	41	69	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
20	7	Zofingen	ASTRA; BL	1	17	19	1	0	6	0	0	0	0	0	0	0
49	13	Zofingen	ASTRA; ZH	3	8	14	0	0	0	3	8	0	0	0	0	0
173	32	Estaxayer-le-Lac	ASTRA; VD	0	9	9	2	0	1	2	3	0	0	0	1	0
178	33	Zofingen	ASTRA	0	9	9	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
179	34	Winterthur	ASTRA	0	9	9	2	0	7	0	0	0	0	0	0	0
754	96	Thun	ASTRA; VS	2	1	5	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0
781*		Bellinzona	ASTRA	2	1	5	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0

** El candidato con puntos negros 781 no pasó el proceso de examen.

Tabla 6.2: Ejemplo de identificación y clasificación de los puntos negros (FEDRO/Suiza, autopistas, 2013)

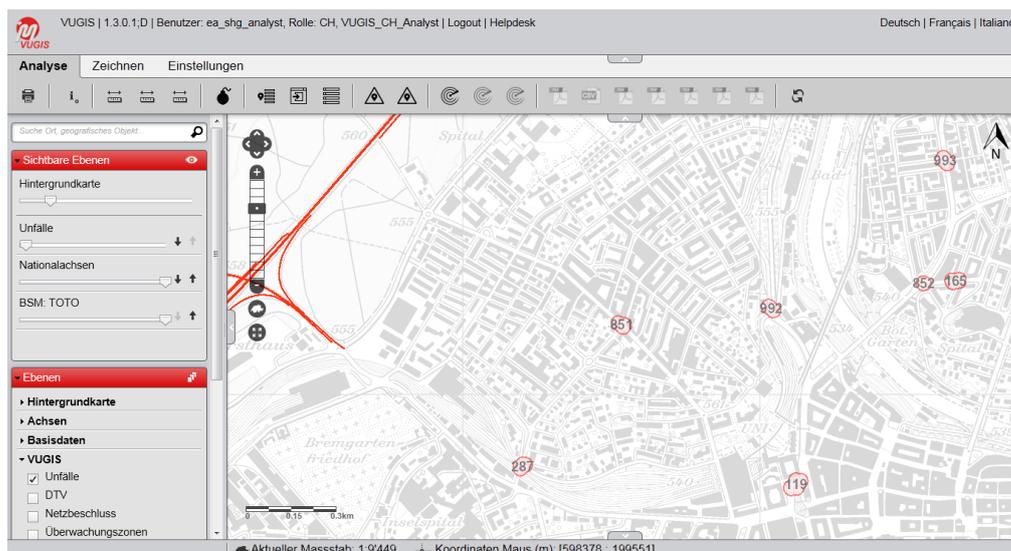


Figura 6-5: Puntos negros urbanos con los accidentes de la figura 3 en el mapa (MISTRA VUGIS, 2013)

Método de identificación "LEVEL II": método basado en categorías o modelos

El método de identificación de NIVEL II representa un compromiso entre un enfoque pragmático (método de NIVEL I) y uno teóricamente sólido (método de NIVEL III); puede considerarse cuando los recursos y la calidad y cantidad de los datos son limitados, pero las capacidades de los mecanismos nacionales de apoyo ya están desarrolladas al menos parcialmente.

Incluye dos alternativas posibles:

- un enfoque basado en categorías, en el que se identifican las HACS comparando el número de accidentes observados con el número medio de accidentes en categorías de carreteras similares y con volúmenes de tráfico medios similares;
- un enfoque basado en modelos, en el que se identifican las HACS comparando el número de accidentes observados con el número previsto en situaciones similares de tráfico y de carretera derivadas de un modelo de predicción de accidentes multivariado.

En ambos enfoques, las HACS se identifican como la sección con el mayor potencial de seguridad. El potencial de seguridad se calcula como la diferencia absoluta entre los accidentes observados y los accidentes medios o previstos y representa la reducción de accidentes que puede obtenerse si el tramo de carretera en cuestión, después del tratamiento, alcanza los resultados de seguridad de la situación de referencia.

Con estos métodos, pero en particular con el basado en modelos, se tienen en cuenta las variaciones sistemáticas de los accidentes inducidos por el diseño general de las carreteras y las condiciones del tráfico;⁵ de esta manera, se identifican los emplazamientos con factores de riesgo locales relacionados con el diseño de las carreteras y las situaciones del tráfico. Sin embargo, la

⁵ Variaciones sistemáticas del recuento de accidentes: se refieren a la influencia conocida en la seguridad vial de los factores relacionados con el volumen de tráfico, el control del tráfico y el diseño de las carreteras; esta influencia se tiene en cuenta en los modelos de predicción de accidentes o, en menor medida, en el análisis de categorías (estadísticas locales, regionales o nacionales relativas al nivel medio de seguridad de las categorías de carreteras predeterminadas, definidas en términos de tipo de carretera y condiciones de tráfico).

naturaleza estocástica de los accidentes⁶ no se tiene en cuenta de manera correcta. En consecuencia, existe un mayor riesgo de cometer errores en la identificación de HACS, incluyendo en la lista secciones con falsos positivos o falsos negativos⁷.

En comparación con otros enfoques posibles, los métodos basados en categorías o modelos pueden caracterizarse como sigue:

- Naturaleza: pragmática
- Calidad: la mejor desde un punto de vista práctico. No tiene en cuenta las fluctuaciones aleatorias de los accidentes
- Datos obligatorios: limitado
- Recursos necesarios: limitados
- Tiempo necesario para la implementación: limitado (2-3 años de tráfico y recuento de accidentes)

Es necesario reducir la precisión de los datos de tráfico, ya que no es necesario conocer el volumen exacto de tráfico, ya que el volumen se divide en diferentes intervalos. Sin embargo, la información sobre el diseño de la carretera sigue siendo necesaria, ya que se utiliza para dividir la red de carreteras en diferentes categorías.

El método basado en categorías requiere menos recursos, especialmente para desarrollar el método, ya que no es necesario realizar un análisis de regresión. Esto también significa que más personas pueden hacer el análisis y entender los resultados.

El enfoque por categorías ha sido adoptado por las directrices italianas para la gestión de la seguridad vial [10] que prevé un análisis preliminar de la red y un procedimiento de clasificación de la seguridad basado en la evaluación del índice de potencial de seguridad (véase Figura 6-6). En la norma italiana, la clasificación de la seguridad de la red tiene por objeto programar las actividades de la RSI que deben llevarse a cabo antes de identificar la lista prioritaria de emplazamientos que deben tratarse (lo que introduce en el procedimiento un enfoque no basado en accidentes, véase el punto 3.3.2).

⁶ Variaciones aleatorias en el recuento de accidentes: se refiere a la naturaleza estocástica del fenómeno de los accidentes, mostrada por las variaciones del número observado de accidentes en torno al valor real desconocido de los accidentes de un tramo de carretera. Es la causa del fenómeno llamado "regresión a la media".

⁷ Un tramo "falso positivo" es un tramo de carretera cuyo nivel de seguridad previsto lo incluye erróneamente en la lista de HACS; en el caso de los tramos "falsos negativos" ocurre lo contrario.

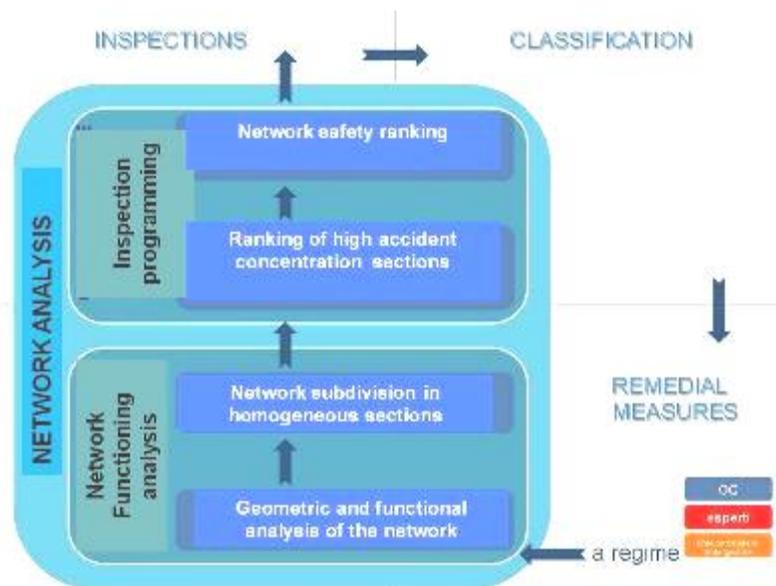


Figura 6-6: El proceso de análisis de la red destinado a programar las actividades de inspección (fuente: Italia DM 182 de 2 de mayo de 2012)

Método de identificación "LEVEL III": Método EB basado en modelos

El método de identificación de NIVEL III puede definirse como el mejor enfoque actualmente conocido desde un punto de vista teórico. Las HACS se identifican por la diferencia absoluta entre el número esperado de accidentes locales y el número esperado general, que se evalúan mediante el método empírico de Bayes (EB).

En el método empírico Bayes, el número esperado de accidentes ($N_{expected}$) en un lugar específico "i" se estima ponderando el número observado de accidentes en el lugar ($N_{observed}$) y el número general esperado de accidentes en lugares similares, estimado mediante modelos de predicción de accidentes ($N_{predicted}$):

$$N_{expected,i} = w_i \times N_{predicted,i} + (1 - w_i) \times N_{observed,i}$$

El peso bayesiano con se evalúa con la siguiente relación:

$$w_i = \frac{1}{1 + k * \sum N_{predicted}}$$

donde k es el parámetro de sobre-dispersión.

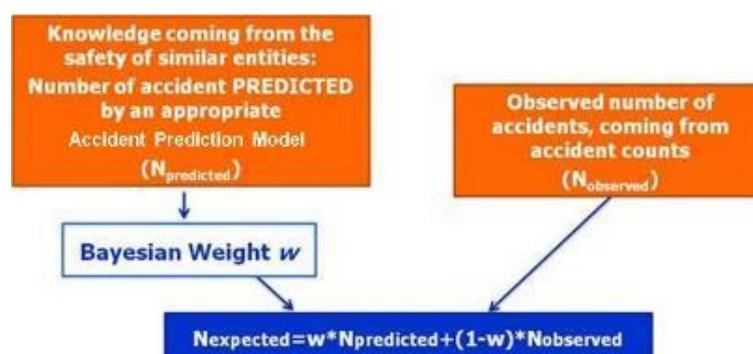


Figura 6-7: Evaluación del número esperado de accidentes según el método empírico de Bayes

El argumento para utilizar los métodos de identificación basados en el modelo EB es que son los mejores para realizar una identificación fiable de los emplazamientos con factores de riesgo locales relacionados con el diseño de las carreteras y el control del tráfico, ya que se tienen en cuenta la variación sistemática y la fluctuación parcialmente aleatoria.

El interés de adoptar la técnica empírica de Bayes para identificar HACS es que se minimiza el problema de los falsos positivos y falsos negativos. Aunque ninguna técnica puede identificar perfectamente las secciones verdaderamente peligrosas, la técnica empírica de Bayes es la que más se aproxima.

En comparación con otros enfoques posibles, el método basado en el modelo EB puede caracterizarse de la siguiente manera:

- Naturaleza: Idealista. Requiere capacidades de NSM plenamente desarrolladas.
- Calidad: Lo mejor desde un punto de vista teórico. Tiene en cuenta tanto las fluctuaciones sistemáticas como las aleatorias de los accidentes.
- Datos obligatorios: Completa e interoperable (lo que significa que, en principio, todos los datos pertinentes sobre accidentes, volumen de tráfico, diseño de la carretera y el entorno circundante están disponibles, tienen una calidad alta o suficiente, están situados de forma inequívoca en la red de carreteras y son inmediatamente interoperables entre sí).
- Recursos necesarios: Completa (en cuanto a tiempo, dinero, personal y experiencia profesional para desarrollar e implementar el método).
- Tiempo necesario para la implementación: 5-10 años de recuento de accidentes de tráfico y accidentes para desarrollar bases de datos interconectadas, incluyendo inventarios de carreteras, y para calibrar modelos de predicción de accidentes.

6.4. IDENTIFICACIÓN DE LA SECCIÓN PELIGROSA

Los métodos basados en los accidentes se basan en datos de las estadísticas oficiales de accidentes. Varios estudios han demostrado que las estadísticas de accidentes tienen una cobertura baja y desequilibrada en comparación con la situación real. Esto significa que existe el riesgo de concentrarse en lugares y problemas equivocados. Para evitar los problemas de baja calidad de los datos sobre accidentes, en los últimos tiempos se han hecho muchos intentos de métodos de identificación no basados en accidentes (Leur y Sayed 2002, Hummer et al. 2003), pero aún no se han desarrollado y aplicado métodos satisfactorios (Hauer 1996, Sørensen 2006).

La integración del análisis basado en los accidentes registrados con actividades más generales de examen e inspección en carretera se considera el enfoque más prometedor para aumentar la fiabilidad del proceso.

La introducción de la Evaluación de la Seguridad Vial basada en el procedimiento HF (RSE_HF) dentro del proceso de Análisis de Seguridad de la Red descrito en §44.3 representa un "enfoque no basado en accidentes" que puede mejorar la fiabilidad del proceso. Permite la identificación de las secciones peligrosas definidas en §44.1.

Fuentes de datos adicionales, distintas de las inspecciones in situ, pueden utilizarse para identificar los tramos sin accidentes, pero con un potencial en materia de seguridad vial. Lo son:

- Sucesos Cercanos a los Accidentes, detectados, durante la implementación de la RSI, por la identificación de pistas de frenado o colisiones con sistemas de contención vial;
- Aplicaciones de medios sociales (por ejemplo, <http://www.sicherestrassen.ch/>);

- Cajas negras de vehículos, con información sobre las acciones irregulares del conductor (incluyendo la ubicación geográfica y los datos de las maniobras realizadas).

Estos datos pueden ser utilizados en un proceso de cualquier tipo del proceso de identificación como datos primarios o adicionales.

6.5. ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN

Dependiendo del método de identificación adoptado, la lista de puntos negros o secciones peligrosas podría incluir, en mayor o menor medida, tramos falsos-positivos y falsos-negativos. El tratamiento de HACS falsos da lugar a un uso ineficaz de los recursos, ya que el accidente ocurrido en el tramo no es consecuencia de factores de riesgo presentes en el entorno vial y, por tanto, debe evitarse.

Antes de aceptar la lista de HACS, debe comprobarse si los lugares considerados son verdaderas secciones de riesgo o no. La importancia de esto es mayor si se utilizan metodologías simples basadas en accidentes (NIVEL I o II) en la etapa de identificación.

El análisis de los puntos negros o de las secciones peligrosas se puede realizar de diferentes maneras.

El enfoque más sencillo, aplicable en los métodos de identificación de "NIVEL I", prevé la verificación de los candidatos a puntos negros o a secciones peligrosas de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- examen visual en un mapa de la red de carreteras de si el punto negro se encuentra en una zona con carreteras superpuestas (por ejemplo, túneles, puentes) o en calles adyacentes;
- comprobando si hay medidas en el pasado en el área del punto negro;
- verificar si hay medidas reales o planificadas en el área del punto negro.

En el Proyecto Ripcord-Iserest se propone otro enfoque [11] y consiste en un procedimiento de dos fases:

- La primera etapa consiste en sugerir, mediante un examen detallado de los accidentes, hipótesis sobre los factores de riesgo que pueden haber contribuido a los accidentes.
- La segunda etapa es probar las hipótesis. Esto se puede hacer mediante una comparación doble ciego de cada punto negro o ubicación peligrosa y una ubicación segura.

De acuerdo con las directrices de mejores prácticas, la fase de análisis debe consistir, como mínimo, en un análisis general de los accidentes, un diagrama de colisión, una inspección en carretera y los análisis de tráfico y de carretera pertinentes. En NSM, los resultados del análisis general de accidentes y del diagrama de colisión deben combinarse en un diagrama de colisión ampliado.

El análisis general de accidentes, el diagrama de colisión y el diagrama de colisión ampliado deben compararse con el patrón normal de accidentes de tráfico para el tipo de lugar dado. Por último, debe realizarse una evaluación activa y por escrito de si el presunto punto negro o tramo de carretera peligroso es o no un lugar verdaderamente peligroso.

Los diagramas de colisión pueden construirse y analizarse de acuerdo con el procedimiento descrito en la Guía para la investigación de accidentes de tráfico de la AIPCR [2].

El procedimiento de prueba de las hipótesis realizadas sobre los factores de riesgo presentes en los tramos de carretera realmente peligrosos examinados puede realizarse de acuerdo con el trabajo de Elvik (Elvik 2006, 2007).

El resultado del análisis es la lista de las secciones peligrosas candidatas que han pasado el proceso de examen y que ahora son consideradas como HACS verdaderas. En el ejemplo dado en la Tabla 5, el punto negro candidato 781 no pasó el proceso de examen.

La evaluación de la seguridad vial basada en la metodología de Factores Humanos (RSE_HF) introducida en la sección 6.4 y descrita en detalle en el siguiente Capítulo 5 también puede ayudar a identificar a los falsos candidatos de HACS, además de su principal objetivo de identificar las Secciones Peligrosas (HS) a incluir en la lista de las secciones de la carretera que requieren intervenciones de seguridad.

7. EL MÉTODO DE LOS FACTORES HUMANOS

7.1. FACTORES HUMANOS DE LA INTERACCIÓN HOMBRE-CARRETERA

7.1.1. Enfoque orientado al daño versus enfoque orientado a la prevención

Desde hace casi 80 años, el análisis de accidentes puede distinguirse entre el enfoque orientado a los daños- y el enfoque orientado a la prevención. Los expertos en prevención están enfocados a encontrar el estímulo de un error que inicia la cadena de acción desde el error del conductor hasta el lugar del accidente. Este es el punto de vista en el enfoque previo al accidente (pre-accidente).

La Figura 7.1 ejemplifica la diferencia entre ambos enfoques en respuesta a un coche que se estrelló contra un árbol. Considerando las lesiones como resultado de esta colisión, la investigación que utiliza un enfoque orientado a los daños puede sugerir la remoción del árbol o la protección de los árboles que están demasiado cerca de la carretera con una barrera de seguridad.

La búsqueda de causas de accidentes dentro de un enfoque orientado a la prevención puede sugerir que la línea no paralela de árboles causó una ilusión óptica que provocó un error operacional no corregido, que es el verdadero factor causante del accidente. Cubrir la línea de árboles no paralelos con un marco que atraiga la atención paralelamente puede evitar accidentes similares en el futuro.

Consequences for the method of HF-Accident Evaluation of crash location

→ Consequent on-the-spot investigation of accident triggers 6 sec. before the crash location; based on analysis of accident data.

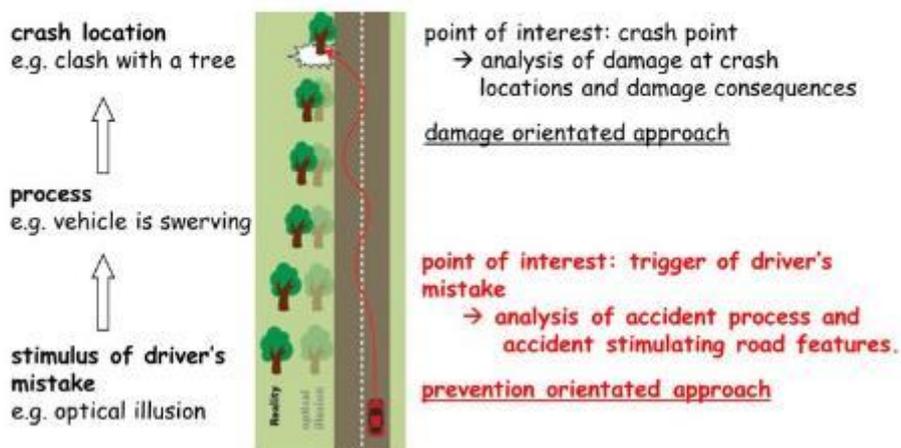


Figura 7-1 - Enfoque orientado al daño y a la prevención

El trabajo de prevención considera el error operativo como el primer paso en una cadena de acciones que puede conducir a un accidente. Muchos errores operativos son reacciones de los conductores a las características engañosas de la carretera que han estado allí durante mucho tiempo ("esperar" para que se produzca un error operativo). Dado que la reacción humana es inmutable (subconsciente y automatizada), la atención debe centrarse en las características ergonómicas de la carretera. Por lo tanto, es obligatorio tener en cuenta las leyes naturales de la

percepción humana, el procesamiento de la información y la regulación de los programas de acción, siempre que se realice una evaluación de la seguridad in situ.

7.1.2. Interacción hombre-carretera

A nivel operativo, el riesgo de accidente es el resultado de la interacción entre tres elementos, a veces denominados "los tres pilares de la seguridad vial": usuario(s) de la carretera, vehículo(s) e infraestructura. Se han realizado muchas investigaciones para explicar hasta qué punto el diseño de las carreteras afecta a la seguridad vial. Esto ha resultado en Modelos de Predicción de Accidentes, por ejemplo descritos en el Manual de Seguridad en Carreteras (HSM) [6] desarrollado en los Estados Unidos. Estos modelos describen la relación funcional entre algunas características de las carreteras y la frecuencia de los accidentes que resulta del análisis estadístico de los datos sobre accidentes en todo el mundo, pero que nunca puede explicar completamente la complejidad del mundo real. El HSM reconoce que la interacción entre las limitaciones de los conductores y las características del diseño de las carreteras todavía no está bien incluida en estos modelos. Por ejemplo, ¿cómo afecta la combinación de la alineación vertical y horizontal y todo a lo largo de la carretera dentro del campo de visión al rendimiento de la conducción? El Método de los Factores Humanos puede contribuir a comprender las causas de los accidentes relacionados con este tipo de interacciones. Aunque los efectos de los factores ergonómicos aún no se han cuantificado en gran medida, tienen una sólida base teórica y se ha demostrado una correlación entre la puntuación media de los factores humanos y la probabilidad de accidentes [12].

7.1.3. Relevancia de los factores humanos en la seguridad vial

Es importante posicionar el término Factores Humanos dentro del campo más amplio de la psicología del tráfico. El término Factores Humanos se convirtió en una palabra paraguas para todo tipo de investigación y conocimiento psicológico relacionado con la seguridad. Sin embargo, quien conoce la terminología de los ingenieros de seguridad sabe que "Factores humanos" es un *término técnico* relacionado con la interacción entre los seres humanos y la técnica y no con el comportamiento humano de forma aislada.

Ergonomía y Factores Humanos se refiere a todos los conocimientos utilizados para adaptar los sistemas técnicos a las necesidades y capacidades humanas. Se centra aquí en la interacción entre la infraestructura vial y los usuarios de la carretera. Los Factores Humanos son estos valores de umbral psicológicos y fisiológicos que son relevantes en las máquinas operadoras, los coches y las instalaciones técnicas. Esto incluye todas las cualidades generales que se encuentran como características de las limitaciones humanas de percepción, toma de decisiones, lenguaje, acto, regulación y memoria, independientemente de la raza, género y edad. De acuerdo con el principio de "diseño para todos", la infraestructura vial y su entorno deben diseñarse de forma que tengan en cuenta las características generales de la gran mayoría de los usuarios de la carretera. Las necesidades especiales de, por ejemplo, las personas daltónicas pueden ser atendidas con colores y contrastes adecuados.

Se ha comprobado que la impresión general de la carretera y su entorno puede guiar o irritar al conductor, estabilizarlo o desestabilizarlo. La causa está en la "Gestalt" de la carretera, que depende de las características del diseño planificado, así como de la interpretación subconsciente de la información por parte del sistema nervioso central.

La "Gestalt" real percibida de la carretera influye en la probabilidad de accidente de un tramo de carretera. La Gestalt se define como la impresión de un cierto contenido de percepción que se distingue claramente de su fondo de paisaje. Los detalles de los cuales están tan integrados que constituyen una unidad funcional con propiedades que no pueden derivarse de la suma de sus partes. El término "Gestalt" califica la nueva comprensión de que la percepción inmediata (visual, háptica, acústica, gustativa, olfativa) no proporciona una imagen directa de "la realidad". En cambio, el perceptor discierne una "imagen" de la realidad sustancialmente rediseñada.

Las causas de este reordenamiento perceptivo se encontraron principalmente en experimentos ópticos. Los psicólogos describieron los principios subyacentes como "heurísticos de la Gestalt" o "principios de la Gestalt". Pronto se convirtió en parte del conocimiento de los profesionales del diseño que la percepción está sesgada debido a alguna reorganización cognitiva de la situación "real". Con el tiempo, el término Gestalt se hizo muy popular, aunque sólo unos pocos tenían la comprensión necesaria de su origen y contexto. En muchos casos, estas son las causas de accidentes graves, ya que dan lugar a errores de juicio en las rutas, curvas o pendientes. Por otro lado, aprovechar el principio de la Gestalt de una manera inteligente puede convertir una pista de carreras en un paseo.

Hay muchos temas en la psicología del tráfico que están relacionados con los usuarios de la carretera pero que no son abordados por el diseño de sistemas técnicos; no son temas de Factores Humanos. Algunos ejemplos son la enfermedad, el abuso del alcohol y las drogas, los medicamentos o las motivaciones especiales, como la ambición excesiva, y los rasgos especiales de la personalidad.

Desafortunadamente, estos temas a veces se cuentan bajo el paraguas de los Factores Humanos, porque están relacionados con los usuarios de la carretera. Utilizamos el término Factores Humanos para centrarnos en la mejora de la infraestructura vial y su entorno. Nos referiremos a todas las demás cuestiones relacionadas con el usuario de la carretera que no entran en el ámbito de los factores humanos como comportamiento humano. Tabla 7.1 contiene ejemplos de ambos.

Tabla 7.1: Factores Humanos y Problemas de Comportamiento Humano

Cuestiones relativas a los factores humanos	Problemas de comportamiento humano
<ul style="list-style-type: none"> • el tiempo de reacción de un usuario de la carretera • orientación direccional incorrecta en curvas sin marco óptico • tiempo de lectura de símbolos / textos • límite superior para la percepción de un número de objetos en una ubicación • ilusiones ópticas que conducen a percepciones erróneas y accidentes • respuestas erróneas a características ópticas erróneas / irritantes en el campo de visión 	<ul style="list-style-type: none"> • aplicación de la ley y educación • licenciamiento • violación intencionada de las normas de tráfico / límites de velocidad • rasgos personales patológicos como la ansiedad • conducir bajo los efectos de las drogas/alcohol • perder el control a causa de una enfermedad • Deterioro del tiempo de reacción/atención debido a la medicación. • comportamiento riesgoso

7.1.4. Las tres clases de errores de HF

1. La carretera debe dar al conductor suficiente tiempo de reacción

Es una suposición singularmente falsa que los conductores, de entre todas las personas, deberían ser capaces y estar dispuestos a llamar cada vez más la atención sobre su tarea de conducir. Tienen capacidades limitadas para actuar y reaccionar. El tiempo que se tarda en adaptarse de una situación de tráfico a otra, o en adaptarse a los nuevos requisitos de conducción, es mucho más largo de lo que uno podría pensar. En lugar de fracciones de segundo ("tiempo simple de estímulo-reacción"), el conductor medio tarda al menos de 4 a 6 segundos en adaptarse a un nuevo requisito de conducción ("tiempo de percepción-decisión").

En una curva o intersección de accidente, el conductor suele darse cuenta demasiado tarde de la evolución de la curva/uniión. Por lo tanto, no tiene tiempo suficiente para una planificación, comprobación y corrección seguras del nuevo programa de conducción para adaptarse a las nuevas circunstancias.

2. La carretera debe ofrecer al conductor un campo de visión seguro.

Un campo de visión de buena calidad evita que los conductores se desvíen hacia el borde del carril o incluso por encima de él. Los objetos engañosos y llamativos en la periferia que no coinciden con el eje de la carretera activan cambios de dirección subconscientes. Estos objetos conducen a graves errores de dirección. Como mínimo, provocan perturbaciones en el mantenimiento de los carriles-, aunque estas pueden ser corregidas en su mayor parte. También se sabe que la línea de seguimiento se desplaza de 15 a 20 cm hacia la curva exterior si una curva tiene un marco óptico cerrado en la curva exterior [13] como la plantación, los equipos de carretera o similares [14].

Está científicamente demostrado que una ampliación de la señalización vial en las curvas exteriores conduce a una disminución de los accidentes en un 35%. Incluso una curva técnicamente bien diseñada puede llegar a ser peligrosa para el conductor debido a ocho características que no se describen en las directrices [12].

3. El camino tiene que seguir la lógica de percepción/expectativas del conductor.

Los conductores siguen el camino con una lógica de expectativa y orientación formada por su experiencia y percepciones recientes de los últimos 5-10 minutos. Éstos afectan su percepción y reacciones reales.

El mismo principio se aplica al subir escaleras: después de unos pocos pasos, el equilibrio de movimiento se ajusta a la secuencia de pasos que se perciben. En la mayoría de los casos, se trata de un proceso subconsciente. Sin embargo, si un paso es de una altura diferente, el equilibrio del movimiento se desordena considerablemente, lo que puede resultar en un tropiezo.

El ajuste del comportamiento de conducción en la carretera es igualmente inconsciente: la percepción del carril, el borde del carril y el programa de la periferia del carril dan una impresión general y holística de cómo conducir. Las desviaciones inesperadas de sus- expectativas preprogramadas- perturban la secuencia automatizada de las operaciones, lo que puede hacer que el conductor "resbale o tropiece".

7.2. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD BASADA EN EL MÉTODO DE LOS FACTORES HUMANOS

7.2.1. Procedimiento

La metodología para realizar una Inspección de Seguridad Vial (RSI) incluyendo el Método de Evaluación de la Seguridad Orientada a los Factores Humanos (RSE_HF) consiste esencialmente en inspecciones especiales in situ realizadas por un equipo interdisciplinario de diseñadores, ingenieros de seguridad y expertos en Factores Humanos que tienen que seguir un protocolo de inspección específico.

Las actividades a realizar son las mismas que las de una RSI e incluyen el análisis preliminar de las características del tramo de carretera, la realización de la inspección propiamente dicha y el brainstorming final para identificar las posibles medidas de seguridad a recomendar.

7.2.2. Comprobación del cumplimiento de las normas viales

Todas las características esenciales de la carretera deben ser inspeccionadas o medidas in situ y comparadas con las características de diseño, si están disponibles.

Las características deben compararse con las normas de diseño. Esta comparación proporcionará alguna información que podría servir a los inspectores para iniciar la evaluación de la seguridad.

La verificación básica de la distancia visual, el radio de la curva, el perfil, la sección transversal, las señales y marcas de la carretera y las medidas de seguridad en carretera debe realizarse.

Pero recuerde siempre: incluso si cada elemento de la carretera cumple con el estándar de diseño, una combinación de ellos puede crear un problema y desencadenar un punto de incidente.

7.2.3. Inspecciones de sitios

Las inspecciones al sitio son una parte esencial del proceso de evaluación de la seguridad. El equipo de inspectores debe visitar el lugar en condiciones climáticas y de iluminación diferentes o en las condiciones en que ocurrió un accidente específico.

La observación in situ del trazado, la señalización, la señalización y los movimientos del tráfico puede revelar a menudo posibles explicaciones de por qué están ocurriendo accidentes que no son evidentes sólo a partir del estudio de los mapas, las imágenes de la zona y los informes de accidentes. Los diagramas de colisión pueden ser útiles para identificar los tipos de accidentes predominantes, pero no son suficientes para identificar las causas de los accidentes.

Una visita al sitio no está relacionada con el mantenimiento de rutina, que es un proceso regular en el que se revisan y solucionan problemas clave de infraestructura como ramas de árbol sobresalientes, la superficie de la carretera, baches, sistemas de contención de carreteras dañados y señalización y marcado de carreteras de mala calidad. Esto puede ser llevado a cabo por personas que no tienen necesariamente experiencia en ingeniería vial o seguridad vial, sino que simplemente siguen un proceso planificado.

Una RSI es una actividad más compleja. La identificación de deficiencias de seguridad que son resultado de un mantenimiento deficiente, por ejemplo, señalización y señalización deficientes o problemas de visibilidad causados por la vegetación, es uno de los ámbitos de aplicación de una RSI, pero no se limitan a ello, tal como se aclara en [16].

La integración de RSE_HF que ahora se propone enriquece la eficacia esperada de la RSI porque complementa sus hallazgos con la evaluación de las características de la carretera que pueden conducir a interacciones erróneas con el conductor que causan errores de conducción.

Las inspecciones se realizan en un vehículo a baja velocidad o a pie (como es habitual en RSI) y consisten en la realización de vídeos y fotografías a la altura de los ojos del conductor para su posterior análisis. De hecho, la impresión que el conductor tiene del espacio de la carretera es el principal interés de una inspección basada en HF. La posición del usuario de la carretera mientras conduce o camina es importante, así como si está sentado en un coche o en una bicicleta, si está conduciendo en medio del carril o de un lado, si está conduciendo durante las horas oscuras del día o cuando el sol brilla o llueve. Las fotos de ojo de pez o las cámaras son las mejores para las evaluaciones del Factor Humano, con lentes de ángel blanco.

Para realizar una RSE_HF se han desarrollado listas de comprobación especiales para apoyar al experto en HF durante la inspección. Se muestran en el ANEXO.

La inspección se puede realizar con diferentes detalles según el objetivo perseguido (véase Figura 7-2):

- como parte del proceso de NSS a nivel de red;
- como se realiza en un lugar ya conocido por su alta frecuencia de accidentes;
- como parte de un proceso de investigación de accidentes.

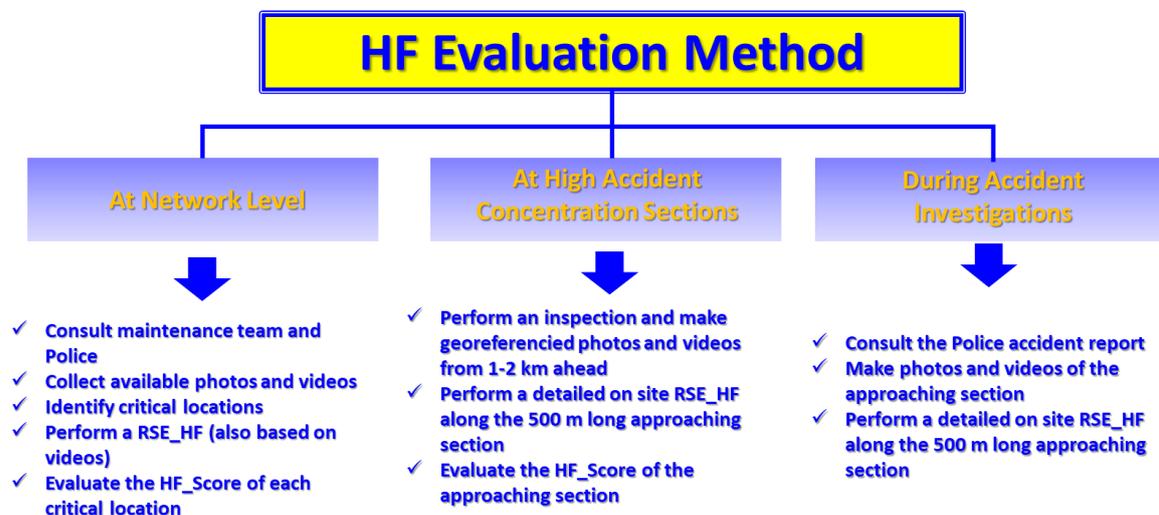


Figura 7-2 - Campos de aplicación del método de evaluación HF

7.2.3.1. Inspección a nivel de red

Esta sección describe cómo deben realizarse las evaluaciones centradas en HF para los tramos de carretera más largos. Aunque no se disponga de datos sobre accidentes, la inspección permite detectar deficiencias de seguridad en la red de carreteras. Para este caso se aconseja el siguiente procedimiento:

- Pregunte a sus profesionales de mantenimiento y a la policía en qué parte del tramo de carretera observaron:

- junto al arcén de la carretera,
- marcas de esmerilado en la superficie de las barreras de seguridad,
- marcas de derrape en la superficie de la carretera
- elementos salidos de los coches como espejos, luces de coche, parachoques, etc.
- maniobras de conducción peligrosas o accidentes cercanos.

También es posible iniciar una campaña en los medios sociales / aplicación / línea directa donde los usuarios de la carretera tienen la posibilidad de informar de situaciones peligrosas en las carreteras o accidentes con las coordenadas GPS.

Pregunte también a sus profesionales de seguridad vial si conocen algún problema de construcción o de seguridad que persista durante mucho tiempo sin tener un índice de accidentes sistemáticamente alto. Puede que también haya planes para la reconstrucción de algunos tramos más amplios y haya que decidir en qué orden deben modernizarse.

Con este sencillo enfoque se pueden recopilar muchas observaciones e información importantes. Priorice los datos y decida en qué orden.

- b) Asegurar la disponibilidad de vídeos utilizables para los tramos de carretera que deben ser comprobados. Deberían haber sido realizados con una cámara de ojo de pez. Si tal calidad no está disponible, utilice vídeos de Globspotter o Street View de Google Maps para tener tanto material como sea posible con fotos/vídeos suficientemente reales. Si no se dispone de material actualizado, conduzca a lo largo del tramo de carretera considerado y haga fotos y vídeos. Los vídeos deben permitir al experto en HF, conducir lentamente a lo largo de la carretera y sacar los marcos de todos los lugares disponibles del curso.
- c) Definir subsecciones. La definición de las subsecciones sigue una perspectiva completamente distinta a la del punto de vista técnico.

Las subsecciones deben estar orientadas a las cambiantes demandas de conducción. El Método de los Factores Humanos llama a estos cambios "lugares críticos". Se trata de secciones de aproximación y tránsito de todos los emplazamientos que requieren la adaptación y/o planificación y realización de un nuevo programa de conducción. Esto podría ser, por ejemplo:

- intersecciones;
- salidas, entradas;
- curvas;
- paradas de autobús, u otras paradas de transporte público a lo largo de la carretera;
- las travesías de cualquier usuario de la carretera o de cualquier medio de transporte;
- cambios en el ancho de la carretera.

Las secciones rectas o curvilíneas entre estos puntos críticos para los conductores deben definirse de manera similar. También es muy útil para comprobar si las estructuras geográficas, las plantaciones o cualquier otro equipamiento vial como las barreras de seguridad o acústicas son paralelas y simétricas al borde de la carretera. En esta etapa ya es posible detectar problemas de seguridad como:

- intersecciones / cruces / paradas / curvas que siguen demasiado cerca y no proporcionan suficiente tiempo de reacción;
- la combinación de cruces / paradas / intersecciones en una curva;

- posibles ilusiones de distancia y/o ilusiones de curvas debidas a señales de guiado no paralelas y no simétricas.
- d) Conduzca a lo largo de la carretera en el vídeo y juzgue las características de la carretera de acuerdo con las demandas de los factores humanos. Siga adelante en pasos de 100 m y vaya en detalle, si encuentra algunos indicios de deficiencias en los Factores Humanos. Las características se evalúan con la "Herramienta de evaluación de factores humanos 2017" [15] y se presentan en el ANEXO. El resultado será una puntuación de evaluación de factores humanos (Score_HF) para cada subsección. La puntuación representa el porcentaje en el que la subsección cumple con las demandas de los factores humanos. Con estos resultados se obtiene una clasificación de la subsección. Depende de las circunstancias y de los objetivos si se resumen o no los resultados de los subapartados. Esta decisión debe adaptarse a cada situación.

7.2.3.2. Inspección en tramos de alta concentración de accidentes

Esta sección describe cómo deben realizarse las inspecciones in situ centradas en el HF. Por ejemplo, tome fotografías antes de una sección de la carretera que se conoce como ubicación HACS o que un inspector capacitado en HF considere que incluye características engañosas para los conductores (que potencialmente proporcionan estímulos erróneos).

Debido a que a menudo no se dispone de croquis de construcción con la longitud de los tramos rectos (m) o los radios (gon), el número de carriles, las características de conducción como la velocidad y la impresión de la consistencia de los radios se pueden obtener mediante una inspección in situ. Mapas y fotos de Globspotter o Street View de Google Maps, cerca de los datos de accidentes más recientes, también se pueden utilizar como una herramienta adicional para comprobar si se ha producido alguna modificación en el entorno de la carretera y, en cualquier caso, para corregir las impresiones recogidas durante las inspecciones in situ. Los resultados deben integrarse en la evaluación de los factores humanos para tener el conocimiento de las expectativas preprogramadas de los conductores.

- a) Realizar una inspección in situ y asegurar la disponibilidad de fotos utilizables para los lugares del accidente que deben ser comprobados. Si las fotos de ojo de pez no están disponibles, utilice las fotos de Globspotter o Street View de Google Maps para tener la mayor cantidad posible de lugares con suficientes fotos reales cerca de la fecha del accidente. Si no están disponibles, puede utilizar fotos o secuencias de vídeo de su base de datos normal o de fotos recién hechas. Las fotos deben tener las siguientes características:
- si está disponible: 1000 - 2000 m antes del lugar del accidente se necesitan fotos cada 150 - 200 m para comprobar las características generales de la zona de aproximación (características de las curvas/cruces grandes/puertas, longitud de los tramos rectos o posibles discontinuidades en la curvatura).
Si esta posibilidad no es realista, analice mapas/fotos por streetview/Google Maps como se mencionó anteriormente;
 - 500 - 1000 m antes del lugar del accidente se necesitan fotos cada 100 -150 m para tener una impresión más profunda sobre las características de la sección de aproximación, el campo de visión y las expectativas de los conductores;
 - Las fotos deben proporcionar un aspecto muy similar de acuerdo a las circunstancias de luz y clima tanto como sea posible;

- Deben incluir el kilómetro / kilometraje para identificar la posición exacta de la foto a lo largo de la sección de la carretera (en relación con los datos GPS).
- b) La sección de aproximación a partir de 500 m antes de los lugares del choque debe juzgarse de acuerdo con los elementos pertinentes de Factores Humanos en pasos de 50 m. Las características se evalúan con la "Herramienta de evaluación de factores humanos 2017" [15]. El resultado será una puntuación de evaluación de factores humanos (Score_HF) de los últimos 500 m de la sección de aproximación. La puntuación representa el porcentaje en el que los emplazamientos cumplen con las exigencias de los Factores Humanos. Con este resultado, usted puede identificar las deficiencias subyacentes que pueden causar accidentes.

El sitio debe ser analizado por un equipo interdisciplinario de diseñadores, ingenieros de seguridad y especialistas en Factores Humanos.

7.2.3.3. Inspección durante las investigaciones de accidentes

La inspección in situ consta de dos pasos:

- Si el accidente ocurre, la policía tiene que tomar los datos mínimos en el lugar como se describe en el Capítulo 3. La mayoría de las veces la policía es la primera en llegar al lugar y está directamente en la acción del reciente accidente. Incluidos en sus funciones, deberán cumplimentar el informe de accidente siguiendo el documento facilitado por su agencia de carreteras. Hay una parte administrativa y una parte técnica en la que se definen algunos elementos específicos en el cuestionario. El Capítulo 3 presenta tres niveles de información que ayudan a la agencia a localizar y apoyar el accidente. Estos informes redactarán una evaluación general del incidente, pero será complicado determinar realmente lo que ocurrió.
- Posteriormente, si la decisión de realizar una inspección in situ fue tomada por expertos en seguridad, se debe realizar una evaluación más profunda de las características de la infraestructura vial y de las deficiencias relacionadas con los factores humanos.

Si no se dispone de suficientes datos sobre el accidente, tome las fotos cada 10 a 50 m o secuencias de vídeo tan pronto como sea posible después del accidente (Figura 7-3). Esto es suficiente para analizar el lugar por un equipo interdisciplinario de diseñadores, ingenieros de seguridad y especialistas en Factores Humanos si el accidente es tan grave que se deben desarrollar medidas correctivas muy pronto y sin dudar.

Los ingenieros y especialistas en factores humanos siguen el siguiente procedimiento:

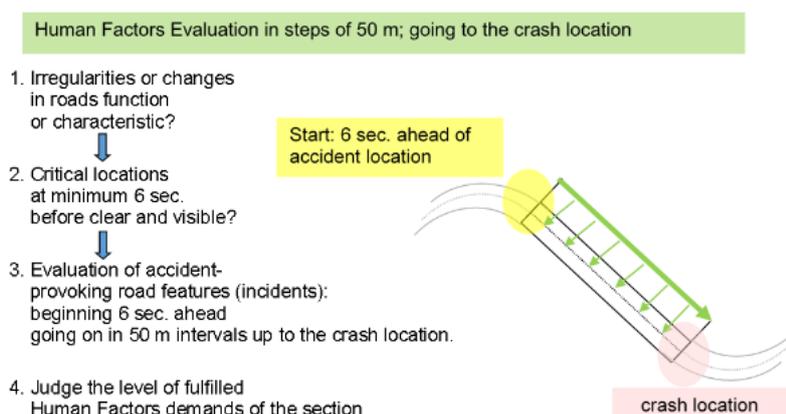


Figura 7-3: Factores humanos - Evaluación en el lugar del accidente

Una investigación de accidentes transparente e independiente requiere procedimientos y protocolos sólidos que respeten cuatro áreas relacionadas del proceso de investigación: (1) institucional, (2) operativo, (3) de gestión de datos, (4) desarrollo de medidas correctivas y difusión/publicación de datos.

- **Ámbito institucional:** El organismo de investigación debe ser independiente en cuanto a su estructura y función; la investigación de accidentes debe ser llevada a cabo por equipos multidisciplinarios especializados con conocimientos especializados en una serie de ámbitos pertinentes.
- **Zona de operaciones:** Los accidentes deben notificarse al organismo de investigación al mismo tiempo que a los servicios de emergencia, a fin de permitir el acceso inmediato al lugar del accidente. Las investigaciones deben estar orientadas a la seguridad y mantenerse separadas de la investigación judicial del mismo accidente. Los datos recogidos de acuerdo con un manual de investigación pública deben proporcionar una imagen completa del accidente. Los investigadores de accidentes de tráfico deben tener acceso legal al lugar del accidente y a todos los vehículos y pruebas.
- **Gestión de datos:** Los datos recogidos no deben utilizarse para demostrar la culpabilidad (incluso ante los tribunales), deben almacenarse de forma segura en una base de datos sobre accidentes que permita su recuperación en el futuro, y no debe entregarse a terceros ningún dato que contenga información que pueda conducir directamente a la identificación de las personas implicadas en el accidente.
- **Desarrollo de medidas correctivas:** Las recomendaciones deben ser desarrolladas independientemente de las partes interesadas, pero deben tener en cuenta el Diseño y los Factores Humanos-Expertos para asegurar el desarrollo de medidas correctivas efectivas.

Las recomendaciones de las investigaciones independientes sobre accidentes de tráfico deben transmitirse a las partes interesadas pertinentes para su aplicación. Las partes interesadas deben tener la obligación legal de responder a las recomendaciones y justificar sus acciones planificadas. El organismo de investigación de accidentes de tráfico debe desempeñar un papel de coordinación manteniendo un registro de las recomendaciones, las respuestas de las organizaciones a las recomendaciones y el estado de avance hacia la aplicación en relación con los plazos establecidos.

7.2.4. Realización de una evaluación de HF

Para realizar una RSE_HF se debe seguir un procedimiento paso a paso:

En un primer paso:

- Las fotos de ojo de pez deben tomarse a las distancias requeridas (ver 7.2.3) en la red de carreteras a evaluar: el guiado óptico/el guiado erróneo, las expectativas equivocadas, el guiado ilógico, las ilusiones ópticas y las eventuales dificultades relacionadas con el mantenimiento del carril y el equilibrio de los conductores durante la conducción. También, un vídeo de la sección de la carretera es útil. Si es posible, relacione las fotos y los vídeos con los datos GPS;
- comprobar las características generales de conducción del tramo de carretera unos 5 minutos antes del lugar del accidente o del control. Compruebe especialmente las inconsistencias en la alineación con las expectativas del conductor;

- comprobar la longitud de los tramos rectos (m) o los radios (m), el número de carriles y la característica de la sección transversal;
- comprobar todas las demás características de la carretera, como el paralelismo, la simetría y la ortogonalidad de los equipos viales.

En un segundo paso:

- Las trayectorias previas a las ubicaciones críticas deben analizarse de acuerdo con las características de los factores humanos pertinentes, tal y como se indica en la Guía de Factores Humanos de la AIPCR para una interfaz hombre-carretera más segura [17].
- Fotos adicionales de "Google Maps Street View" podrían ser usadas donde las fotos de ojo de pez no sean lo suficientemente claras debido a obstáculos (como camiones o autobuses) o a la zona de construcción de carreteras que se encuentra más adelante.

En un tercer paso:

- Determinar la puntuación de evaluación de los factores humanos (Score_HF) de la sección de aproximación y de la propia ubicación. La evaluación debe referirse a cada tema específico de los requisitos de Factores Humanos:
 - La carretera debe dar al conductor suficiente tiempo de reacción
 - El camino debe ofrecer al conductor un campo de visión seguro
 - El camino tiene que seguir la lógica de percepción del conductor

Durante la inspección in situ, el experto en HF debe investigar las siguientes circunstancias, ya que en los lugares donde se producen accidentes muy a menudo se producen los siguientes errores:

a) En cuanto al tiempo de reacción:

- Las áreas de transición incluyen sólo una sección de maniobras y una sección de respuesta, pero no hay una sección de anticipación y/o una sección de aviso previo;
- Los lugares críticos como curvas, intersecciones, paradas de autobús, cruces, que requieren un cambio de programa de conducción, no son lo suficientemente visibles y claramente identificables;
- los triángulos de visibilidad en los cruces de nivel suelen estar obstruidos por plantas, edificios, dispositivos de control u otros muebles de carretera;
- las expectativas equivocadas con respecto al derecho de paso se producen debido a las características erróneas de la carretera.

b) En cuanto al campo de visión

- se produce una densidad óptica del campo de visión demasiado baja y una conducción desatenta o una aceleración inconsciente;
- falta de contrastes de colores brillantes en la periferia del campo de visión y curvatura insuficiente que causan monotonía, fatiga relacionada con la carretera y aceleración subconsciente;
- tramos de aproximación demasiado largos y visibles antes de los emplazamientos que requieren un cambio del programa de conducción (emplazamientos críticos);
- el lado lateral de la carretera o la profundidad del campo de visión causan problemas en el mantenimiento del carril

- los problemas de las ilusiones ópticas y de la carretera provocan percepciones erróneas por parte de objetos llamativos que no se corresponden con el eje de la carretera;
- desestabilización de los conductores debido a impresiones inclinadas, no verticales, no paralelas o asimétricas que perturban el seguimiento del carril por ilusiones ópticas.

Una curva correctamente diseñada desde el punto de vista técnico puede resultar peligrosa para el conductor debido a ocho características [13] [18] [19]:

- Si el conductor no tiene tiempo suficiente para detectar el cambio de dirección y lo aguda que es la curva;
- Si la curva interior está obstruida por edificios, plantas, barreras de seguridad, equipos de carretera o formaciones geológicas;
- Si la curva exterior tiene huecos en su encuadramiento o está completamente libre y no está enmarcada por edificios, plantas, equipos de carretera o formaciones geológicas;
- Si las líneas de orientación no son paralelas al borde de la carretera y por lo tanto causan ilusiones de distancia óptica o ilusiones de perspectiva;
- Si las curvas se encuentran en bajadas o cuando las señales de curva por la noche causan ilusiones de curva de modo que el conductor se engaña con respecto al radio de las curvas y / o dirección;
- Si los objetos que llaman la atención en la periferia difieren del eje de la carretera y activan una oscilación horizontal de todo el campo de visión y por esta razón conducen a graves errores inconscientes en dirigir el rumbo;
- Si hay una acumulación de características críticas de manera que las demandas para detectarlas y decidir la reacción adecuada, son demasiado cortas;
- Si el tiempo máximo para pasar por la curva es superior a 20 segundos y provoca vértigo y náuseas en personas con una alta dependencia del campo.

c) En cuanto a la lógica de percepción/expectativas del conductor

- cambio de la función de la carretera sin que se produzca un cambio suficiente en el diseño óptico de la carretera (por ejemplo, entrada invisible a la ciudad);
- cambio de dirección de la carretera contradictorio con otra impresión concurrente sobre el rumbo de la carretera (por ejemplo, el dilema de la circunvalación de la ciudad);
- ubicaciones que sobrecargan la capacidad de procesamiento de información de los conductores;
- nuevas demandas de conducción mal instruidas contradictorias con los hábitos y rutinas del conductor para que éste caiga en una trampa (por ejemplo, el cambio de la preferencia de paso es sorprendente y no está claramente instruido);
- señalización errónea / engañosa / sobrecargada que sobrecarga la capacidad de procesamiento de información.

7.3. HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE LOS FACTORES HUMANOS

El resultado de las actividades de evaluación de la seguridad vial basadas en el método de los factores humanos descrito en el párrafo anterior se refiere siempre a la determinación de una puntuación de evaluación de los factores humanos (Score_HF), que representa la tasa porcentual en la que las ubicaciones cumplen las demandas de los factores humanos.

Este valor puede determinarse utilizando una herramienta (Human Factors - Evaluation Tool for the Man-Road-Interface 2017) que ha sido desarrollada en varios comités técnicos de la AIPCR "Safer Road Infrastructure" (2004-2014) [15] y validada en varios proyectos de investigación para identificar las causas y medidas correctivas de accidentes técnicamente inexplicables [20]. Contiene características de carretera validadas y fiables que causan percepciones erróneas, errores de conducción y pueden dar lugar a accidentes.

Los elementos de la "Herramienta de evaluación de factores humanos para la interfaz hombre-carretera 2017" [15] cubren una amplia gama de aplicaciones para muchos tipos diferentes de situaciones de carretera. Hay partes que son relevantes sólo para los cruces; otras son relevantes sólo para las curvas y así sucesivamente. Por eso, la aplicación debe adaptarse a cada lugar. Para una explicación detallada del Método de los Factores Humanos y de los puntos que deben comprobarse, véase la AIPCR 2016 [17] AIPCR 2012 [2] AIPCR 2009 [21]. En el ANEXO 4 se presenta la descripción de la Herramienta de evaluación de factores humanos y de las características de las carreteras que deben analizarse.

Con esta herramienta, expertos en Factores Humanos experimentados pueden comprobar si las características de la carretera cumplen con los requisitos de los usuarios de la misma:

- déficit en la perceptibilidad y en el tiempo de reacción;
- déficits en el campo de visión que causan desestabilización, desorientación o que enfrentan a los conductores con ilusiones ópticas;
- déficit en la preprogramación de las expectativas de los conductores para que se enfrenten a situaciones inesperadas e irritantes que sobrecargan su capacidad de procesamiento de información.

Para utilizar la herramienta se aplica el siguiente procedimiento:

- Adaptar la herramienta a los elementos relevantes de una ubicación;
- Juzgue en base a las fotos y otros datos el porcentaje de las demandas de Factores Humanos cumplidas para cada lugar de la columna;
- Sumar las demandas de Factores Humanos cumplidas y compararlas con la máxima suma de resultados posibles;
- Transfiera el resultado a un porcentaje.

Se pueden calcular y añadir tres subpuntuaciones para evaluar un Factor Humano - Puntuación de Evaluación (Score_HF). La puntuación es un predictor fiable de la probabilidad de accidente del tramo de carretera evaluado. Para el cálculo de la puntuación de la evaluación de los factores humanos, véase el ANEXO 5.

Si el porcentaje es bajo (<40%), la probabilidad de accidente es alta y es obligatorio tomar medidas correctivas eficientes.

Se encontró una correlación de 0,63 - 0,69 entre el número de accidentes y la puntuación de evaluación de los factores humanos en varios tramos de carretera con la localización de los accidentes en Alemania. Para los Países Bajos, un estudio de validación mostró en 2015 una tasa de aciertos de más del 75% entre los lugares previstos y los reales de accidentes en las autopistas holandesas [12]. En este último estudio sobre las autopistas holandesas, la mayor contribución provino de los déficits del campo de visión.

Los accidentes ocurren antes, en lugares con una puntuación total baja, o en combinación con una subpuntuación baja de "Campo de visión". Esto indica que existen déficits notables en la estabilización y el guiado de los conductores, así como problemas con las ilusiones ópticas. Este resultado obliga a incluir el Método de los Factores Humanos en la educación y formación profesional de ingenieros de carreteras, diseñadores de carreteras y especialistas en seguridad vial.

La aplicación de la Herramienta de evaluación de factores humanos requiere un conocimiento básico sobre el conocimiento psicológico y fisiológico aplicado que debe ser proporcionado en un entrenamiento especial de Factores Humanos. La lista subyacente de deficiencias de Factores Humanos puede ser explicada y entrenada en un curso básico en un plazo de 2.5 días. Así, un ingeniero puede empezar a trabajar en el análisis de Factores Humanos, de los puntos de accidente. Después de analizar un mínimo de 5 puntos de accidente con retroalimentación guiada, se dispone de una formación avanzada que permite a los ingenieros de seguridad realizar un análisis de Factores Humanos de tramos de carretera más grandes o de tramos de red de carreteras. En caso de interés, póngase en contacto con uno de los autores de este informe.

8. TRATAMIENTOS DE SEGURIDAD IDENTIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Al identificar y eliminar las características que hacen que los sitios sean peligrosos, los ingenieros pueden mejorar la seguridad vial. Esto significa a menudo reducir la complejidad de una intersección o permitir que las maniobras se realicen por etapas. La reducción del número de decisiones que los conductores deben tomar en cualquier momento simplifica la tarea de conducir y ayuda a los conductores a progresar en seguridad y confort con un mínimo de conflictos con otros usuarios de la carretera.

8.1. RECOMENDACIÓN DE TRATAMIENTOS

Después de haber implementado una RSE_HF, el experto en HF debe analizar los datos obtenidos de la inspección realizada y, de acuerdo con los resultados de la Score_HF de la sección completa, puede identificar soluciones que permitan minimizar los incidentes y accidentes en el lugar. El proyecto mejorado debería evaluarse con el mismo instrumento de evaluación de HF utilizado para analizar la situación existente. Las simulaciones visuales en 3D (renderings) de la solución propuesta son muy útiles para validar la mejora esperada.

Existen cuatro estrategias básicas para la reducción de accidentes mediante el uso de medidas correctivas. Estos son:

- **Programas de sitio único (punto negro)** - el tratamiento de tipos específicos de accidentes en un solo lugar.
- **Planes de acción en masa** - la aplicación de un remedio conocido a lugares con un problema común de accidentes.
- **Planes de acción de rutas** - aplicación de remedios conocidos a lo largo de una ruta con un alto índice de accidentes.
- **Área con esquemas** - las aplicaciones de varios tratamientos en una amplia área de la ciudad/ciudad/región, por ejemplo, incluyendo la gestión del tráfico, la reducción del tráfico, la gestión y el control de la velocidad, etc.

Debido a la falta de fondos y a la escasa capacidad de mantenimiento, los lugares peligrosos conocidos a menudo se dejan sin tratar y siguen siendo la causa de los accidentes.

Las Autoridades viales responsables deben ser conscientes de que la RSE_HF permite identificar medidas de ingeniería de bajo coste en emplazamientos peligrosos cuyo potencial de reducción de accidentes es particularmente elevado. Medidas simples pueden reducir significativamente los problemas en tales sitios. Por ejemplo, enmarcar el margen exterior de una curva, utilizar señales de tráfico con mayor visibilidad (marco amarillo), aumentar la densidad óptica del entorno de la carretera mediante plantaciones o contrastes de colores brillantes, utilizar elementos llamativos para mantener la atención del conductor en la dirección deseada, son tratamientos sencillos que pueden dar lugar a una reducción sustancial de los accidentes.

La naturaleza de los problemas de seguridad vial suele variar según la ubicación. Debido a las diferencias en el entorno vial y en la combinación de tráfico, las soluciones adecuadas también variarán.

A menudo se presenta a los conductores con información engañosa o sin advertencias previas; la distancia de visibilidad puede ser inadecuada, los peatones pueden no ser atendidos y pueden

ocurrir accidentes debido a la incapacidad del conductor para hacer frente a la combinación particular de circunstancias y entorno.

Las medidas de ingeniería y factores humanos deben seleccionarse específicamente según el tipo y la ubicación del problema de seguridad.

Algunas recomendaciones relacionadas con las mejores prácticas deben ser tenidas en cuenta:

- No repita los buenos esquemas si hay otros mejores disponibles y apropiados.
- Algunos esquemas funcionan bien en algunas situaciones, pero serán inapropiados en otras.
- Algunas medidas pueden funcionar mejor por sí solas o sólo pueden ser efectivas cuando se usan en combinación con otras medidas.
- A veces, no es necesario rechazar rotundamente un sistema que no ha tenido éxito. Las evaluaciones pueden demostrar que sólo necesita modificaciones menores para convertirse en un éxito.
- A veces, las medidas diseñadas para reducir la velocidad pueden no hacerlo, pero aún así pueden reducir los accidentes al aumentar la concienciación de los conductores.
- A veces es difícil acceder al fracaso por razones financieras o políticas. Sin embargo, es importante ser valiente y reconocer que las cosas no salieron según lo planeado.
- A veces es difícil evaluar los efectos de un plan, quizás porque el número de accidentes es bajo u otros factores influyen en el resultado.

La jerarquía de las carreteras debe respetarse mediante la selección del tipo de tratamiento. Las normas de diseño suelen definir la jerarquía típica de las carreteras.

La Gestión de la Seguridad Específica tiene los siguientes elementos clave:

- la definición de una jerarquía vial adecuada;
- garantizar que el tráfico circule por las carreteras adecuadas;
- la gestión de la velocidad del tráfico;
- coordinar las actividades que afectan a la seguridad vial.

También el proceso de Gestión de la Seguridad involucra una amplia gama de disciplinas:

- gestión del tráfico;
- la aplicación de la ley;
- educación, incluidas la formación y las campañas de seguridad vial;
- salud y educación;
- transporte público;
- el uso del suelo y el urbanismo.

Para cada uno de los ítems jerárquicos mencionados anteriormente, existe todo el conjunto de tratamientos remediales. Los detalles del tratamiento, su coste, mantenimiento, durabilidad y efecto sobre la seguridad son objeto de kits de herramientas, como el "Catálogo de la AIPCR de Problemas de Seguridad de Diseño y Medidas Correctivas Potenciales" [21] o el "Manual de seguridad vial 2003 y 2015 [22] [1] (en línea en el sitio web de la AIPCR).

También el nuevo informe "CATÁLOGO DE ESTUDIOS DE CASO - Mejoras en la seguridad vial relevantes para los usuarios vulnerables de la carretera, los factores humanos y los países de ingresos bajos y medios" (TC C2.-23) ofrece buenos ejemplos de medidas correctivas innovadoras de factores humanos [23].

8.2. MONITOREO

Es necesario aprender del éxito y del fracaso. La importancia de contar con evidencia de buena calidad sobre el desempeño de un esquema de seguridad no puede ser enfatizada lo suficiente. Por eso es tan importante el control.

Por lo tanto, después de haber implementado el tratamiento de seguridad seleccionado en el sitio, es muy importante controlar su eficacia reevaluándolo con el mismo procedimiento adoptado para evaluar la situación existente. Comparar el nuevo resultado con el original y comparar la naturaleza del accidente en caso de que aún ocurra, aumenta la conciencia de ser capaz de gestionar la seguridad vial.

Si existen algunas medidas de seguridad implementadas en ciertos puntos negros basadas en el análisis de accidentes de tráfico (enfoque reactivo), o basadas en la recomendación RSE_HF (enfoque preventivo), es vital controlar la frecuencia y el tipo de accidentes antes y después de que se implemente la medida. El período recomendado es de -3 + 3 años. Se comparará, como mínimo, la estadística de accidentes que debe compararse y, de manera óptima, la información completa sobre las circunstancias de los accidentes.

Este tipo de control es necesario para:

- Identificación de si el tratamiento fue realizado de manera óptima o si el sitio necesita alguna medida adicional a ser añadida, para compartir la experiencia del tratamiento como historia de éxito.
- Identificación de la eficacia del tratamiento para el cálculo de la relación coste/beneficio típica para la aplicación posterior de tratamientos similares en lugares problemáticos o con puntos negros similares y la elaboración de "planes de inversión en carreteras más seguras" eficaces, tal y como recomienda la Directiva de la UE sobre la gestión de la seguridad vial [4].

9. CASOS PRÁCTICOS DE DIFERENTES PAÍSES

9.1. CASOS PRÁCTICOS DE JAPÓN

por Yoshiyasu Murashige, Japón

9.1.1. Obras de construcción para mejorar el trazado geométrico de la autopista

Debido a que el archipiélago japonés es un área montañosa y tiene una porción muy pequeña de tierra para residencia e industrias, el diseño geométrico de las carreteras está tan limitado por características geográficas que resulta en muchas curvas. El criterio de seguridad para obtener una variación de la curvatura continua, de las curvas horizontales, evitando reducciones repentinas e inesperadas de la curvatura (véase Figura 9-1), a veces no se tuvo en cuenta. En la red de carreteras hay tramos de alta concentración de accidentes, lo que también puede deberse a este problema. Para evitar demasiadas curvas, hay que construir muchos puentes y túneles, especialmente en las autopistas. El coste de construcción de las autopistas se ha vuelto mucho más caro que en los países continentales, que cuentan con una gran superficie plana y firme.

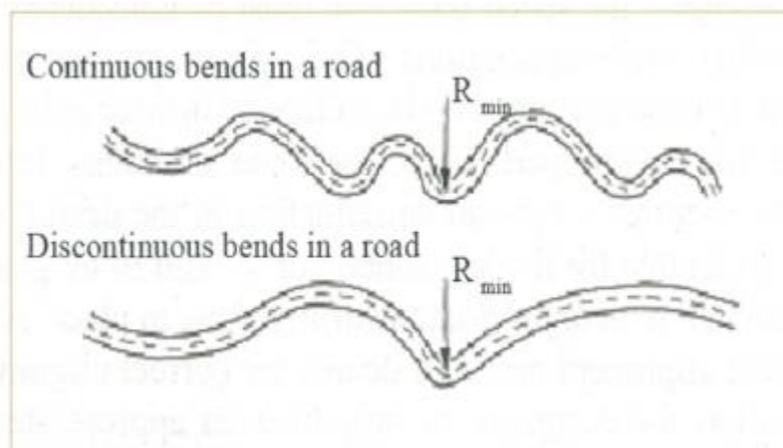


Figura 9-1: Curvatura continua y discontinua en una carretera [24]

Un ejemplo de ello lo encontramos en el primer tramo de la autopista, que conecta Tokio con Osaka, abierto al tráfico en 1963. Corre a través de montañas divisorias y tiene curvas con curvas discontinuas que se convirtieron en secciones de alta concentración de accidentes (HACS) un par de años después de su finalización. El análisis de seguridad de la red de carreteras se realizó con un método de NIVEL I (método basado en la frecuencia de accidentes) de acuerdo con el Capítulo 5⁸.

El tramo de carretera que se muestra en la Figura 9-2, con el trazado geométrico de la Figura 9-3, fue uno de estos HACS en el que la siniestralidad fue cuatro veces superior a la de los tramos ordinarios.

Como medida correctiva para mejorar la seguridad vial, se aplicó la mejora de la disposición geométrica de las HACS. Las obras comenzaron en 1976 y terminaron en 1978. La longitud total se redujo de 2,9 km a 2,5 km. Cuatro curvas cerradas ($R=260$ m, $R=260$ m, $R=300$ m y $R=300$ m)

⁸ La definición de HACS en Japan Highway Public Corporation es la siguiente.

- 1) La siniestralidad del tramo (100 m) es igual o superior a cinco veces la siniestralidad media.
- 2) El promedio móvil de accidentes en una sección de 300 m por año es igual o superior a cinco accidentes por año.

fueron sustituidas por dos curvas suaves ($R=900$ m y $R=500$ m). Después de la finalización de los trabajos de renovación, la tasa de accidentes de tráfico disminuyó drásticamente de 35,0 accidentes por cada mil millones de kilómetros de vehículos a 4,6 accidentes por cada mil millones de kilómetros de vehículos.

El proyecto de renovación geométrica incluía nuevos túneles ($L=709$ m) y el coste total de este proyecto de renovación era de unos 39 millones de dólares (véase Figura 9-3 :). Sin embargo, considerando el aumento del beneficio de tiempo debido a la mejora de las prestaciones de conducción y la reducción de los beneficios perdidos debido a la reducción de los accidentes de tráfico, el proyecto de renovación pagó lo suficiente desde un punto de vista económico.

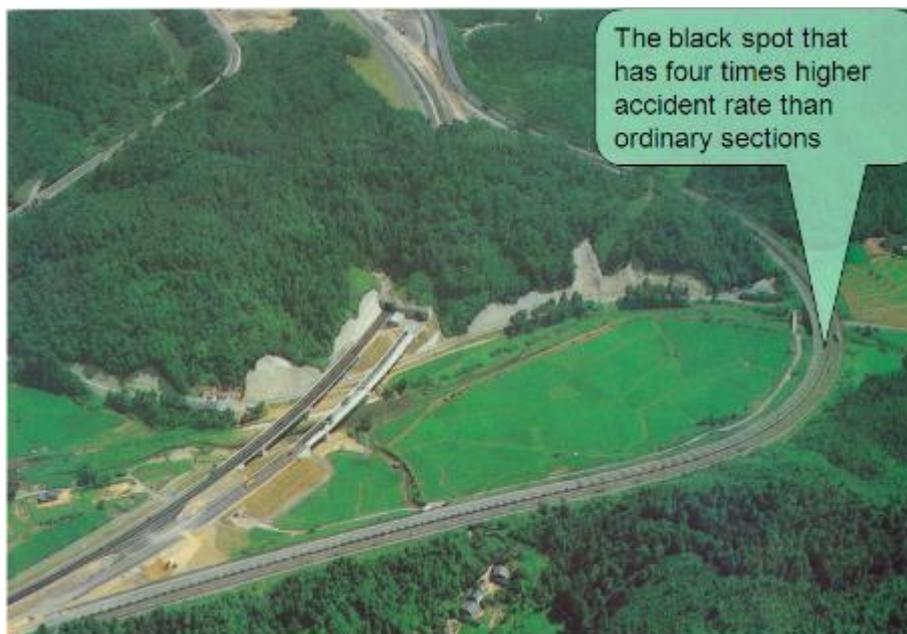


Figura 9-2: Trabajos de construcción para reformar el diseño geométrico de la carretera

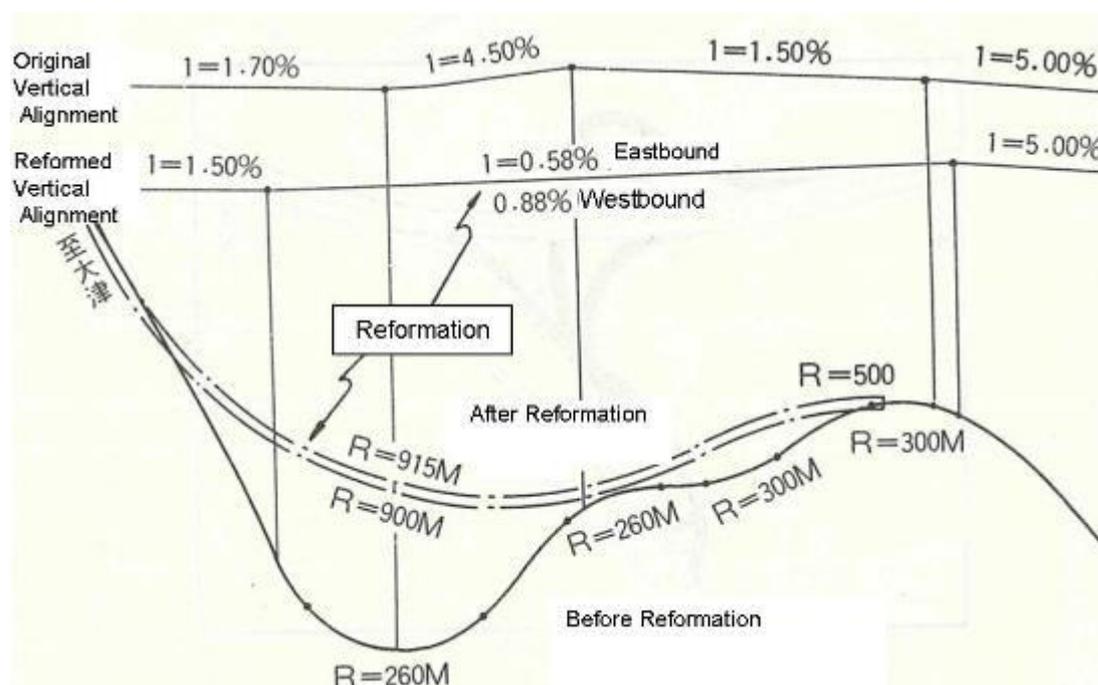


Figura 9-3 : Reforma de la alineación vertical y horizontal

9.1.2. Marcas en el pavimento para reducir la velocidad de conducción mediante un efecto óptico

En las autopistas japonesas, la tasa de accidentes mortales y de lesiones disminuyó de 10,89 (2002) a 7,84 (2011). La mejora del atenuador de impacto de los vehículos en el momento del accidente, el refuerzo de la aplicación de los controles de tráfico y el funcionamiento de los sistemas de recordatorio parecen haber dado buenos resultados.

Las señales de tráfico para reducir la velocidad se introdujeron en noviembre de 2012, en un tramo de autopista montañoso con curvas pronunciadas ($R=250$ m) y una larga ($L=2$ km) pendiente pronunciada (-3%). En esta sección de marcación de chevron (en forma de flecha) ($L=400$ m), más del 80% de los accidentes ocurrieron en pavimento mojado y más del 50% de los vehículos causantes iban con exceso de velocidad de 20 km/h, a pesar de correr en pavimento mojado.

El material de señalización vial tiene un alto nivel de visibilidad incluso de noche y con tiempo lluvioso (Figura 9-4).



Figura 9-4: Marcas de Chevron en la noche

Los patrones de señalización vial implementados fueron los siguientes (Figura 9-5 y Figura 9-6):

En la sección inicial, la distancia entre dos chevrones se fijó en 20 m y la distancia se fue cambiando gradualmente a 3 m en la sección final. La sensación de los conductores de que el vehículo iba corriendo cada vez más rápido de la sección de salida a la de llegada era una ilusión óptica.

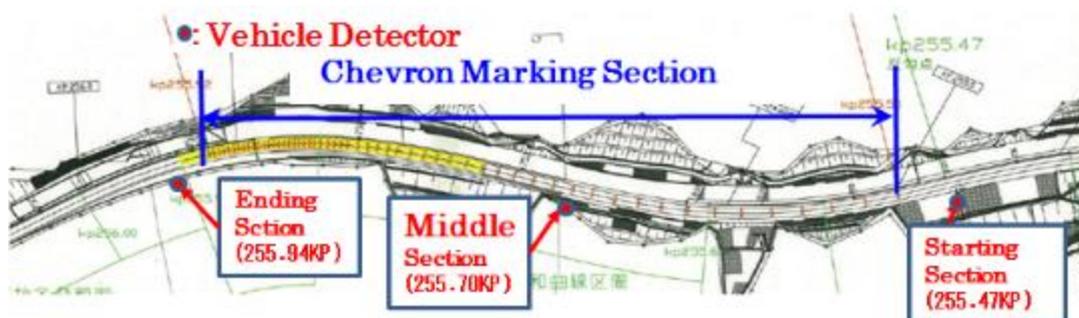


Figura 9-5: Sección de Marcado de Chevron

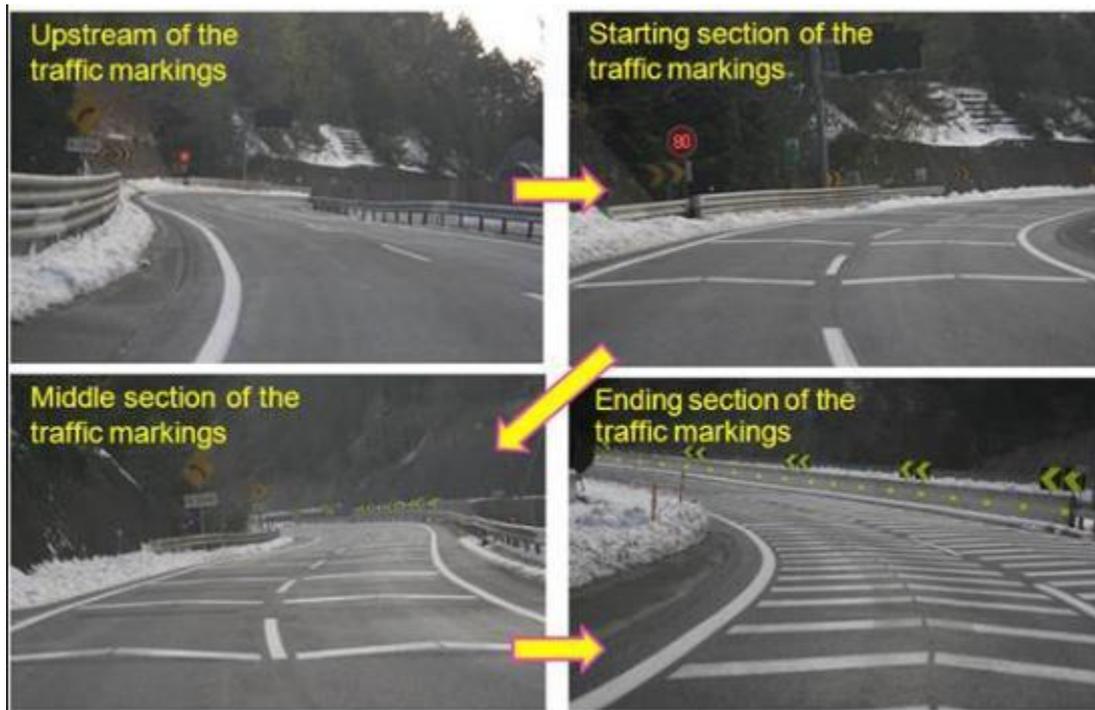


Figura 9-6: patrón de marcado del pavimento

La monitorización de la velocidad se realizó antes y después de la implementación de la señalización vial. Las mediciones se realizaron en tres puntos: al principio de la sección, en la parte central y al final de la sección. Los resultados de las mediciones realizadas durante los períodos nocturno y lluvioso se muestran en la Figura 9-7.

Según la comparación del antes y el después, la velocidad del vehículo del percentil 50 en la sección media disminuyó de 98 km/h a 92 km/h. En la sección media, en la noche, bajo la lluvia, el porcentaje de vehículos a 100 km/h o más disminuyó del 41,8% al 17,7% según la comparación del antes y el después (Figura 9-8).

Se considera que las marcas de chevrón tuvieron un efecto positivo estadísticamente significativo en la reducción de la velocidad vehicular durante la noche bajo la lluvia. Esto tendría un efecto significativo en la reducción de accidentes causados por el exceso de velocidad en la noche bajo la lluvia.

Después de la finalización de la medida correctiva de reducción de velocidad, el número de accidentes disminuyó de 24,2 accidentes al año a 8,0 accidentes al año.

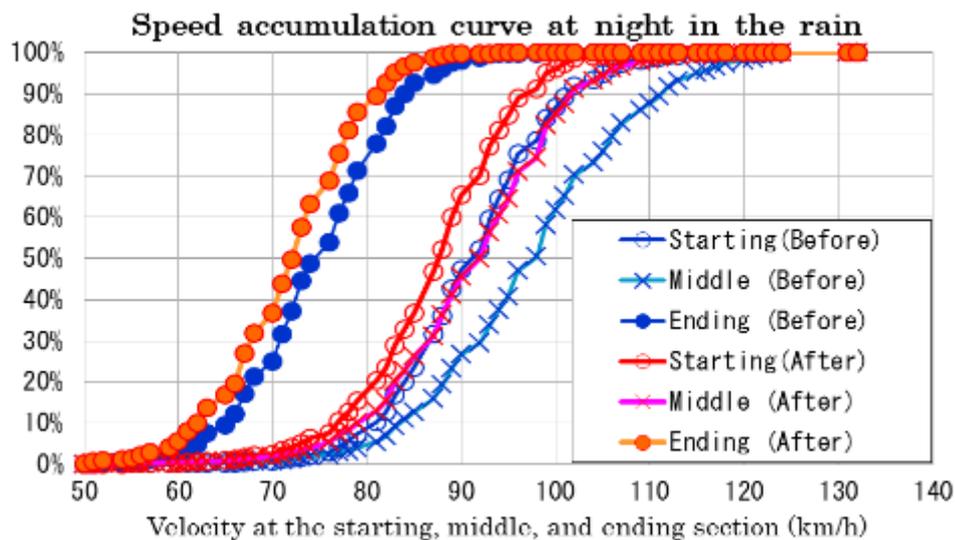


Figura 9-7: Velocidad vehicular, antes y después de instalar las marcas de Chevron (en la noche, bajo la lluvia)

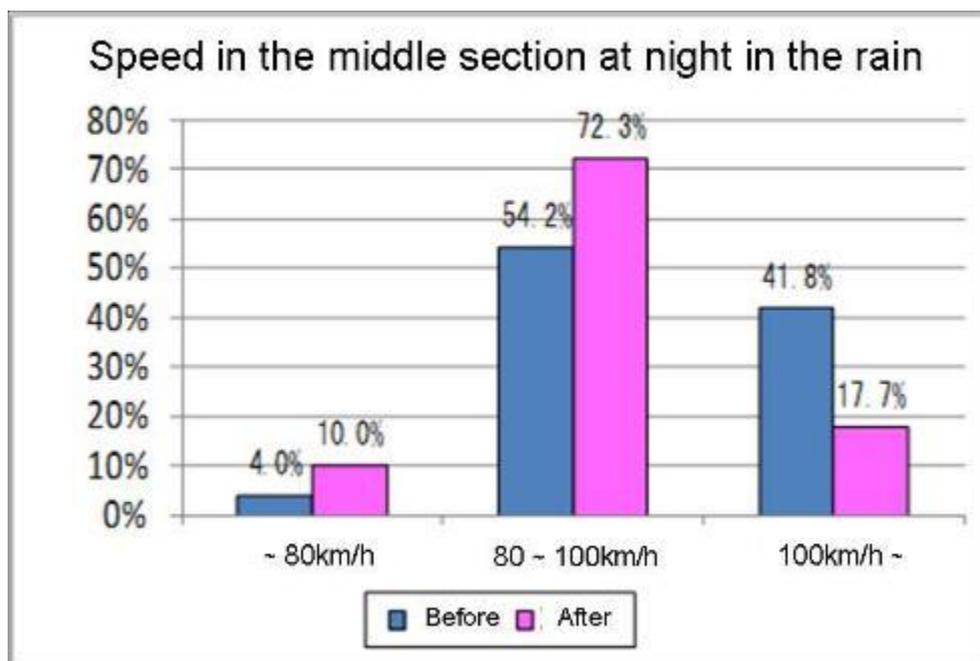


Figura 9-8: Porcentajes de vehículos en la sección media durante la noche bajo la lluvia

9.2. CASOS PRÁCTICOS DE PORTUGAL

por Carlos de Almeida Roque y João Lourenço Cardoso, Portugal

9.2.1. Enlace Nacional Secundario con Restricciones Estrictas

Este caso se refiere a un tramo de carretera nacional secundaria con una unión no canalizada con los accesos a un Cuartel Naval, por un lado, y a un estacionamiento del Bosque Nacional, por el otro (Figura 9-9y Figura 9-10).

La intervención se llevó a cabo en un tramo de carretera de 0,7 km alrededor de la unión, como se muestra en la Figura 9-11.

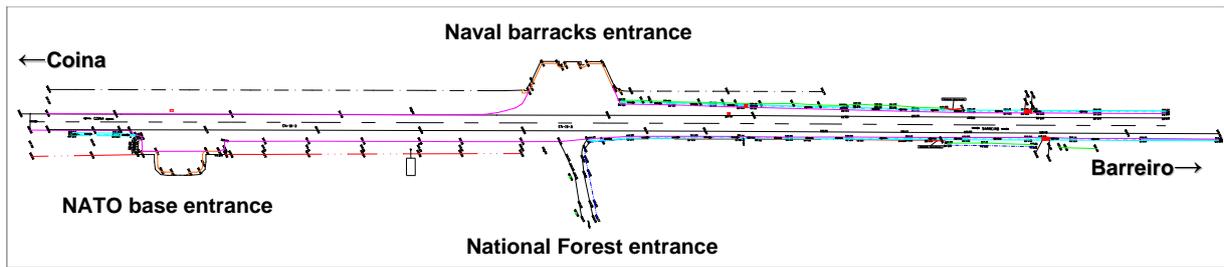


Figura 9-9: Levantamiento del área de unión



Figura 9-10: Foto de la zona de unión



Figura 9-11: Ubicación de la unión

Las características geométricas se recogieron mediante levantamientos topográficos. Se realizaron observaciones in situ para evaluar el entorno vial y verificar las características geométricas y la idoneidad de la señalización y el marcado de las carreteras; también se caracterizaron aspectos relevantes del comportamiento del tráfico (por ejemplo, las velocidades).

La policía de tráfico proporcionó datos detallados sobre los accidentes durante un período de tres años (2003-2005) y los analizó, en particular en lo que se refiere a las maniobras involucradas. Los

diagramas de colisión dibujados sobre el mapa de intersección resaltaban el peligro de los movimientos de vuelta hacia el Cuartel Naval y hacia el Bosque Nacional (Figura 9-12).

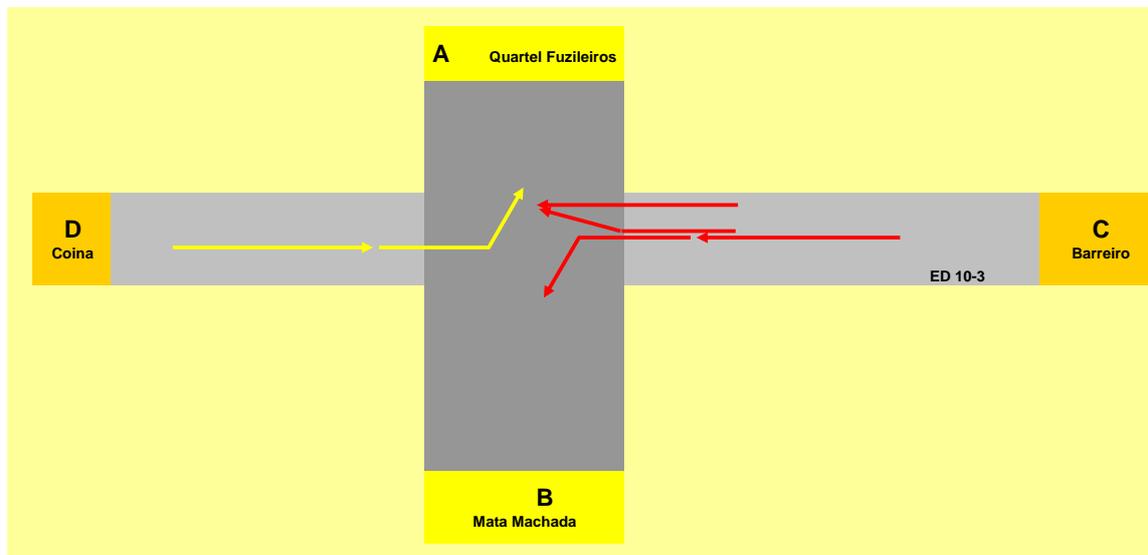


Figura 9-12: Diagrama de colisión

El límite de velocidad indicado era de 60 km/h en ambas direcciones. Las mediciones se realizaron con una pistola de radar oculta,, lo que dio como resultado una velocidad media de 72 km/h en dirección sur (*Barreiro-Coína*) y de 77 km/h en dirección opuesta (véase Figura 9-13).

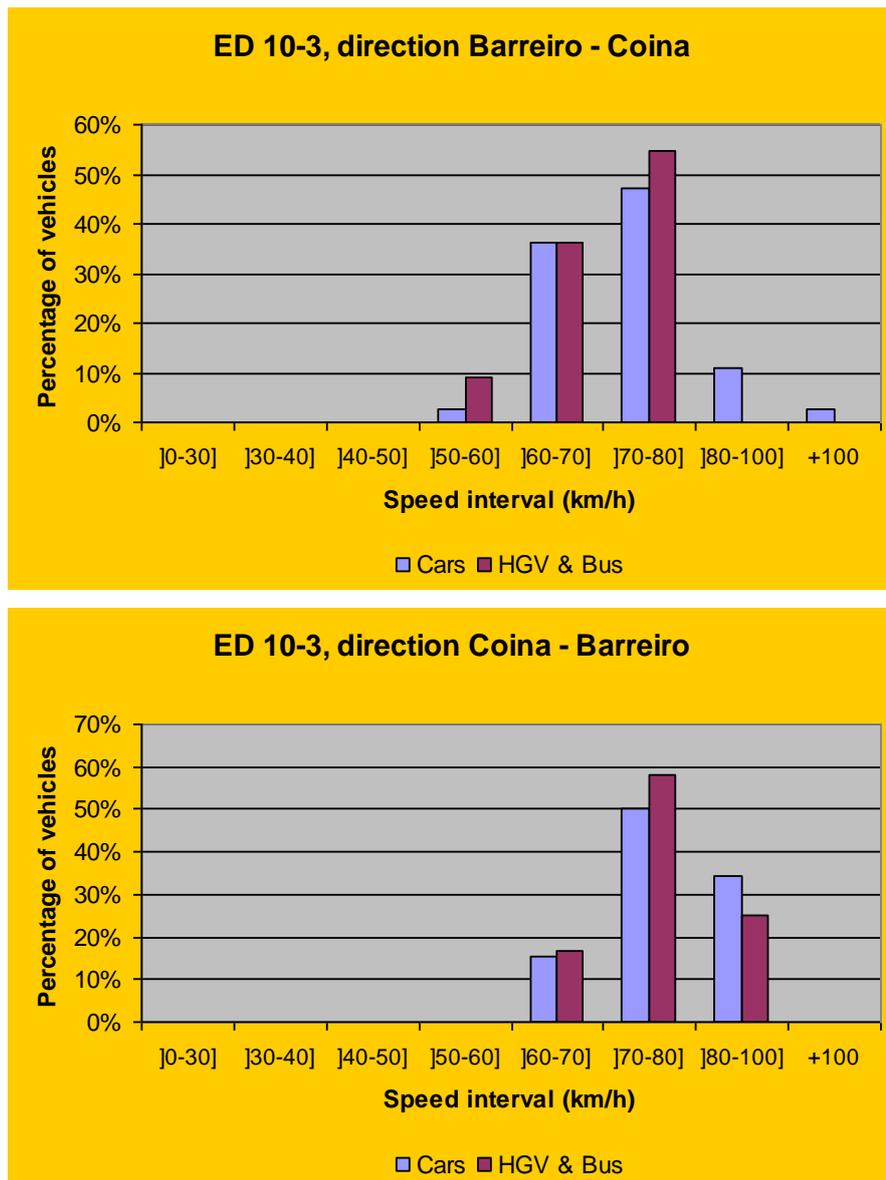


Figura 9-13: Distribución de la velocidad

En la zona de intervención la alineación horizontal es una tangente larga. De acuerdo con el perfil longitudinal, se sitúa una curva suave en columpio cerca del Cuartel Naval; en dirección norte (Coina a Barreiro) la alineación vertical es un descenso suave antes del Cuartel y un ascenso después del Cuartel.

La geometría de la carretera en la aproximación a la unión proporciona una buena distancia visual; sin embargo, los accidentes por alcance con vehículos que giran pueden haber sido causados por dificultades en la percepción de los obstáculos y de las velocidades relativas, en un punto de acceso lateral discreto pero importante. Así que la intersección no era claramente detectable.

A este efecto han contribuido tanto el pequeño número de estímulos que crean flujo visual para una buena percepción de la velocidad (monotonía), como la canalización de los recorridos sueltos con bajas restricciones de elección de trayectoria, como resultado del gran ancho de pavimento

disponible en esta área (ver foto en la Figura 9-10) que también contribuyó a una elección de alta velocidad.

Se diseñó una intervención de bajo costo para organizar el espacio vial, restringir los usos permitidos en cada sección y contribuir a una reducción general de la velocidad. Los principios básicos son: reducir la variabilidad de las maniobras y aumentar los tiempos de decisión disponibles. A continuación se describen las principales acciones realizadas (véase Figura 9-15).

Canalización del tráfico y reducción de la velocidad de circulación mediante: mediana pintada a lo largo de la tangente; reducción del ancho de carril, de 3,5 m a 3,0 m; instalación de carriles de deceleración para giros a la izquierda.

Canalización de los movimientos de entrada y salida al Cuartel Naval y acceso al Bosque Nacional, con el fin de eliminar la situación actual de múltiples trayectorias en ambos casos.

Crear paradas de autobús. Se ubican en sus posiciones originales (es decir, antes de la unión), ya que no era posible reubicarlos después de la unión, como sería más aconsejable.

Renovación de la señalización y marcación de la unión, incluyendo la instalación de señales de advertencia de peligro en los cruces de peatones.

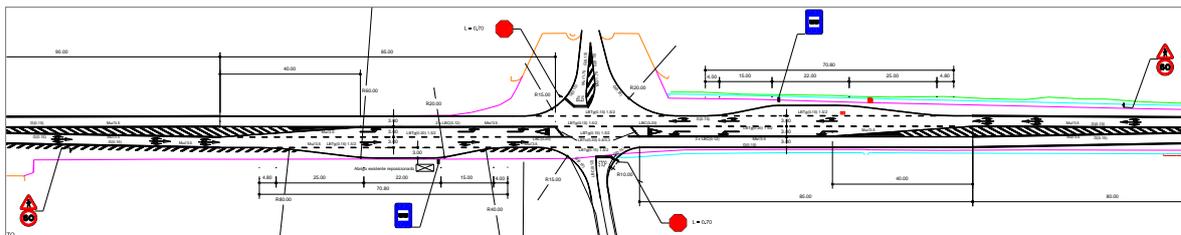


Figura 9-14: Señalización y marcado de la unión

La intervención de seguridad se implementó a principios de 2009. Se realizó un seguimiento de los resultados y se evaluaron los resultados preliminares.

El análisis de la evolución de la frecuencia de los accidentes de tráfico tuvo en cuenta los efectos de la evolución del tráfico y la regresión a la media. Esto se llevó a cabo utilizando el método empírico Bayes, propuesto por Hauer [25]. El número esperado de accidentes se redujo en un 37%, lo que demuestra que la intervención fue muy exitosa.

9.2.2. Alta siniestralidad en la intersección de cuatro ramas de la carretera nacional

En Portugal había un tramo de alta concentración de accidentes situado en la intersección a nivel de Infantado, de dos carreteras nacionales - (EN 10 y EN 119). En 1998 se propuso un enfoque por etapas para resolver este punto negro. Los datos de accidentes sobre la intersección y sus características geométricas se analizaron en el sitio, y posteriormente mediante el levantamiento realizado para el proyecto final de una rotonda.

Esta intervención se llevó a cabo en la intersección de la EN10 (la roja/amarilla) con la EN119 (la azul/roja), ubicada en la EN10 km 93.450. En cada una de las carreteras se intervino un tramo de 1,0 km (véase Figura 9-15).



Figura 9-15: Ubicación de la intersección

En 1998 esta intersección era un punto negro con índices de gravedad muy altos, como se muestra en la Figura 9-16:

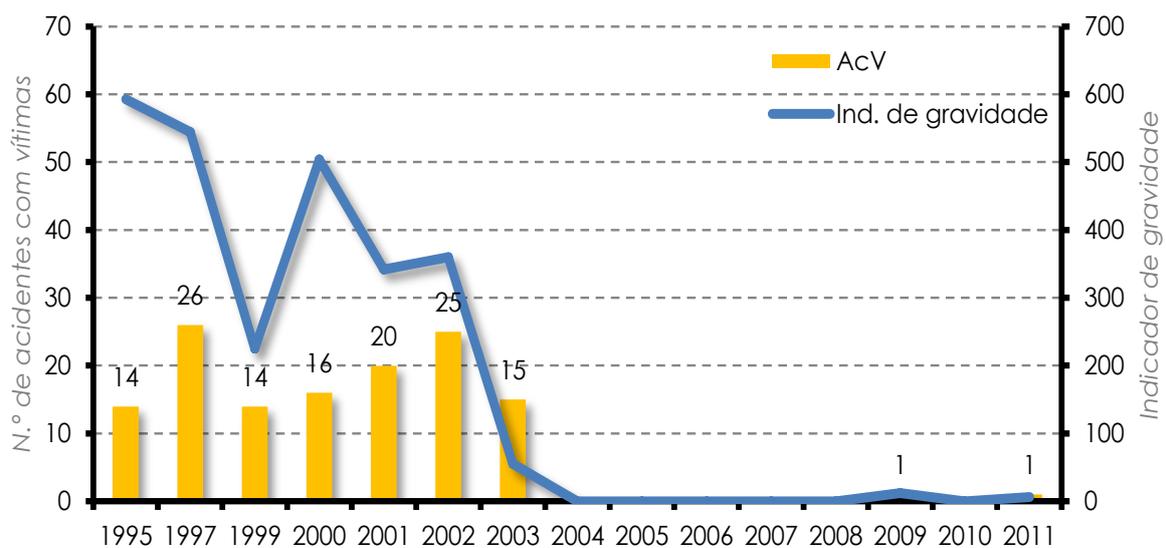


Figura 9-16: Número de accidentes e índice de gravedad

(Fuente: Estradas de Portugal y ANSR)

El número de víctimas mortales también fue muy elevado entre 1995 y 1998, como se muestra en el Figura 9-17. En 1998 se realizó la primera fase de la intervención, que se describirá más adelante.

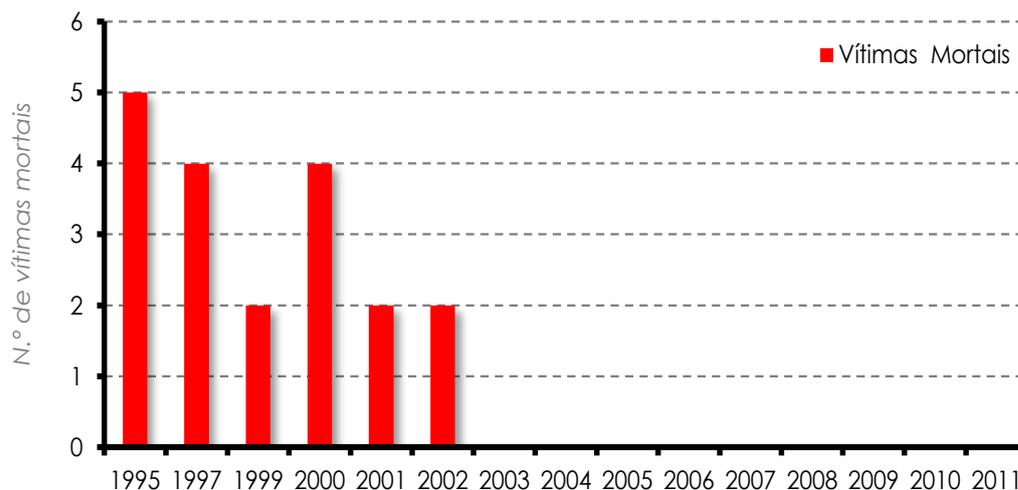


Figura 9-17: Número de víctimas mortales (fuente: Estradas de Portugal y ANSR)

La geometría de la intersección fue la de la medición realizada para la fase de diseño detallado de la intersección de cuatro ramas construida, como se muestra en la Figura 9-18:

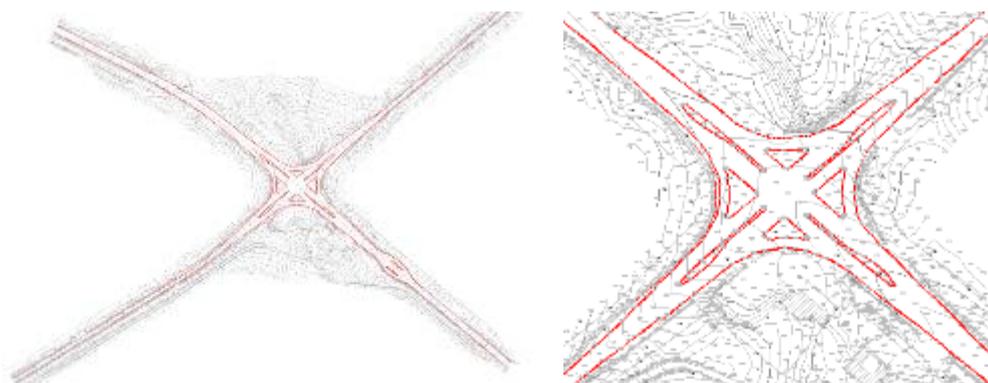


Figura 9-18: Levantamiento y una vista más cercana a la geometría de la intersección

Las cuatro ramas de la intersección se habían construido con la misma disposición, con carriles adicionales para los movimientos de giro a la izquierda, como se muestra en la parte derecha de la Figura 9-18. Así, los conductores de todas las direcciones tenían la expectativa de tener el derecho de paso. Los carriles adicionales para los movimientos de giro a la izquierda sólo deben existir en la carretera principal. Desde el punto de vista de los Factores Humanos, la geometría de la vía menor debe ser completamente diferente, de manera que las expectativas del conductor no sean las mismas cuando se acerque a la intersección por ambas vías. Por un lado, la percepción del conductor y su expectativa de derecho de paso en la intersección era la misma en sus cuatro ramas. Al mismo tiempo, el perfil longitudinal subhorizontal y la alineación horizontal casi recta de las dos carreteras nacionales promovieron altas velocidades al acercarse a la intersección. Ambas carreteras parecían ser carreteras principales, por lo que ninguno de los conductores esperaba tener que ceder el paso en la intersección. Se decidió una intervención por fases, consistiendo la primera en corregir la geometría y cambiar el diseño de las señales de dirección avanzadas, y en intentar ralentizar las velocidades en la aproximación a la intersección, a muy corto plazo utilizando medidas de ingeniería de bajo coste.

La segunda y última fase consistió en implementar una rotonda bien diseñada como solución a los problemas geométricos y de accidentes, con el objetivo de ralentizar la velocidad en los tramos de

aproximación y mejorar la seguridad en la intersección a nivel, como se reconoce en una rotonda bien diseñada.

Así que en la primera e inmediata fase, implementada en 1998, los trabajos realizados fueron:

- eliminación de los carriles adicionales de la vía menor para los movimientos de giro a la izquierda, mediante la instalación de bordillos y el relleno del espacio resultante con tierra;
- sustitución de las señales de dirección avanzadas existentes por señales de dirección avanzadas gráficas que mostraban claramente el tipo de intersección de cuatro ramas a nivel;
- implementación de marcas transversales con efecto de sonido en todas las ramas de la intersección a fin de reducir la velocidad de aproximación; y
- renovar las marcas de las carreteras.

Con esta primera intervención, los usuarios de la intersección podrán reconocer a muy corto plazo las carreteras principales y las carreteras secundarias de la intersección (véase la primera foto de la Figura 9-19).

La segunda fase consistió en la construcción de una rotonda. Ambas fases fueron decididas y el diseño controlado por la División de Seguridad de la Autoridad Vial (JAE), en 1998.





Figura 9-19: Primera fase de intervención y rotonda final

Como se puede ver en la Figura 9-17 y la Figura 9-18, la intervención de bajo coste de 1998 fue muy eficaz, con una reducción de las muertes a la mitad y una reducción inmediata de los accidentes con heridos.

El retraso en la construcción de la solución final, permitió que el número y la gravedad de los accidentes de tráfico aumentaran hasta llegar a las mismas cifras.

La construcción de la rotonda en 2003 solucionó los problemas previstos.

9.3. CASO PRÁCTICO DE ITALIA

por Lorenzo Domenichini, Italia

9.3.1. Evaluación de la seguridad de una autopista orbital de una ciudad del centro de Italia

La autopista orbital de una ciudad en el centro de Italia (la línea naranja en la Figura 9-20) es una autopista urbana muy transitada que se desarrolla paralelamente a una autopista (la línea verde en la Figura 9-20) en el norte de la ciudad, recogiendo y distribuyendo el tráfico hacia y desde el centro de la ciudad y la principal red de autopistas italiana. El continuo crecimiento del tráfico en esta compleja encrucijada inducida en el pasado por las frecuentes condiciones de congestión del tráfico y las intervenciones de gestión del tráfico basadas en tecnologías ITS fueron implementadas para mitigar la situación.

Para resolver definitivamente el problema de capacidad y mejorar, al mismo tiempo, la seguridad vial en este sistema de autopistas, se está llevando a cabo un proyecto que contempla la construcción de un tercer carril de circulación tanto en la autopista como en la autopista orbital. En el tramo más transitado de la autopista, el proyecto de ampliación prevé dos carriles adicionales (tercero y cuarto).

Como parte de las actividades realizadas durante la fase de diseño, se ha llevado a cabo un estudio de evaluación de la seguridad vial para identificar las posibles incoherencias viales que afectan actualmente a la red de autopistas. Los objetivos perseguidos eran tenerlos en cuenta durante la actividad de diseño y evaluar la necesidad de posibles medidas de tratamiento que pudieran aplicarse a corto plazo. El estudio se llevó a cabo de acuerdo con el procedimiento descrito en este documento.

Al comienzo del estudio se ha llevado a cabo una actividad de recogida de datos muy detallada, que incluye las distribuciones y composiciones anuales del tráfico, los datos de accidentes de las estadísticas nacionales y de la base de datos detallada de la empresa gestora de autopistas, el trazado y las secciones transversales de las carreteras y las condiciones medioambientales y meteorológicas locales. Los datos de accidentes recogidos se referían a un período de siete años durante el cual todas las principales variables que influyen en la seguridad permanecieron constantes e incluían datos relativos a la ubicación (tanto longitudinal como transversal), la gravedad, el tipo de accidente y las condiciones meteorológicas y de tráfico en el momento en que se produjo el accidente.

El trazado de la autopista, con una longitud total de unos 28 km, se subdividió en tramos homogéneos. Siendo la categoría funcional de la carretera y el entorno urbano constantes a lo largo de la parte considerada del sistema, las variables consideradas en la identificación de los tramos homogéneos fueron los volúmenes de tráfico, la presencia de intercambiadores, la organización de la sección transversal, los límites de velocidad anunciados y el tipo de sistema operativo de control de velocidad (presencia o ausencia de un sistema de control de la velocidad media). El proceso de segmentación permitió identificar 111 secciones con una longitud media de 250 m (Figura 9-21).

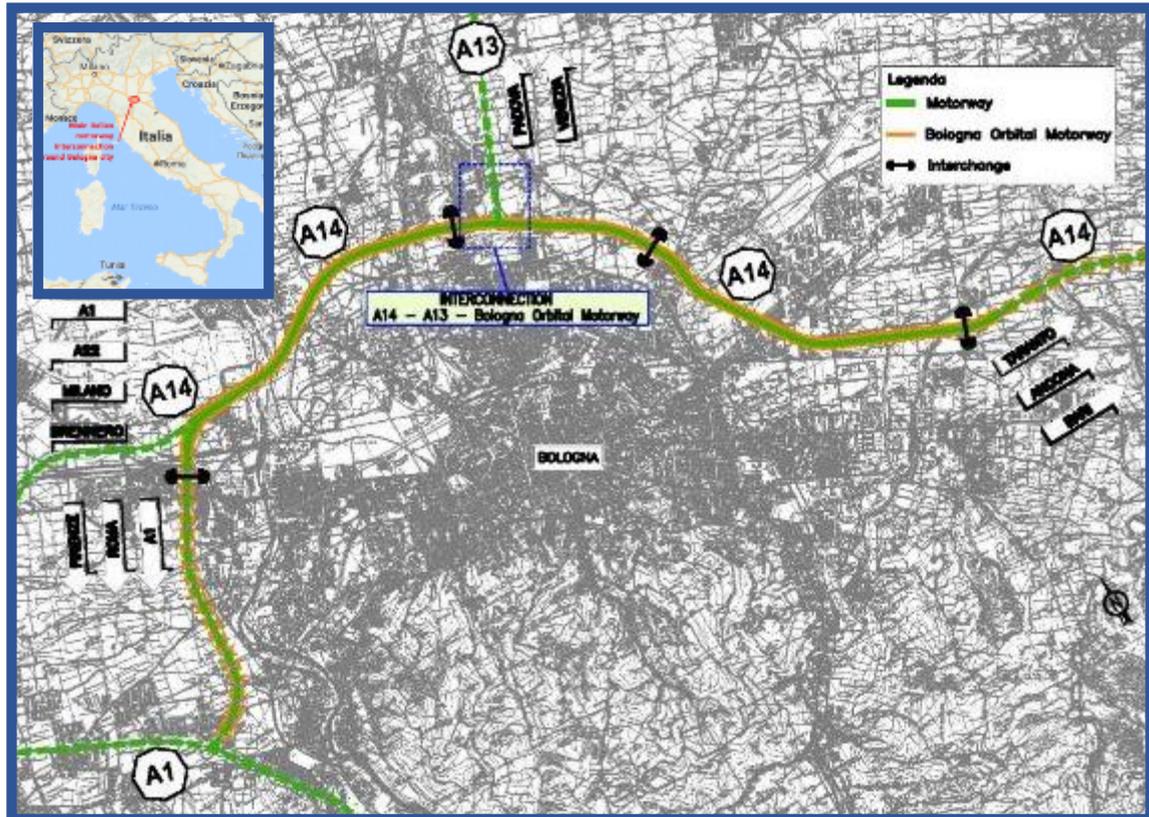


Figura 9-20: el enlace de la autopista al norte de la ciudad de Bolonia (Italia)

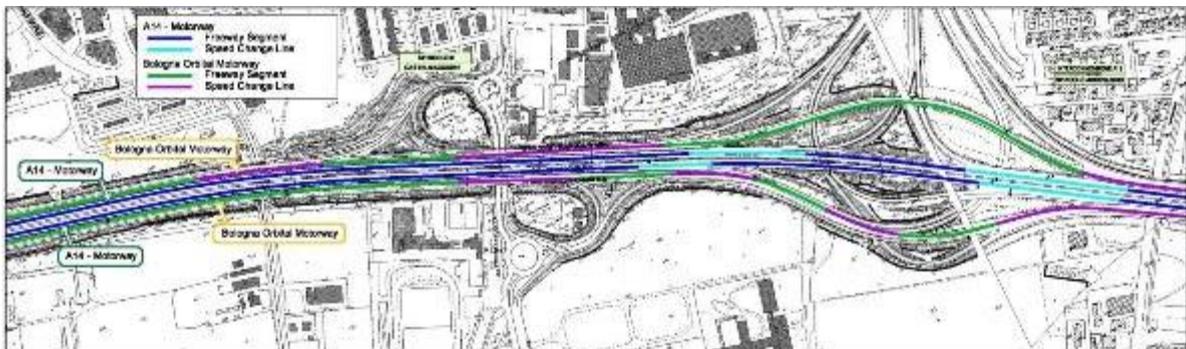


Figura 9-21: ejemplo de segmentación de una parte del trazado considerado.

El paso siguiente fue caracterizar cada sección homogénea en términos de los niveles esperados de concentración de accidentes y clasificar las secciones consideradas en términos de seguridad. Para evaluar el índice de siniestralidad esperado en cada tramo homogéneo se ha aplicado el método Empirical Bayes: se han comparado y ponderado los índices de siniestralidad observados con los previstos en los modelos de predicción del Manual de Seguridad Vial para los tramos de autopistas y los carriles de cambio de velocidad⁹, calibrados en función de la situación italiana¹⁰. A continuación se evaluó el nivel de concentración de accidentes en cada sección calculando el

⁹ AASHTO, "Highway Safety Manual (HSM)" 1ª edición, suplemento, 2014

¹⁰ F. La Torre, L. Domenichini, F. Nocentini, "Effects of stationary work zones on motorway crashes", Safety Science 92 (2017), TRR, 2014, pp. 148-159.

índice SAPO (SAfety POTential)¹¹, que permite evaluar los beneficios sociales (representados en términos de ahorro de costes de seguridad) que puede ofrecer una intervención de seguridad en la sección considerada. Para evaluar la distribución de las Secciones de Alta Concentración de Accidentes (HACS), los valores SAPO se clasificaron en valores altos/medios/bajos. La curva acumulativa SAPO obtenida se muestra en la Figura 9-22 y la distribución del valor SAPO a lo largo de una parte de la autopista considerada se muestra en la Figura 9-23.

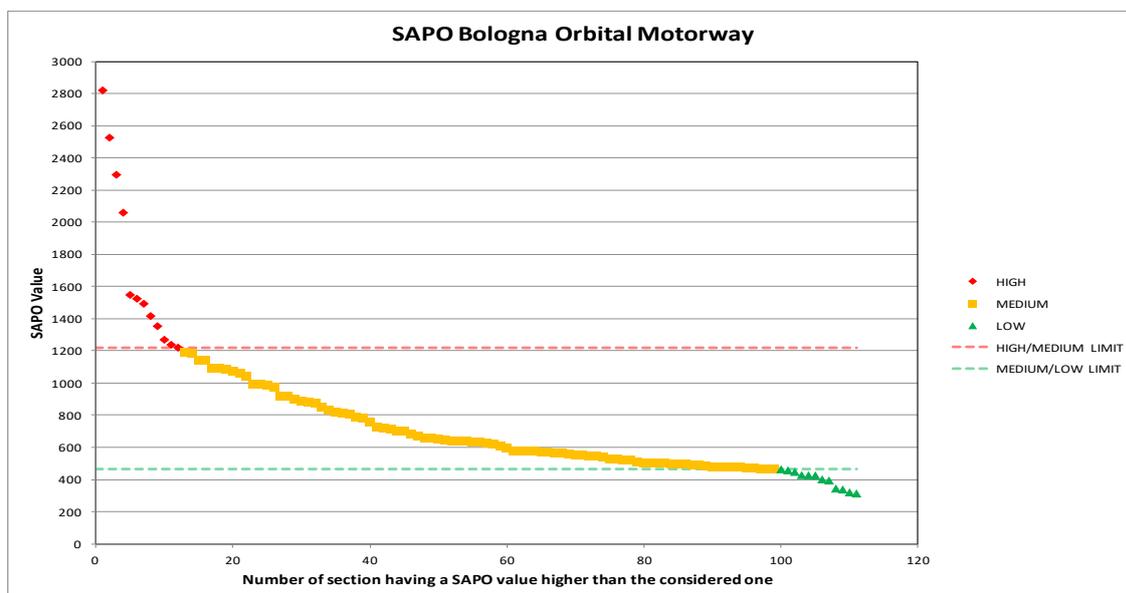


Figura 9-22: curva acumulativa de los valores del índice SAPO en la autopista orbital de Bolonia

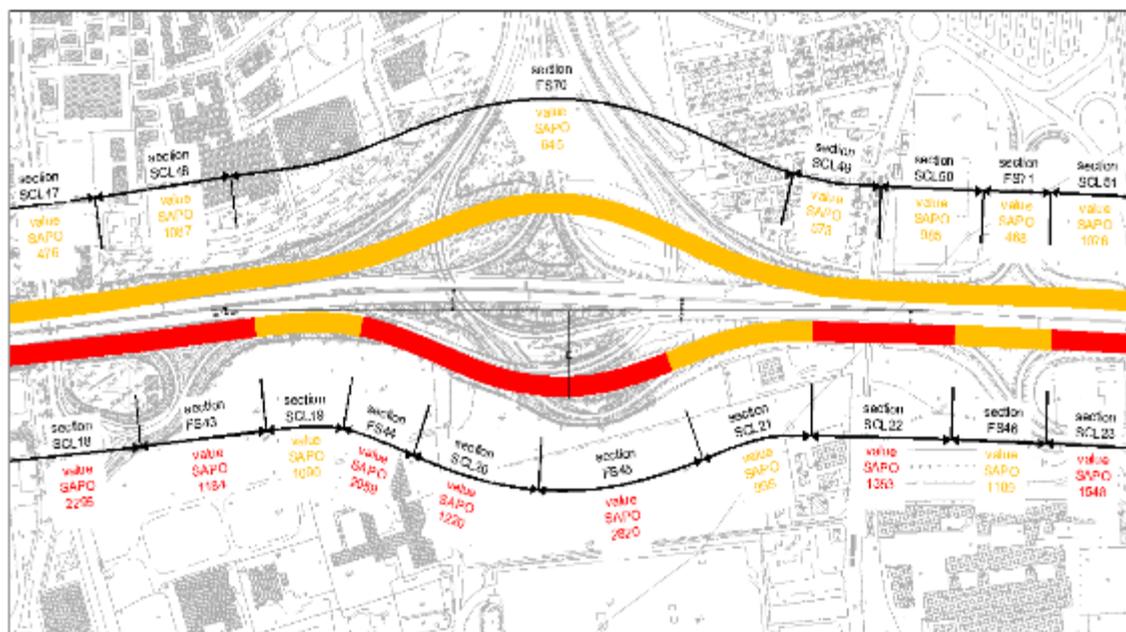


Figura 9-23: ejemplo de la distribución de los valores SAPO en correspondencia de la interconexión entre las autopistas A14, A13 y la autopista Orbital de Bolonia

¹¹ BAST, "Guidelines for Safety Analysis of Road Networks (ESN)", FGSV, Alemania 2003. - www.bast.de DIFUNDE LA PALABRA-

El último paso consistió en la realización de una inspección de seguridad¹² de los tramos homogéneos de la carretera para analizar las características infraestructurales desde el punto de vista del conductor. El procedimiento de inspección tenía por objeto, en primer lugar, comprender las posibles razones de la elevada concentración de accidentes que se produce en algunos tramos y, en segundo lugar, comprender si cabe esperar problemas de seguridad en tramos que aún no están afectados por un elevado número de accidentes.

El siguiente es un ejemplo de los resultados obtenidos.

El ejemplo se refiere a la parte del sistema que se muestra en la Figura 9-23, en correspondencia con el intercambio entre las autopistas A14, A13 y la autopista orbital de Bolonia. En esta ubicación, la autopista orbital de Bolonia se aleja de los bordes de la A14 para dar espacio a las rampas de interconexión de entrada y salida, formando dos tramos de carretera en forma de S con curvas de radio de curvatura reducido debido a restricciones territoriales.

Tanto la calzada norte como la sur tienen un trazado similar. Sin embargo, el análisis de accidentes realizado puso de manifiesto una situación de seguridad muy diferente: la calzada hacia el sur está cargada con una gran cantidad de accidentes de gravedad baja y media (sin accidentes mortales), en comparación con la calzada hacia el norte (véase Figura 9-24).

La inspección de seguridad realizada permitió identificar las razones de ello: en la calzada sur existe un problema relacionado con el Factor Humano debido a la inadecuada percepción espacial del trazado por parte de los conductores. Como muestra la Figura 9-25, el trazado de la carretera (superficie amarilla) difiere del trazado geométrico de los elementos ópticos exteriores: la barrera de seguridad de hormigón en el lado izquierdo, subrayada en la foto por una línea roja, y el techo de la barrera acústica en forma de L invertida (Figura 9-26) a lo largo del lado derecho (la superficie azul claro en la Figura 9-25). Tanto las barreras de hormigón como las acústicas tienen la misma geometría longitudinal que difiere de la geometría de la calzada. En la medida en que las dos referencias externas son visualmente mucho más nítidas que las marcas de la carretera, representan los elementos de guía del conductor y existe un problema de seguimiento de carril en este tramo de carretera que probablemente sea la causa de los frecuentes accidentes frontales laterales y traseros que se producen en este tramo. Este problema de guiado óptico poco fiable no está presente en la calzada en dirección norte debido a que el trazado de la carretera coincide con el trazado de las referencias externas, como se muestra en la Figura 9-27.

La situación de la calzada en sentido sur se corregirá en el proyecto actualmente en ejecución: la calzada se ampliará con un tercer carril de circulación y con un carril de emergencia de anchura constante (el existente tiene una anchura variable y esto da lugar al problema óptico descrito) y la barrera acústica será vertical, evitando el techo subhorizontal muy intrusivo ópticamente de la barrera existente.

¹² La inspección se realizó fuera del sitio, utilizando la herramienta Google Street View.

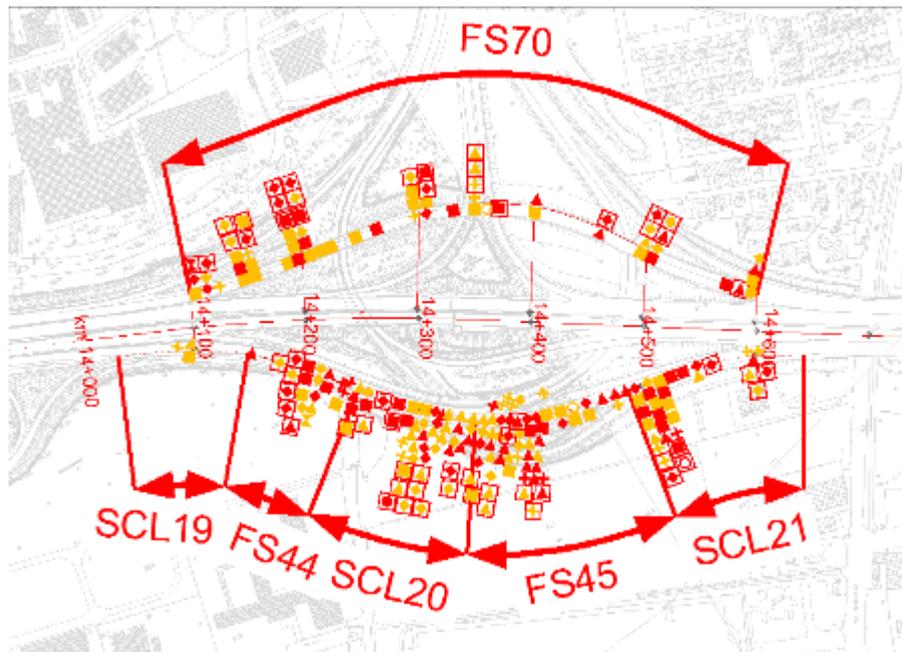


Figura 9-24: distribución de los accidentes en las carreteras de la zona norte (a) y de la zona sur (b)

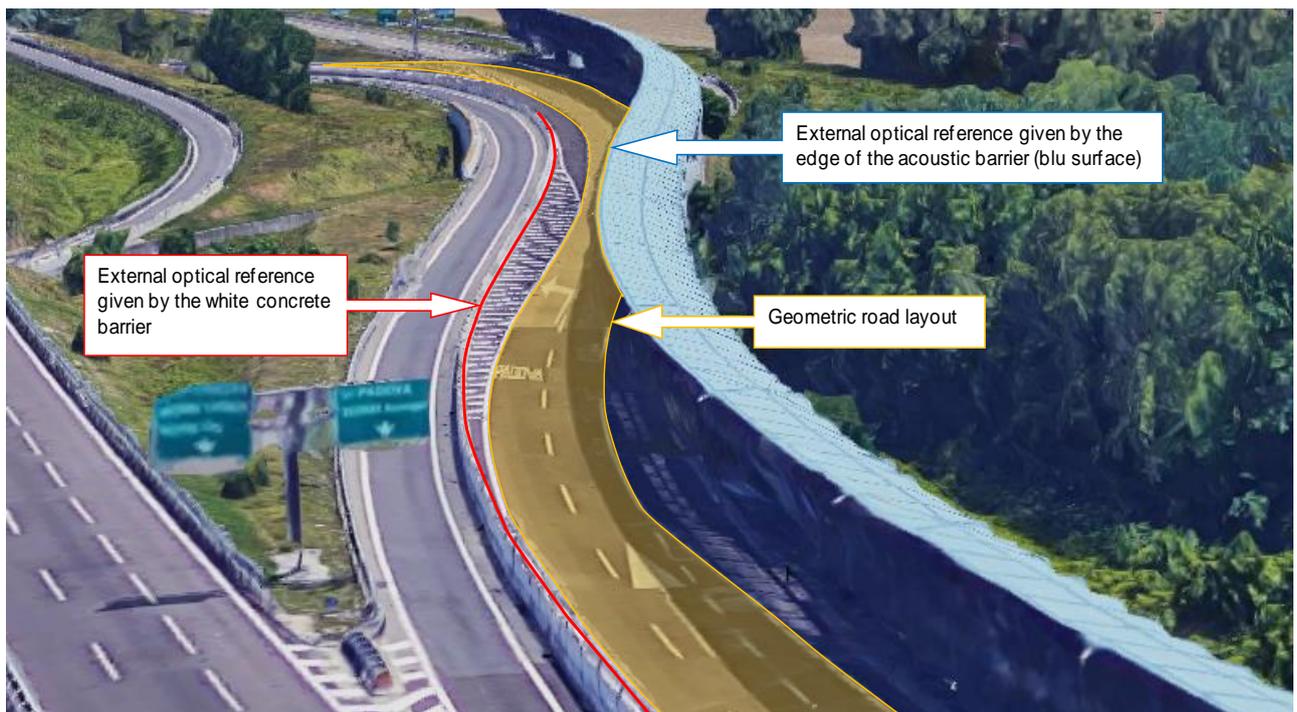


Figura 9-25: Problema relacionado con el Factor Humano en la calzada sur de la Autopista Orbital de Bolonia en el emplazamiento del enlace con la autopista A13



Figura 9-26: La barrera acústica en forma de L en el lado izquierdo de la carretera



Figura 9-27: vista del conductor a lo largo de la calzada en dirección norte

9.4. CASO PRÁCTICO DE CHINA

por Tang Chengcheng, China

9.4.1. Carretera de clase 1



Figura 9-28 - Fotos de la carretera

Descripción del camino

Algunas condiciones básicas de la carretera: K45~K56 de una carretera de clase 1, la velocidad de diseño es de 80 km/h, la anchura de la calzada es de 24,5 m, con presencia de mediana a lo largo de todo el tramo. La red de carreteras regionales está bien desarrollada. El entorno a lo largo del tramo de carretera es complicado. El 39,1% de los tramos de carretera atraviesan pueblos. A lo largo de los tramos de carretera hay tres intersecciones señalizadas; 22 aperturas de mediana; 41 puntos de acceso para si se conduce desde K45~K56, y 56 puntos de acceso si se conduce desde K56~K45. La AADT tiene 9605 vehículos. La velocidad de operación de los tramos de carretera que pasan por los pueblos es de 72 km/h, y la velocidad de operación de los tramos de carretera general es de 82 km/h. Cuatro accidentes ocurrieron entre octubre de 2013 y enero de 2014 con 2 muertos y 4 heridos. La evaluación de la seguridad vial mediante los métodos de clasificación por estrellas se muestra en las siguientes figuras.

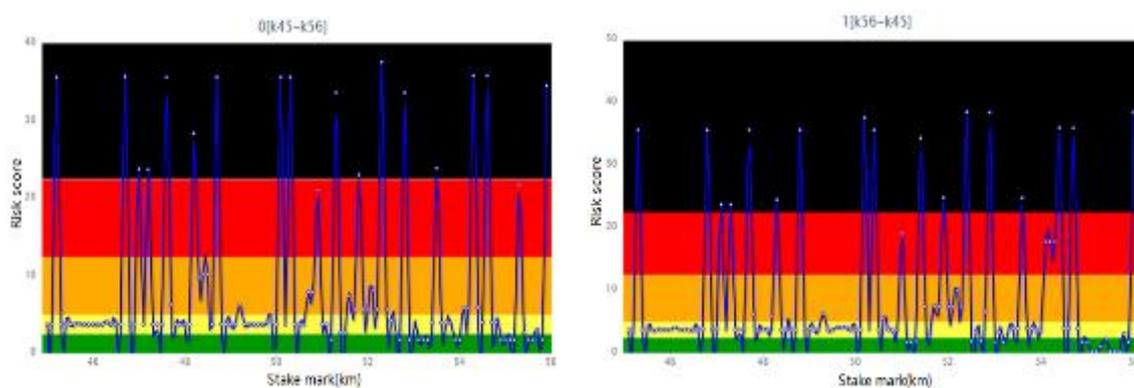


Figura 9-29

Diagnósticos

El entorno vial complicado no cumple con las funciones de las arterias viales. La alta incidencia de interferencias al borde de la carretera no corresponde con la alta velocidad de operación. En resumen, los principales problemas identificados son: 1. alta densidad de intersecciones; 2. falta canalización para la apertura de la mediana.

Medidas Correctivas

Para la gestión de la velocidad, las funciones arteriales de esta carretera deben reducirse debido a las redes de carreteras regionales bien desarrolladas. Se recomienda reducir el límite de velocidad a 70 km/h.

Para la gestión de accesos, los puntos de acceso pueden fusionarse en función del volumen de tráfico, los riesgos en los puntos de intersección. Se recomienda implementar carril para dar vuelta a la izquierda y delineaciones en las intersecciones.

Efectos de las medidas correctivas

Los resultados de la clasificación por estrellas de los tramos K45~K56 antes y después de las medidas correctivas que se están implementando muestran que la clasificación se ha reducido de 8,71 a 4,55.

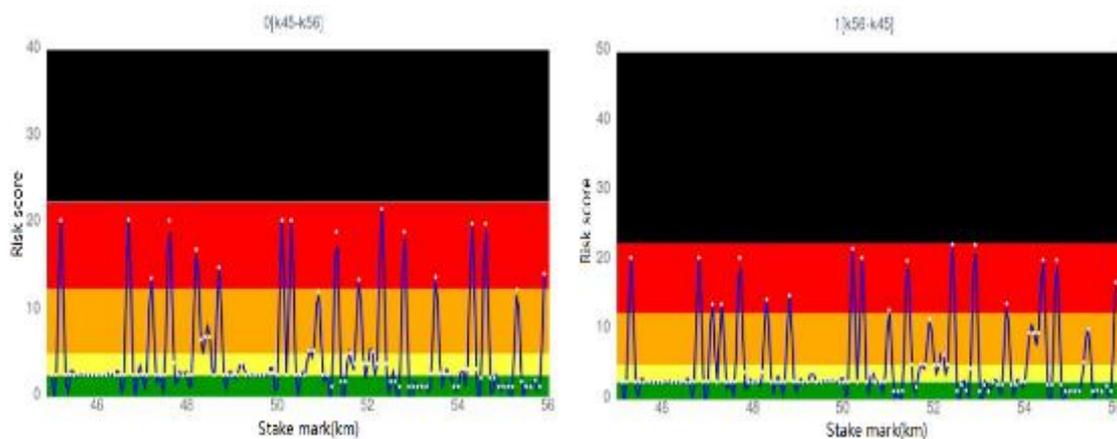


Figura 9-30

9.4.2. Intersección de un camino municipal con una carretera comarcal



Figura 9-31 - Imágenes de las carreteras

Condición básica

La intersección de 3 ramas se forma por la carretera del condado y la carretera del municipio. Para las carreteras municipales, la velocidad de diseño es de 40 km/h, 7 m de pavimento de hormigón; para las carreteras comarcales, la velocidad de diseño es de 20 km/h, y el pavimento de hormigón es de 3,5 m. La AADT para las carreteras municipales y comarcales es de 1500 y 300 vehículos, respectivamente. La velocidad de operación para las carreteras municipales y comarcales es de 56 km/h y 36 km/h, respectivamente. En esta intersección ocurrieron colisiones

laterales que involucraron a vehículos de pasajeros colisionando contra una motocicleta o una bicicleta electrónica.

Diagnósticos

Alta velocidad. Para los vehículos que giran a la izquierda desde la carretera comarcal, las velocidades de los vehículos son relativamente altas debido al pequeño ángulo de intersección.

Distancia de visibilidad insuficiente. Esta intersección sólo puede ser identificada por los conductores en la carretera municipal cuando están muy cerca de la intersección. Los conductores en la carretera comarcal tienen que acercarse a la intersección tanto como sea posible para comprobar si hay vehículos en la carretera municipal.

Medidas correctivas

Mejorar la canalización de la intersección e instalar marcas con flechas guía en el pavimento.

Instalar señales de dirección en la intersección (indicando los destinos de cada rama de la intersección).

Instalar pilares de advertencia en la vía principal de las intersecciones (retroreflectantes).

Líneas laterales de vibración en la vía principal de las intersecciones.

Instalar joroba de velocidad en el camino auxiliar de las intersecciones.

Efectos de las medidas correctivas

En el plazo de un año a partir de la aplicación de las medidas correctivas, no se ha producido ningún accidente de tráfico.

9.5. CASO PRÁCTICO DE MALASIA

por Shaw Voon Wong, Ahmad Noor Syukri Zainal Abidin, Alvin Poi Wai Hoong, Malasia

9.5.1. Antecedentes de un accidente de autobús en Genting Highlands, Malasia

El 21 de agosto de 2013, un autobús escénico se salió de una carretera con muchas colinas, atravesó la barandilla y el muro de escombros y se hundió 34,5 m en un barranco cerca de la carretera 3,6 Genting Highlands-Kuala Lumpur. El trágico incidente cobró el mayor número de víctimas mortales en la carretera de Malasia hasta la fecha, con 37 muertos, incluido el conductor, mientras que otros 16 sufrieron heridas graves. El choque ocurrió alrededor de las 2:15 p.m. durante una buena condición climática, viajando cuesta abajo. El Ministerio de Transporte encargó al Instituto Malayo de Investigación de Seguridad Vial (MIROS) que llevara a cabo una investigación exhaustiva para determinar las causas del accidente e identificar cualquier problema pertinente¹³.

9.5.2. ¿Problemas con el diseño de la carretera?

La carretera en las tierras altas de Genting atraviesa el terreno montañoso con una serie de curvas de descenso (Figura 9-32). Es una carretera de un sentido, de un cuerpo, que consta de dos carriles divididos por las marcas de carril normales. Los carriles fueron construidos significativamente más anchos que una carretera típica con una jerarquía vial similar. Algunos tramos de la carretera tenían una anchura de hasta 4,9 m, muy superior a la de una carretera típica normalmente diseñada para la misma función. El límite establecido en las proximidades del lugar del accidente era de 50 km/h, y la velocidad prevista era de al menos 60 km/h. Cabe señalar que los conductores malasios están muy acostumbrados a que la autopista tenga un límite de velocidad de 110 km/h con un ancho de carril de 3,5 m, siendo el tramo significativo de 3,75 m. Sin embargo, 4,9 m es mucho más ancho que la carretera de 110 km/h con 3,5 m.



Figura 9-33: Ubicación del lugar del accidente

Con el fin de satisfacer la demanda de los autobuses turísticos que suben y bajan por las tierras altas de Genting, la carretera de un solo sentido se construyó para tener carriles anchos que permitan maniobras de giro seguras, especialmente en las esquinas cerradas. En consecuencia,

¹³ Wong, S.V., Ahmad Noor Syukri, Z. B., Kak, D.W., Mohd Amirudin, M. R., Ilhamah, O., Tan, C.Y., Norlen, M., Sharifah Allyana, S.M.R., Alvin Poi, W.H., Wahida, A.B., Mohamad Suffian, A. & Tan, K.L. (2013). Investigación de choque de Genting Highlands: 3,6 Genting Highlands - Kuala Lumpur Road MIR No. 132, Malaysian Institute of Road Safety Research: Kuala Lumpur

indujo una alta velocidad de circulación a lo largo de la carretera (se estimó que la velocidad del autobús que se estrelló era superior a 100 km/h) (Wong et al., 2013)¹³. Desde el punto de vista de los factores humanos, se ha demostrado que la velocidad aumenta significativamente con la cantidad de superficie de la carretera que es visible para el conductor. Por lo tanto, el exceso de velocidad es inducido por carreteras con un tramo recto largo y bien visible por delante o por una carretera con un carril muy ancho. Los resultados experimentales muestran que una carretera con más de 8,5 m de anchura provoca un exceso de velocidad y, en general, la tendencia a conducir a velocidades más altas a medida que aumenta la anchura del carril (Wang et al., 2014; Liu et al., 2016)¹⁴.

En general, algunos elementos de la geometría de la carretera no son adecuados para crear un entorno de conducción seguro, es decir, un límite de velocidad elevado, carriles anchos y curvas cerradas. El resultado de este diseño de carretera es que los vehículos descienden a una velocidad superior a la velocidad segura para superar esas curvas.

9.5.3. Modificación del entorno vial después de la catástrofe

Dado que el problema más crítico era el ancho de carril sobredimensionado que provocaba una velocidad excesiva, se llevaron a cabo varias medidas de gestión de la velocidad de bajo coste para fomentar la velocidad segura entre los usuarios de la carretera.

Sin embargo, la mejora más significativa y la primera importante que se ha llevado a cabo en todo el tramo de carretera es la reducción de la anchura del carril a 3,25 m, una anchura adecuada para la circulación a baja velocidad. Esto podría considerarse como una medida de ingeniería asociada con la forma en que los conductores reaccionan a los cambios en el diseño de las carreteras. El principio de esta medida correctiva es la conclusión experimental antes mencionada sobre la velocidad y la anchura de la carretera.

Para complementar el uso del límite de velocidad, la segunda medida correctiva fue la instalación de badenes de velocidad y franjas transversales que se acercan a las secciones de las curvas (Figura 2). Estos dispositivos para calmar el tráfico tenían como objetivo "forzar" a los conductores errantes a disminuir la velocidad antes de entrar en las áreas de curvas, por lo que se consideraron tratamientos aislados.



¹⁴ Wang, P., Fang, S. & Wang, J. (2014). Impact of lane width of mountain highway on vehicle lateral position and speed, *Advances in Transportation Studies*, 32, 51-64.

Liu, S., Wang, J. H. & Fu, T. (2016). Effects of lane width, lane position and edge shoulder width on driving behaviour in underground urban expressways: a driving simulator study, *Int J Environ Res Public Health*, 13(10): 1010.

Figura 9-34 Se instalaron badenes de velocidad y bandas de ruido en las proximidades de las curvas

Otros tratamientos incluyeron la mejora de la legibilidad de la alineación de la carretera mediante el uso de delineadores reflectantes (marcadores de flecha parpadeantes); la mejora de la presencia de una rampa de escape de emergencia mediante el suministro de señales de tráfico adecuadas (Figura 3) y la mejora del sistema de barreras de seguridad (Figura 4).



Figura 9-35 - Flechas de Chevron intermitentes (izquierda) y señal de tráfico de la rampa de escape de emergencia



Figura 9-36 - El uso de la barrera de concreto TL-5 en curvas

La iniciativa que acompañaba a esta iniciativa era reducir el límite de velocidad de 50 km/h a 30 km/h (Figura 5). Ciertos tramos fueron efectivamente señalizados con una señal de 20 km/h debido a un radio de curvatura extremadamente pequeño. El establecimiento de un límite de velocidad adecuado sirve como medida básica de gestión de la velocidad para informar a los conductores sobre la velocidad máxima a la que deben moverse y para enviar un mensaje sobre las condiciones de conducción existentes.



Figura 9-37 - Los límites de velocidad se redujeron de 50 km/h a 20 km/h y a 30 km/h.

9.5.4. Factores humanos en el diseño de carreteras

Una de las formas de reducir la velocidad al mismo tiempo que se proporciona el espacio adecuado para maniobrar con seguridad en carreteras sinuosas es a través de un ancho de carril más estrecho "perceptivo". Esto puede lograrse estrechando los carriles de circulación delineando una mediana más ancha (camino de dos sentidos) o marcando un arcén más ancho para un camino de una sola vía. El tratamiento perceptivo para gestionar la posición lateral y la velocidad del vehículo se refiere a marcar la calzada de tal manera que el ancho de la calzada parezca más estrecho sin modificación física. La marca más común que se usa para delinear la mediana o el hombro es la eclosión en ángulo. La anchura de la carretera de circunvalación de dos carriles se redujo a 3,25 m desde su anchura original de 4,5 m mediante la delimitación de un arcén más ancho (Figura 9.38). Cabe señalar aquí que la eclosión utilizada en el hombro es también un tipo de tira de vibración, más comúnmente conocida como vibralina en Malasia.



Figura 9-38 - Ancho de carril reducido de 3.25m (izquierda) y proporcionando un hombro más ancho

Una evaluación de la velocidad del tráfico después de estas mejoras reveló que la velocidad de operación era cercana a los 30 km/h en las proximidades del lugar del accidente, mucho menor que antes de que se aplicaran esos tratamientos. Además, la disciplina de los carriles entre los vehículos había mejorado en la medida en que se observó una menor invasión de carriles adyacentes. En consecuencia, desde 2014 se ha reducido la frecuencia de los accidentes de tráfico en toda la red vial, según las estadísticas recopiladas por Genting Malaysia Berhad. Las iniciativas han permitido mitigar el riesgo de exceso de velocidad subconsciente, así como mejorar el rendimiento de conducción de los usuarios de la carretera. Se puede proporcionar espacio adicional para una maniobra más segura, pero no es necesario que sea el ancho del carril. Como parte de la lección aprendida, lo peor para la seguridad vial y la gestión de la velocidad es si los parámetros de diseño sugieren que se conduzca a una velocidad superior a la que requiere el recorrido de la carretera.

9.5.5. Conclusión

El presente caso había constituido, una vez más, la prueba de la importancia de incorporar los factores humanos en el diseño de ingeniería. En lo que se refiere a la seguridad vial, el peor escenario se produce cuando el diseño de la carretera sugiere conducir más rápido de lo que sería apropiado para las demandas de conducción que se avecinan. Si la carretera provoca expectativas erróneas con respecto al recorrido y/o a la velocidad, el programa de conducción no coincide con el lugar peligroso que se aproxima. La lección aprendida de este caso es que ninguna intervención de ingeniería vial logrará el resultado deseado sin tener en cuenta cómo reaccionará el conductor ante los cambios en el diseño de la carretera. En conclusión, el Método de los Factores Humanos

es sin duda un elemento necesario en el diseño de carreteras más seguras. La incorporación de los factores humanos en cualquier evaluación de la seguridad vial, incluida la investigación del tráfico vial, es esencial.

9.6. CASO PRÁCTICO DE ALEMANIA

por Sibylle Birth, Alemania

9.6.1. Medidas para contrarrestar los factores humanos en una curva de accidentes mortales

En Alemania, Brandenburgo, se ha investigado una curva peligrosa pronunciada con un radio incoherente, para aclarar las posibilidades de adoptar medidas correctivas eficaces para evitar accidentes mortales. La curva está situada en un columpio sin suficiente perceptibilidad desde las secciones que se aproximan. La nitidez de la curva no es fiable y predecible para los conductores. Varias medidas correctivas implementadas fueron ineficaces.

En un experimento de campo, ingenieros y psicólogos observaron juntos el comportamiento de conducción en función de la altura de un bastidor óptico de guía en la curva exterior. Los mejores resultados se lograron con un marco óptico de guía (2,75 m sobre el nivel del suelo) con colores amarillos y anaranjados de diferente longitud que funcionan adicionalmente como una ruptura óptica.



Figura 9-39: Marco de guía óptico en una curva con accidentes mortales [25]

Se desarrolló un diseño pre-post para investigar la velocidad antes y después de la instalación de la ruptura óptica. La primera medición se realizó instantáneamente antes de la instalación en 2010 (línea azul), la segunda después de la instalación en 2010 (línea verde). La velocidad se redujo en promedio en 15 km/h. La velocidad máxima pasó de 80 km/h a 55 km/h sin ningún tipo de señalización. La velocidad fue significativamente menor después de la instalación del marco exterior que funciona como una ruptura óptica.

En 2016 se realizó una prueba de fiabilidad para comprobar si la reducción de velocidad funcionaba también cuatro años después de la instalación. Los resultados son muy claros. Incluso cuatro años después, la velocidad está muy por debajo del nivel de 2010 (línea roja).

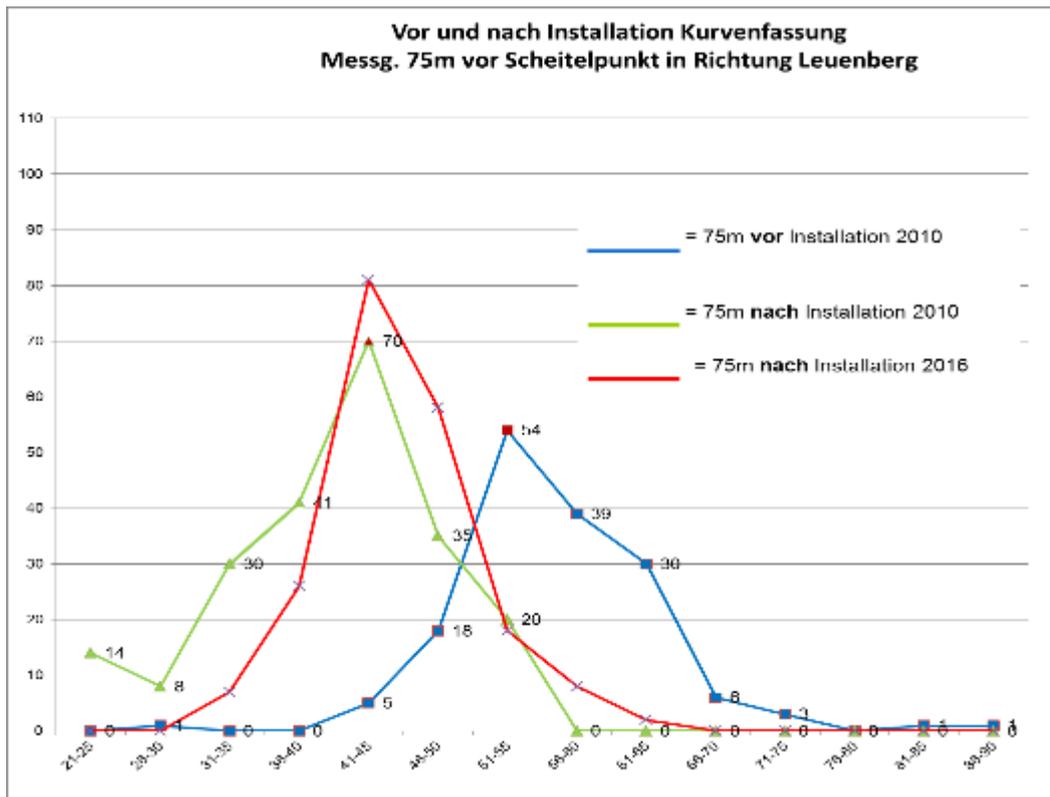


Figura 9-40: Velocidad antes y después de la construcción de un bastidor guía óptico en una curva de accidente (fuente: Birth, S., Demgensky, B. & Wähler, U., 2016)

Debido al escaso número de accidentes, no fue posible demostrar la importancia del hecho de que el número de accidentes también disminuye: En los años 2006-2010 (antes de la instalación) ocurrieron 9 accidentes graves; en los años 2010-2016 (después de la instalación) ocurrieron 6 accidentes graves.

En resumen, la medida correctiva de Factores Humanos muestra una disminución significativa de la velocidad y un menor número de accidentes. Por eso la medida correctiva ha demostrado su eficacia.

9.6.2. Medidas correctivas de factores humanos para aumentar la concienciación y reducir la velocidad de los conductores en una zona con un ambiente escolar.

En una ciudad de Brandenburgo (Alemania), la policía y los padres de los niños denunciaron muy a menudo problemas de exceso de velocidad en una carretera antes de una escuela. La escuela parece un complejo de oficinas y está situada en una calle muy transitada. Así que no hay señal óptica para informar a los conductores de que hay una escuela. Aunque la velocidad está limitada a 30 km/h, la señal sólo muestra un efecto limitado en el comportamiento.



Figura 9-41: situación en la que se encuentra la escuela [26]

Por eso la comisión de accidentes tiene la idea de mejorar la situación con una medida correctiva de Factores Humanos. Los escolares participaron en un concurso para diseñar un pilar de advertencia especial para los conductores. El objetivo era informar a los conductores de manera constructiva que los escolares pueden cruzar la carretera y que una escuela está cerca.



Figura 9-42: Pilares para detener la velocidad, diseñados por los escolares [26]



Figura 9-43: Situación antes de la escuela después de la instalación de la columna de parada de velocidad [26]

Los pilares de diseño tienen unos 290 cm de altura y dan una figura clara e identificable antes del fondo. Se desarrolló un diseño pre-post para investigar la velocidad antes y después de la instalación. La primera medición se realizó instantáneamente antes de la instalación en 2013 (línea roja), y la segunda después de la instalación en 2013 (línea verde). La velocidad desciende hasta 11 km/h.

La velocidad máxima pasa de 44 km/h a 33 km/h. La velocidad fue significativamente menor después de la instalación del pilar que funciona como una ruptura óptica. Además, el número de conductores que violaron el límite de velocidad se reduce significativamente del 85% al 50%. Especialmente las velocidades más altas por encima del 37% disminuyen significativamente.

En 2015 se realizó una prueba de fiabilidad para comprobar si la reducción de velocidad funciona también dos años después de la instalación. Los resultados son muy claros. Incluso dos años después, la velocidad es significativamente por debajo del nivel de 2013 (línea azul).

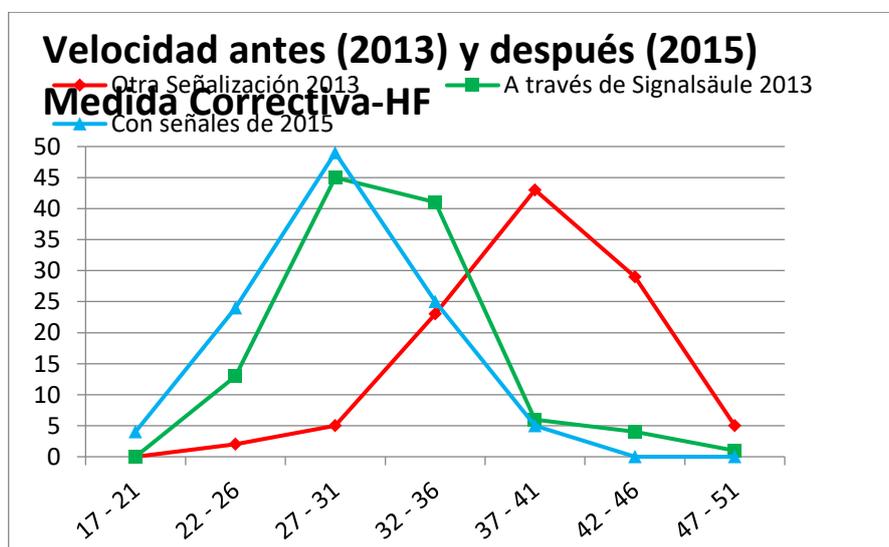


Figura 9-44: Velocidad antes de realizar una medida correctiva de HF con efecto calmante (línea roja, 2013) y después de realizar una medida correctiva de HF con efecto calmante (línea verde 2013, línea azul 2015) [26]

9.6.3. Medidas correctivas de factores humanos que corrigen las impresiones erróneas del conductor sobre el trazado de la carretera después de la puesta en operación de un nuevo libramiento de la ciudad.

En Alemania, Brandenburgo ha construido varias circunvalaciones en los últimos 15 años. Después de la apertura del nuevo libramiento, se producen accidentes mortales en la carretera de circunvalación, aunque el diseño de la carretera se ajustaba a las directrices. Uno de los accidentes más frecuentes ocurre cuando un eje dominante de visión llamativa guía la atención en la dirección equivocada en relación con el rumbo de la carretera. Debido a que el rastreo se realiza en gran medida de manera subconsciente, la probabilidad de una mala interpretación del rumbo de la carretera es alta.



Figura 9-45: Impresiones de una dirección de conducción errónea después de la puesta en servicio de una nueva circunvalación de la ciudad [27]

En tres nuevas circunvalaciones de la ciudad, poco después de la puesta en marcha, en un plazo de 6 meses, se producen unos 20 accidentes. Este fue el punto de partida para que el Ministerio de Infraestructura y Desarrollo Regional iniciara las evaluaciones de Factores Humanos. El objetivo era identificar medidas para corregir las causas de los accidentes mediante medidas correctivas ópticas.

Un equipo interdisciplinario de expertos en Factores Humanos, diseñadores de carreteras y paisajistas desarrolló una Guía para la orientación óptica mediante la plantación. Los principios subyacentes de percepción, regulación y orientación de los conductores fueron descritos y validados por inspecciones interdisciplinarias realizadas in situ.

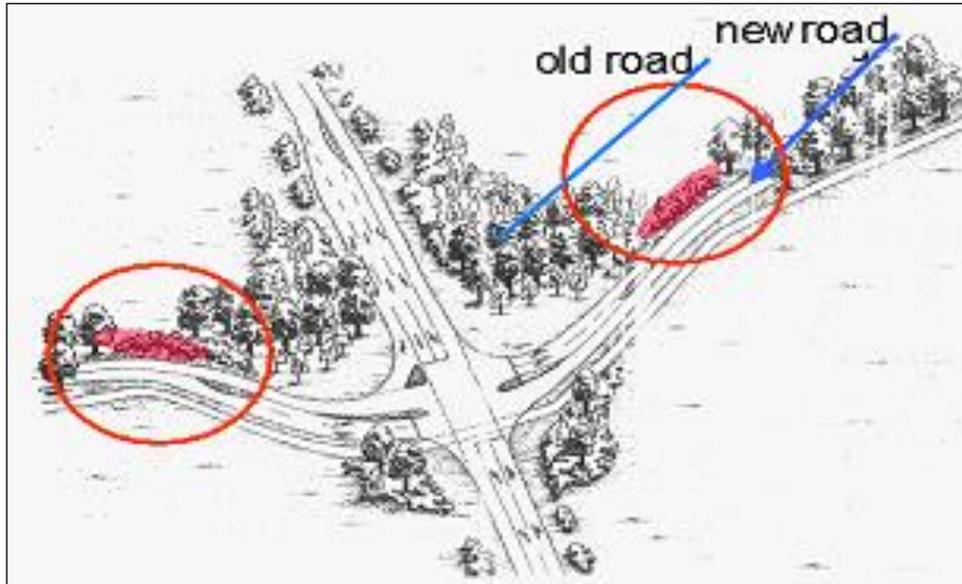


Figura 9-46: El cambio de dirección de la carretera contrario al antiguo foco de atención dominante tiene que ser corregido por un terraplén plantado [27]

A partir de 2002, los principios de la Guía son de aplicación obligatoria. En las circunvalaciones de la ciudad que siguieron los nuevos principios, los antiguos tipos de accidentes desaparecieron y se redujeron a cero. La aplicación de los principios de Factores Humanos en las antiguas circunvalaciones de las ciudades y el rediseño también fue seguida por la reducción de accidentes a cero.



Figura 9-47: Impresión óptica incorrecta (izquierda) y corregida (derecha) corregida por un llamativo terraplén plantado [20]

Después de la implementación de los principios ópticos obligatorios de los terraplenes plantados y de una solución de diseño mejorada para la nueva intersección, los accidentes desaparecieron. Así que la eficacia de la medida correctiva de Factores Humanos fue probada.

10. CONCLUSIÓN

Se ha presentado un enfoque mejorado para la implementación de las Inspecciones de Seguridad Vial (RSI) que permite mejorar los conocimientos científicos y técnicos sobre los límites psicológicos y fisiológicos de los usuarios de la carretera que se han producido en los últimos años.

La mejora, denominada evaluación de la seguridad vial basada en el método HF (RSE_HF), consiste principalmente en la realización, durante una RSI, de un procedimiento especial de inspección para evaluar las prestaciones de seguridad de la carretera en términos de la interacción hombre-carretera. Para realizar la inspección, el equipo de RSI tiene que incorporar expertos en Factores Humanos. El principal interés de esta inspección es evaluar hasta qué punto las características del entorno vial satisfacen las demandas de los factores humanos.

La RSE_HF se puede realizar en diferentes niveles:

- a nivel de red, para identificar las secciones potencialmente peligrosas debido a deficiencias relacionadas con los factores humanos;
- en tramos de alta concentración de accidentes, identificados mediante el análisis de los accidentes observados durante un período de 3 a 5 años, para comprender las razones de la fenomenología de los accidentes recurrentes;
- en los lugares del accidente, durante una investigación del accidente, para identificar las causas del accidente ocurrido con el fin de evitar futuros accidentes en el mismo lugar.

Cuando se aplica a nivel de red, el procedimiento de inspección propuesto permite iniciar el proceso de gestión de la seguridad vial incluso si todavía no se dispone de una base de datos fiable sobre accidentes. Muy a menudo, las ubicaciones peligrosas identificadas según el procedimiento RSE_HF corresponden a la lista de secciones de alta concentración de accidentes que pueden formarse analizando los accidentes observados cuando se dispone de una base de datos de accidentes. Esta oportunidad apoya a los países de ingresos bajos y medios que aún se encuentran en la fase inicial del proceso de gestión de la seguridad vial.

Se ha desarrollado un protocolo de inspección específico y se han finalizado las listas de comprobación de HF específicas para cada uno de los tres requisitos de HF (proporcionar al conductor el tiempo suficiente para comprender el curso de la carretera, ofrecer al conductor un campo de visión seguro y respetar la lógica de percepción del conductor).

El resultado del procedimiento de inspección es la estimación de una puntuación de evaluación HF (Score_HF) que representa la velocidad a la que el tramo de carretera inspeccionado cumple las exigencias de los factores humanos.

Los tratamientos de seguridad que pueden ser identificados después de una RSE_HF a menudo resultan en medidas de bajo costo que ayudan a mejorar las características de seguridad de una carretera incluso cuando la falta de fondos hace que la mejora de la seguridad vial sea difícil.

La aplicación del Método RSE_HF se presenta en el último capítulo del informe que trata de la descripción de los casos prácticos proporcionados por los miembros del grupo de trabajo. Los casos prácticos propuestos tratan de la aplicación de la RSE_HF a secciones de alta concentración de accidentes.

11. REFERENCIAS

- [1] AIPCR, "Manual de seguridad vial", AIPCR, París, 2015.
- [2] AIPCR, "Factores humanos en el diseño de carreteras. Review of Design Standards In Nine Countries", AIPCR, publicación 2012R36EN, París, 2012.
- [3] UNRSC, "Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020", Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 2011.
- [4] Parlamento Europeo; Consejo de la Unión Europea, "Directiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias", Diario Oficial de la Unión Europea, 29 de noviembre de 2008.
- [5] AIPCR, "Human Factor Guidelines for a safer Man-Road interface", AIPCR, Publ. 2016R20EN, París, 2016.
- [6] AASHTO, agosto de 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.safetyanalyst.org/>
- [7] AASHTO, "HSM - Highway Safety Manual", AASHTO, 2010.
- [8] R. Elvik, "State of the art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks", Informe 1 del paquete de trabajo 6 del proyecto de la UE RIPCORDEREST (disponible en www.ripcoorderest.com), 2007.
- [9] M. Sprunsen e R. Elvik, "Black Spot Management and Safety Analysis of Road Network - Best Practise Guidelines and Implementation Steps", RIPCORDEREST WP6, Deliverable D6, 2005.
- [10] Ministerio de Infraestructuras y Transportes, "Decreto Ministerial 137 02/05/2012 Directrices para la gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias de conformidad con el art. 8 del Decreto Legislativo nº 35 del 15 de marzo de 2011", Ministerio de Infraestructuras y Transportes, Roma, 2012.
- [11] Comisión Europea, "RIPCORDEREST Project,"[en línea]. Disponible en: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects/ripcoorderest.pdf Consultato il giorno Octubre 2018].
- [12] S. Birth, B. Demgensky e G. Sieber, "Relationship between Human Factors and the likelihood of single-vehicle crashes on Dutch motorways", Report for Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart, Delft, 2015.
- [13] F. Zwiulich, K. Reker e J. Flach, "Driver behaviour observations on country roads using the example of tree avenues. Una investigación con el vehículo para la investigación de la interacción en el tráfico rodado. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen", serie Mensch und Sicherheit, edición M 124, 2001.
- [14] M. Steyvers, "Morphing techniques for generating and manipulating face images", Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 31, 359-369, 1999.
- [15] S. Birth, B. Demgensky e G. Sieber, "Human Factors Evaluation Tool 2017", Intelligenz System Transfer GmbH, Potsdam, 2017.
- [16] AIPCR, "Road Safety Inspections Guidelines for Safety Checks of Existing Roads", AIPCR, publicación 2012R27EN, 2012.

- [17] AIPCR, Human Factors Guidelines for a Safer Man-Road Interface, PIARC, publ. 2016R20EN, 2016.
- [18] C. Burkhardt, "Fahrbahn, Fahrzeug und Fahrerverhalten", Psicología del tráfico vial, Berna: Hans Huber Verlag, 1965.
- [19] A. S. Cohen, "Blickverhalten und Informationsaufnahme von Kraftfahrern", Report on BAST Research Project 8306/3, Bergisch Gladbach, No. 168, 1987.
- [20] S. Birth e M. Pflaumbaum, "Human Factors in Road Design: a way to self-explaining roads. Validation of the IST-Checklist 2005," Project Report of Work Package 3: Expert Assistance for Safety Review of Rural and Urban Roads (single roadway roads): Ranking for European Road Safety (RANKERS) Proyecto de investigación financiado por el 6º Programa Marco de la Comunidad Europea, 2006.
- [21] AIPCR, "Catalogue of Design Safety Problem and Potential Countermeasures", AIPCR, publicación 2009R07EN, 2009.
- [22] AIPCR, "Manual de seguridad vial", AIPCR, 2003.
- [23] AIPCR, "CATÁLOGO DE ESTUDIOS DE CASO - Mejoras en la seguridad vial relevantes para los usuarios vulnerables de la carretera, los factores humanos y los países de ingresos bajos y medios", AIPCR, en curso de publicación.
- [24] Asociación de Investigación para la Ingeniería de Carreteras y Tráfico (FGSV), *Directrices para la Construcción de Carreteras (RAS-L) - Parte "Linienführung"*.
- [25] E. Hauer, "Observational before-after studies in road safety", Pergamon, Oxford, Reino Unido, 1997.
- [26] S. Birth, B. Demgensky, U. Wähner, "Report on the Evaluation of the Effectiveness of an Optical Brake on Speed and Accidents 2010 - 2016 on the B 158/A130 Leuenberger Grund," Report for the Accident Commission Märkisch-Oderland, Strausberg, 2016.
- [27] S. Birth, B. Demgensky e D. Reussner, "Report on the Evaluation of the Effectiveness of a Stopper Column on School Routes in the Potsdam-Mittelmark District," Report for the Potsdam-Mittelmark Accident Commission, Bad Belzig, 2015.
- [28] S. Birth, H. Staadt e O. Sporbeck, "Guideline for optical orientation by planting, (HVO)", Ministerio de Infraestructura y Desarrollo Regional, Brandeburgo, 2002.
- [29] AIPCR, "Accidents Investigations Guidelines for Road Engineers", AIPCR, publicación 2013R07EN, 2013.
- [30] Banco Mundial, "World Bank Country and Lending Groups", 2018. [En línea]. Disponible: https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519#High_income Consultado en octubre de 2018].
- [31] EuroRAP, "British Results: Tracking collisions and road improvements, Monitoring motorcycle involvement, Benchmarking across Europe," EuroRAP, 2015.
- [32] AIPCR, "Mejoras en la seguridad del trabajo en las carreteras", AIPCR, publicación 2012R29EN, 2012.

[33] M. Sorensen, "Grå strækninger i det åbne land - Udvikling, anvendelse og vurdering af alvorlighedsbaseret metode til udpegning, analyse og udbedring af grå strækninger", tesis doctoral, Grupo de Investigación sobre Tráfico, Universidad de Aalborg, Aalborg, 2006.

[34] AIPCR, "HDM4-Software,"[en línea]. Disponible: <https://www.piarc.org/en/knowledge-base/road-assets-management/HDM-4-Software/> Consultado en febrero de 2019].

ANEXOS

ANEXO 1

FORMULARIO NORMALIZADO ITALIANO ADOPTADO POR LA JUNTA NACIONAL DE ESTADÍSTICA (AAC: FORMULARIO INC) INFORME POLICIAL

ISTAT
ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA

INCIDENTI STRADALI

DATI E LOCALITÀ DELL'ACCIDENTO

PROVINCIA: _____ **COMUNE:** _____

1. CARATTERISTICA DEL SOSTRATO

2. TIPO DI VEICOLI INVOLTI

3. TIPO DI INFRAZIONE

4. TIPO DI COLLISIONE

5. TIPO DI LESIONI

6. TIPO DI DANNO

7. TIPO DI CLASIFICACIÓN

8. TIPO DE ACCIDENTE

9. TIPO DE ACCIDENTE

10. TIPO DE ACCIDENTE

11. TIPO DE ACCIDENTE

12. TIPO DE ACCIDENTE

13. TIPO DE ACCIDENTE

14. TIPO DE ACCIDENTE

15. TIPO DE ACCIDENTE

16. TIPO DE ACCIDENTE

17. TIPO DE ACCIDENTE

18. TIPO DE ACCIDENTE

19. TIPO DE ACCIDENTE

20. TIPO DE ACCIDENTE

21. TIPO DE ACCIDENTE

22. TIPO DE ACCIDENTE

23. TIPO DE ACCIDENTE

24. TIPO DE ACCIDENTE

25. TIPO DE ACCIDENTE

26. TIPO DE ACCIDENTE

27. TIPO DE ACCIDENTE

28. TIPO DE ACCIDENTE

29. TIPO DE ACCIDENTE

30. TIPO DE ACCIDENTE

31. TIPO DE ACCIDENTE

32. TIPO DE ACCIDENTE

33. TIPO DE ACCIDENTE

34. TIPO DE ACCIDENTE

35. TIPO DE ACCIDENTE

36. TIPO DE ACCIDENTE

37. TIPO DE ACCIDENTE

38. TIPO DE ACCIDENTE

39. TIPO DE ACCIDENTE

40. TIPO DE ACCIDENTE

41. TIPO DE ACCIDENTE

42. TIPO DE ACCIDENTE

43. TIPO DE ACCIDENTE

44. TIPO DE ACCIDENTE

45. TIPO DE ACCIDENTE

46. TIPO DE ACCIDENTE

47. TIPO DE ACCIDENTE

48. TIPO DE ACCIDENTE

49. TIPO DE ACCIDENTE

50. TIPO DE ACCIDENTE

51. TIPO DE ACCIDENTE

52. TIPO DE ACCIDENTE

53. TIPO DE ACCIDENTE

54. TIPO DE ACCIDENTE

55. TIPO DE ACCIDENTE

56. TIPO DE ACCIDENTE

57. TIPO DE ACCIDENTE

58. TIPO DE ACCIDENTE

59. TIPO DE ACCIDENTE

60. TIPO DE ACCIDENTE

61. TIPO DE ACCIDENTE

62. TIPO DE ACCIDENTE

63. TIPO DE ACCIDENTE

64. TIPO DE ACCIDENTE

65. TIPO DE ACCIDENTE

66. TIPO DE ACCIDENTE

67. TIPO DE ACCIDENTE

68. TIPO DE ACCIDENTE

69. TIPO DE ACCIDENTE

70. TIPO DE ACCIDENTE

71. TIPO DE ACCIDENTE

72. TIPO DE ACCIDENTE

73. TIPO DE ACCIDENTE

74. TIPO DE ACCIDENTE

75. TIPO DE ACCIDENTE

76. TIPO DE ACCIDENTE

77. TIPO DE ACCIDENTE

78. TIPO DE ACCIDENTE

79. TIPO DE ACCIDENTE

80. TIPO DE ACCIDENTE

81. TIPO DE ACCIDENTE

82. TIPO DE ACCIDENTE

83. TIPO DE ACCIDENTE

84. TIPO DE ACCIDENTE

85. TIPO DE ACCIDENTE

86. TIPO DE ACCIDENTE

87. TIPO DE ACCIDENTE

88. TIPO DE ACCIDENTE

89. TIPO DE ACCIDENTE

90. TIPO DE ACCIDENTE

91. TIPO DE ACCIDENTE

92. TIPO DE ACCIDENTE

93. TIPO DE ACCIDENTE

94. TIPO DE ACCIDENTE

95. TIPO DE ACCIDENTE

96. TIPO DE ACCIDENTE

97. TIPO DE ACCIDENTE

98. TIPO DE ACCIDENTE

99. TIPO DE ACCIDENTE

100. TIPO DE ACCIDENTE

INCIDENTI STRADALI

1. TIPO DI VEICOLI INVOLTI

2. TIPO DI INFRAZIONE

3. TIPO DI COLLISIONE

4. TIPO DI LESIONI

5. TIPO DI DANNO

6. TIPO DI CLASIFICACIÓN

7. TIPO DE ACCIDENTE

8. TIPO DE ACCIDENTE

9. TIPO DE ACCIDENTE

10. TIPO DE ACCIDENTE

11. TIPO DE ACCIDENTE

12. TIPO DE ACCIDENTE

13. TIPO DE ACCIDENTE

14. TIPO DE ACCIDENTE

15. TIPO DE ACCIDENTE

16. TIPO DE ACCIDENTE

17. TIPO DE ACCIDENTE

18. TIPO DE ACCIDENTE

19. TIPO DE ACCIDENTE

20. TIPO DE ACCIDENTE

21. TIPO DE ACCIDENTE

22. TIPO DE ACCIDENTE

23. TIPO DE ACCIDENTE

24. TIPO DE ACCIDENTE

25. TIPO DE ACCIDENTE

26. TIPO DE ACCIDENTE

27. TIPO DE ACCIDENTE

28. TIPO DE ACCIDENTE

29. TIPO DE ACCIDENTE

30. TIPO DE ACCIDENTE

31. TIPO DE ACCIDENTE

32. TIPO DE ACCIDENTE

33. TIPO DE ACCIDENTE

34. TIPO DE ACCIDENTE

35. TIPO DE ACCIDENTE

36. TIPO DE ACCIDENTE

37. TIPO DE ACCIDENTE

38. TIPO DE ACCIDENTE

39. TIPO DE ACCIDENTE

40. TIPO DE ACCIDENTE

41. TIPO DE ACCIDENTE

42. TIPO DE ACCIDENTE

43. TIPO DE ACCIDENTE

44. TIPO DE ACCIDENTE

45. TIPO DE ACCIDENTE

46. TIPO DE ACCIDENTE

47. TIPO DE ACCIDENTE

48. TIPO DE ACCIDENTE

49. TIPO DE ACCIDENTE

50. TIPO DE ACCIDENTE

51. TIPO DE ACCIDENTE

52. TIPO DE ACCIDENTE

53. TIPO DE ACCIDENTE

54. TIPO DE ACCIDENTE

55. TIPO DE ACCIDENTE

56. TIPO DE ACCIDENTE

57. TIPO DE ACCIDENTE

58. TIPO DE ACCIDENTE

59. TIPO DE ACCIDENTE

60. TIPO DE ACCIDENTE

61. TIPO DE ACCIDENTE

62. TIPO DE ACCIDENTE

63. TIPO DE ACCIDENTE

64. TIPO DE ACCIDENTE

65. TIPO DE ACCIDENTE

66. TIPO DE ACCIDENTE

67. TIPO DE ACCIDENTE

68. TIPO DE ACCIDENTE

69. TIPO DE ACCIDENTE

70. TIPO DE ACCIDENTE

71. TIPO DE ACCIDENTE

72. TIPO DE ACCIDENTE

73. TIPO DE ACCIDENTE

74. TIPO DE ACCIDENTE

75. TIPO DE ACCIDENTE

76. TIPO DE ACCIDENTE

77. TIPO DE ACCIDENTE

78. TIPO DE ACCIDENTE

79. TIPO DE ACCIDENTE

80. TIPO DE ACCIDENTE

81. TIPO DE ACCIDENTE

82. TIPO DE ACCIDENTE

83. TIPO DE ACCIDENTE

84. TIPO DE ACCIDENTE

85. TIPO DE ACCIDENTE

86. TIPO DE ACCIDENTE

87. TIPO DE ACCIDENTE

88. TIPO DE ACCIDENTE

89. TIPO DE ACCIDENTE

90. TIPO DE ACCIDENTE

91. TIPO DE ACCIDENTE

92. TIPO DE ACCIDENTE

93. TIPO DE ACCIDENTE

94. TIPO DE ACCIDENTE

95. TIPO DE ACCIDENTE

96. TIPO DE ACCIDENTE

97. TIPO DE ACCIDENTE

98. TIPO DE ACCIDENTE

99. TIPO DE ACCIDENTE

100. TIPO DE ACCIDENTE

ANEXO 2

FICHA DE ACCIDENTE DE CIRCULACIÓN (TAR-A) - DATOS GENERALES

Traffic accident report sheet (TAR-A) - General Data

To be filled in at the accident spot by police or ambulance

A1- Accident ID Automatically	Latitude				Longitude				GMT Time			
A2-Time	Local time					Date						
A3- Date	H	:	M	M	am	pm	D	D	M	M	Y	Y
Automatically												
A4- Light conditions	1	Day	2	Night	3	Before Sunrise	4	After sunset				
	5	Street lights on	6	Street lights off	7	No street lights						
A5-Accident location	Exact address						Governorate					
A6- Weather status	1	Dry/clear	2	Rain	3	Cloudy	4	Fog/Dust	5	Severe Wind		
A7- Road surface	1	Dry/clean	2	Wet	3	Dusty/sandy	4	Slippery Oily				
A8-Type of road Documented by pictures	1	Motorway Two ways	2	Express road Two ways	3	Highway One way	4	Provincial Road				
	5	Urban Motorway Two ways	6	Urban road Two ways	7	Residential Road	8	Gravel road				
A9-Accident Place, Documented by pictures	1	Along the road	2	At the curve	3	At down slop	4	At (U) turn				
	5	At (T) intersect	6	At (+) intersect	7	Minor intersect	8	Other				
	9	Inside settled area	10	Outside settled area	11	On a bridge	12	In a tunnel				
A10-Roadside Documented by pictures	1	Desert	2	Agriculture/ Farmland	3	Urban	4	Industrial				
	5	Free Obstacles on/ above the road	6	Fixed obstacles at road side	7	Constructions	8	Trees				
A11- Type of accident, (to be selected from pictograms) Documented by pictures	1	With pedestrian	1.1	Crossing	1.2	Along the road		With animal,carts				
	2	Single accident	2.1	With obstacles on or above road	2.2	leaving the road	2.3	At railway crossings				
	3	With vehicles	3.1	Same direction	3.2	Opos. direc	3.3	Parking vehicles				
	4	With vehicles by turning/crossing	4.1	Entering junction From same direct.	4.2	From Opos.direct	4.3	From Crossing arms				
	5	Others	Detailed accident type pictogram from Police laptop, 55 options									
Number of death At the place					Number of injuries At the place					Damage only		

Sign of the reporting Police Officer/ambulance paramedics:

ANEXO 3

TIPO DE ACCIDENTES

La siguiente lista representa un ejemplo de los tipos de accidentes utilizados en la tipología checa de accidentes de tráfico, que se basa en la austríaca. Los accidentes se dividen en los siguientes diez tipos:

Accidentes con un solo vehículo

Accidentes de tráfico de vehículos que circulan en la misma dirección en el tramo de carretera

Accidentes de tráfico de los vehículos que circulan en sentido contrario en el tramo de carretera

Accidentes de tráfico de vehículos que entran en el cruce desde la misma dirección

Accidentes de tráfico de vehículos que entran en el cruce desde direcciones opuestas

Accidentes de tráfico de vehículos que entran en el cruce desde carriles adyacentes

Accidentes de tráfico de vehículos y peatones

Accidentes de tráfico con vehículos de pie o estacionados

Accidentes de tráfico con animales y vehículos ferroviarios

Otros accidentes de tráfico

Referencias:

Vollpracht, H.; Machata, K.; Stefan C. 2010. Manual on Management of High Risk Sites and Sections in Egypt, The EU-Twinning Expertise for Enhancing Road Safety in Egypt

ANEXO 4

ELEMENTOS DE LA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE FACTORES HUMANOS

La Herramienta Factores Humanos - Evaluación contiene cerca de 100 ítems para juzgar si las deficiencias de Factores Humanos están presentes en la Gestalt de una carretera. Está demostrado que estas deficiencias provocan accidentes. Algunos de los puntos ya se mencionan en la Guía. Pero para ilustrar el Método de los Factores Humanos, en este anexo se encuentran los puntos a verificar. Para una explicación detallada, por favor siga los siguientes informes [22] [2]. La Herramienta Factores Humanos - Evaluación se encuentra en una etapa anterior y también está disponible en francés y español. Se ha iniciado una traducción al holandés.

Human Factors Man-Road-Interface-Exploration® 2017			
Road Nr.: _____ km: _____ direction: _____ Evaluator: _____			
Part I: 6-Seconds-Rule: Give drivers enough time (4-6sec)			
1. Moderation of transitional area	v (km/h)	length min (m)	length cum. (m)
- manoeuvre section exists	0	0	0
- response section exists? (2-3sec)	0	0	0
- anticipation section exists? (2-3sec)	0	0	0
- advance warning section exists?	0	0	0
Transition Zone total			
2. Perception and Visibility	v (km/h)	length min (m)	length cum. (m)
- critical location visible and clearly identifiable			
o each critical location obvious and visible (crossings, driveways, road bends, bus stops,			
o visibility is not restricted (e.g. by plants, buildings, traffic signs, control devices, roadside equipment, ...)			
o road equipment and traffic control devices are clearly visible (e.g. traffic signs and signals, markings, safety barriers, ...)			
o day: lightning of surface/traffic signs sufficient			
o night: lightning and luminance of surface/traffic signs sufficient, retroreflection of signs and markings is sufficient			
- curves are visible			
o curves are visible (at least 6 sec. ahead to			
o curve is not on/behind a crest			
o shoulder and marking of the outer curve are visible			
o visibility on the inner curve is not restricted			
- intersection - visibility triangle from minor road is not obstructed?			
o priority traffic is visible for at least 6 sec. ahead			
	0	0	0
o intersection is not on or behind a crest			
o intersection is better in a sag than on a crest in a hilly terrain			
o intersection is not in or after a curve			
- intersections - minor road: unmistakable right of way?			
o minor road is narrower than the main road			
o surface of the main road is of higher quality than the minor road			
o lay-out of main and minor road are not similar			
o minor road's surface is clearly distinguishable from the main road's surface			
Perception and visibility total			
6-Seconds Rule total			

Seite 1

Part II: Field of View - Rule**1. Density of the field of view****- monotonous approaching section / surroundings of road avoided?**

- o diversified planting (e.g. variation in height, distance, kind and colour of plants ...)
- o good light contrast and good colour contrast in the environment (especially at night)
- o road environment well structured (e.g. by fixation objects that attract drivers attention, but do not distract)

- Long/far visible approaching sections before critical locations avoided?

- o road environment well structured (e.g. by fixation objects that guide drivers attention, but do not distract)
- o road environment well structured (e.g. by sinuous, "rhythmic"/winding alignment)

Density of the field of view total**2. Fixation objects in the lateral roadside environment support optimal lane-keeping****- structures over the road support optimal lane-keeping?**

- o equal height
- o symmetrical
- o parallel; angle of skew less than 15° from perpendicular

- eye-catching objects do not disturb lane-keeping?

- o eye catching objects do not 'disrupt' the continuity of lateral guidance clues
- o eye catching objects are symmetrical with road's centre-line
- o view axis to eye-catching objects aligns with the road axis

- illusion-free optical guidance supports optimal lane-keeping?

- o lateral guidance clues/orientation lines are parallel
- o lateral guidance clues/orientation lines are consistently spaced + equally sized
- o lateral guidance clues/orientation lines are unambiguous

- carriageway width reductions are well delineated (e.g. control devices, markings, posts,**- roadside objects appear to be vertically?)****- optical framing of curves supports lane-keeping?**

- o lateral optical guidance-frame of the outer curve is parallel
- o there are no gaps in the lateral guidance-frame in the outer curve (curve alignment markers, continuous planting, ...)
- o no obstructions to overview the inner curve
- o edge line markings in outer and inner curve are visible

Lateral roadside clues support lane-keeping total**3. Depth of field of view****- dominant eye-catching objects support lane-keeping and detection of critical locations?**

- o view axis to eye-catching objects aligns with the road axis
- o eye-catching objects guide the view to critical locations

- optical illusion avoided?

- o distance illusion avoided (e.g. illusions by non-parallel safety barriers, plantings, or other non-parallel orientation lines, ...)
- o perspective illusion avoided (e.g. illusions by safety barriers that cover parts of the lane)
- o curve illusion avoided in both day and night conditions (e.g. sharp curves not co located with vertical curves, lateral guidance in the outer curve is parallel)
- o at night: signs don't give wrong expectation of curve direction
- o estimation of speed and distances supported by reference cues

- course of the road clearly visible?

- o driver provided with a good optical guidance of the road that is consistent with his expectations
- o sufficient overtaking opportunities in the last 10-15 minutes

	v (km/h)	length min (m)	length cum. (m)
o overtaking road sections have sufficient visibility			
o bridges and crests visible at least 6 sec. ahead to the braking section	0	0	0

Depth of field of view total**Field of View - Rule total**

Part III: Logic Rule			
1. Change of road's function supported by change in design and change of optical characteristics (e.g. town entrance)			
- visual clues reinforce changed road function?			
o by changed road surface characteristics (kerbstones, colour of pavement, ...)			
o by changed roadside characteristics (planting, pavement, sidewalk, footpath, ...)			
- eye-catching objects used to reinforce the change (e.g. by signs, guiding objects, optical breaks ...)?	v (km/h)	length min (m)	length cum. (m)
- transition zone adequate?	0	0	0
Change of Function total			
2. Change of road's direction supported by a dominant eye-catching guidance (e.g. city by-pass dilemma)			
- new road layout visible + clearly perceived?			
- eye-catching objects are used to focus attention to the changed alignment (e.g. by traffic signs, objects, plants, ...)?			
- transition zone adequate?			
- there are no misleading eye-catchers along the old road alignment? (if so, they are addressed by planted embankments, placement of fixation objects, ...)			
change of road's direction total			
3. Effect of pre-programmed habits and expectations			
- requirement for a new driving programme is recognised?			
- changes introduced to 're-programme' driving habits and expectations?			
o by change of alignment (e.g. roundabouts, curved approaches, median entry			
o by adequate transition zone with anticipation and response section at minimum			
o by ensuring that the modified road arrangement and alignment are clearly visible			
o by ensuring visibility of the modified traffic control devices			
- road alignment conforms with drivers expectations?			
o road alignment is consistent (ratio radius/radius of curves + radius/straight ahead			
o inconsistency of radii of sequential curves is avoided			
o unexpected curve alignment is avoided (e.g. compound curve with multiple reducing/changing radii)			
- transition zones + critical locations: visible, understandable, progressively introduced?			
o visible (at least 4-6 seconds ahead)			
o if visible, the driver has a good overview			
o clues and instructions are understandable			
o clues and instructions are progressively implemented			
Effect of pre-programmed habits and expectations total			
4. Sudden increase of decision needs and overload of information processing capabilities (e.g. multiple critical locations)			
- multiple critical locations avoided?			
- all critical locations are visible?			
- overload of information processing avoided?			
- not more than 3 decisions are necessary at the same time in one driving situation?			
- driver progressively informed of multiple critical locations?			
- adaption time after tunnels = 4-6 second to the next critical location?			
Multiple critical locations / overload of information processing capacity total			
5. Deficiencies in traffic control devices			
- traffic control devices visible against background (size, contrast, brightness)			
- traffic control devices appropriate for the road characteristics?			
- traffic control devices in accordance with drivers expectation?			
- pictograms and letters readable + understandable?			
- road alignment consistent with the traffic control devices?			
Deficiencies in traffic control devices total			
Logic Rule total			
All three Rules in total			

ANEXO 5

CÁLCULO DE LOS FACTORES HUMANOS - PUNTUACIÓN DE EVALUACIÓN (SCORE_HF)

El Factor Humano - Puntuación de Evaluación (Score_HF) fue desarrollado y validado en varios años para identificar las causas y medidas correctivas de accidentes técnicamente inexplicables. Con la ayuda de fotos de alta calidad de la carretera y sus bordes en pasos de 50 m se pueden evaluar los elementos relevantes de un tramo de carretera. Se pueden calcular tres subpuntuaciones y sumarlas a una puntuación de evaluación de factores humanos (Score_HF). La puntuación es un predictor fiable de la probabilidad de accidente del tramo de carretera evaluado.

En un estudio sobre las autopistas holandesas, la mayor contribución provino de los déficits del campo de visión. Las colisiones se producen antes en lugares con una puntuación total baja o en combinación con una subpuntuación baja "Campo de visión". Esto indica que existen déficits notables en la estabilización y el guiado de los conductores, así como problemas con las ilusiones ópticas. Este resultado obliga a incluir el Método de los Factores Humanos en la educación y formación profesional de ingenieros de carreteras, diseñadores de carreteras y especialistas en seguridad vial.

Los elementos de la "Herramienta de evaluación de factores humanos para la interfaz hombre-carretera 2017" cubren una amplia gama de aplicaciones para muchos tipos diferentes de situaciones de carretera. Hay partes que son relevantes sólo para los cruces; otras son relevantes sólo para las curvas, otras para las intersecciones, los tramos rectos y así sucesivamente.

Por eso, la aplicación debe adaptarse a cada lugar.

Procedimiento

1) Adaptar la Herramienta de Evaluación de Factores Humanos a los ítems relevantes de un lugar.

anotar en la columna "Punto*" si ese único punto es pertinente para el tramo de carretera que debe evaluarse

si la partida es pertinente, la nota "1".

si no es pertinente, la nota "0".

ejemplo: si desea evaluar una curva, todos los elementos de una intersección/cruce se pueden anotar con "0" si las curvas no se combinan con una intersección

Este procedimiento debe realizarse para cada elemento de la herramienta.

2) Juzgar sobre la base de las fotos, vídeos, dibujos y otros documentos disponibles o directamente durante la inspección in situ si se cumplen o no las exigencias de los Factores Humanos.

en pasos de 200 m desde una distancia de 5.000 m por delante del lugar del accidente

en pasos de 100m desde una distancia de 1.500m - 500m por delante del lugar del accidente

en 50m desde una distancia de 500m - 0m por delante de la ubicación
 si es necesario, acortar las distancias de acuerdo con la situación y las necesidades para garantizar una impresión continua de la Gestalt de la carretera
 si se evalúa una sección más larga de la red, entonces se examina el cumplimiento de los Factores Humanos exige todos los 100m-200m; se acorta la distancia y se profundiza más en caso de que se encuentre alguna conspicuidad.

3) Observe el resultado

anotar en la columna "Valor Actual" el valor "1" si se satisface la demanda de Factores Humanos
 anotar en la columna "Valor Actual" el valor "0" si no se satisface la demanda de Factores Humanos; este voto hay que darlo aunque se satisfaga parcialmente la demanda - por lo que el juicio tiene que ser estricto

Este procedimiento debe realizarse para cada elemento de la herramienta.

4) Resumir las demandas de Factores Humanos satisfechas para cada subclase y compararlas con la máxima suma de resultados posibles.

5) Transferir el resultado a un porcentaje para cada subclase de posiciones.

una **baja puntuación Score_HF < 39%** indica una alta probabilidad de accidente; es obligatorio tomar medidas correctivas eficaces

una **puntuación media de Score_HF entre el 40% y el 60%** indica una probabilidad media de accidente; se requieren medidas correctivas, pero no son obligatorias

una **puntuación alta en Score_HF > 61%** indica una baja probabilidad de accidente; son deseables medidas correctoras que ayuden a mejorar la seguridad

El Score_HF es una suma de decisiones dicotómicas si se cumplen o no las exigencias de los Factores Humanos. Luego se comparan con el máximo de resultados posibles y se transfieren a un porcentaje. Véase el siguiente ejemplo.

Ejemplo de adaptación de la Herramienta de Evaluación de HF y cálculo de la puntuación de la Evaluación de Factores Humanos para dos curvas y dos tramos rectos [12]

I. Resumen de los resultados del Score_HF para predecir las ubicaciones de accidentes y no accidentes

tramo recto	tramo recto	curvarse	curvarse
No 6, lugar del	No 7, no hay lugar	No 56, lugar del	No 57, no hay lugar

	accidente	del accidente	accidente	del accidente
I. Tiempo de reacción				
I.1 Transición	25	-	75	100
I.2 Percepción, visibilidad	50	-	63	75
I. Regla de 6 segundos	42	-	67	83
II. Campo de visión				
II.1 Densidad	0	80	40	40
II.2 Campo de visión lateral	29	100	0	60
II.3 Profundidad Campo de visión	0	83	0	75
II. Campo de visión	16	90	8	61
III. Lógica/Expectativas				
III.1 Cambio de función	-	-	-	-
III.2 Cambio de dirección	-	-	33	-
III.3 Hábitos/Expectativas	17	-	36	-
III.4 Decisiones múltiples	0	-	0	67
III.5 Firma	40	100	20	100
III. Lógica/Expectativas	20	100	27	88
Score_HF	23	92	26	72

Este ejemplo se ha extraído del estudio "Relationship between Human Factors and the likelihood of single-vehicle crashes on Dutch motorways" (Birth, S., Demgensky, B., Sieber, G. (2015). La investigación fue realizada para Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart. Está disponible si se pone en contacto con Paul Scheepers (paul.schepers@rws.nl).

Muestra claramente las diferencias tanto entre las subpuntuaciones como entre el porcentaje total de demandas de Factores Humanos cumplidas entre las ubicaciones de accidentes y las ubicaciones no accidentales.

En la siguiente parte encontrará ejemplos para la adaptación y la evaluación de ambos lugares del accidente, uno en una curva y el otro en un tramo recto. Las ligeras diferencias entre los puntos del ANEXO y del ANEXO se explican por el continuo desarrollo de la herramienta.

El ANEXO contiene la versión actualizada de 2017, mientras que el ANEXO contiene la versión de 2015.

Ejemplo 1: Adaptación y resultados de una curva [12]

Human Factors Man-Road-Interface-Exploration [®] 2015						
Road-Nr.: A73	Kilometer: 104.4	direction: right	Evaluator: S. Birth	Nr.56	Unfall: 27.5.10/ 11:26	Aufnahme: 6.9.12Cyclom, Aug09 GMaps
I. 6-Seconds-Rule: Give drivers enough time (4-6sec)				* Anzahl relevanter Merkmale: 1 = relevant, 0 = irrelevant		
1. Moderation of transitional area	v (km/h)	length min (m)	length cum. (m)	ACTUAL 1 = yes, 0 = no	TARGET 1 = relevant, - = irrelevant	%
- manoeuvre section exists	90	75	75	1	1	
- response section exists? (2-3sec)	90	75	150	1	1	
- anticipation section exists? (2-3sec)	90	75	225	1	1	
- advance warning section exists?	90	75	300	0	1	
Transition zone total				3	4	75
2. Perception and Visibility	v (km/h)	Range min (m)		Actual	Target	%
- critical location visible and clearly identifiable						
o each critical location obvious and visible (crossings, driveways, road bends, bus/tram stops, ...)				1	1	
o Visibility is not restricted by plants, buildings, traffic signs, control devices, roadside equipment ...)				1	1	
o roadside equipment and traffic control devices are clearly visible (traffic signs and signals, markings, safety barriers)				0	1	
o day: luminance of surface/traffic signs sufficient				1	1	
o night: lightning and luminance of surface/traffic signs sufficient, retro-reflection of signs and markings is sufficient				0	0	
- curves are visible						
o curves are visible (at least 6 sec. ahead to the braking section)				1	1	
o curve is not on/behind a crest				1	1	
o shoulder and marking of the outer curve are visible				0	1	
o visibility on the inner curve is not restricted				0	1	
-intersection - visibility triangle from minor road is not obstructed?						
o priority traffic is visible for at least 6 sec. ahead	90	225		0	0	
o intersection is not on or behind a crest				0	0	
o intersection is better in a sag than on a crest in a hilly terrain				0	0	
o intersection is not in or after a curve				0	0	
-intersections - minor road: unmistakable right of way?						
o minor road is narrower than the main road				0	0	
o surface of the main road is of higher quality than the minor road				0	0	
o lay-out of main and minor road are not similar				0	0	
o minor road's surface is clearly distinguishable from the main road's surface (e.g. colour variations or different paving material)				0	0	
Perception and visibility total				5	8	63
6-Seconds Rule total				8	12	67

Class II - Field of View Rule		* Anzahl relevanter Merkmale: 1 = relevant, 0 = irrelevant		
		Actual	Target	%
1. Density of the field of view				
- monotonous approaching section / surroundings of road avoided?				
o diversified planting (variation in height, distance, ...)		0	1	
o good light contrast and good colour contrast in the environment (especially at night)		1	1	
o road environment well structured (e.g. by fixation objects that attract drivers attention, but do not distract)		0	1	
- Long/far visible approaching sections before critical locations avoided?				
o road environment well structured (e.g. by fixation objects that guide drivers attention, but do not distract)		0	1	
o road environment well structured (e.g. by sinuous "rhythmic" alignment)		0	1	
Density of the field of view total		1	5	20
2. Fixation objects in the lateral roadside environment support optimal lane-keeping		Actual	Target	%
- structures over the road support optimal lane-keeping?				
o equal height		0	1	
o symmetrical		0	1	
o view axis to eye-catching objects aligns with the road axis		0	1	
- eye-catching objects do not disturb lane-keeping?				
o eye catching objects do not 'disrupt' the continuity of lateral guidance clues		0	1	
o eye catching objects are symmetrical with road's centre-line		0	1	
o view axis to eye-catching objects aligns with the road axis		0	1	
- illusion-free optical guidance supports optimal lane-keeping?				
o lateral guidance clues/orientation lines are parallel		0	1	
o lateral guidance clues/orientation lines are consistently spaced + equally sized		0	1	
o lateral guidance clues/orientation lines are unambiguous		0	1	
- carriageway width reductions are well delineated (e.g. control devices, markings, posts)		0	1	
- roadside objects appear to be vertically?		0	1	
- optical framing of curves support lane-keeping?				
o lateral optical guidance-frame of the outer curve is parallel		0	1	
o there are no gaps in the lateral guidance-frame in the outer curve (curve alignment markers, continuous planting, ...)		0	1	
o no obstructions to overview the inner curve		1	1	
o edge line markings in outer and inner curve are visible		1	1	
Lateral roadside clues support lane-keeping total		2	16	13
3. Depth of field of view				
		v (km/h)	length min (m)	%
- dominant eye-catching objects support lane-keeping and detection of critical locations?				
o view axis to eye-catching objects aligns with the road axis		0	1	
o eye-catching objects guide the view to critical locations		0	1	
- optical illusion avoided?				
o distance illusion avoided (e.g. illusions by non-parallel safety barriers, plantings, or other non-parallel orientation lines, ...)		0	1	
o perspective illusion avoided (e.g. illusions by safety barriers that cover parts of the lane)		0	1	
o curve illusion avoided in both day and night conditions (e.g. sharp curves not co located with vertical curves, lateral guidance in the		0	1	
o at night: signs don't give wrong expectation of curve direction				
o estimation of speed and distances supported by reference cues		0	1	
- course of the road clearly visible?				
o driver provided with a good optical guidance of the road that is consistent with his expectations		0	1	
o sufficient overtaking opportunities in the last 10-15 minutes		0	0	
o overtaking road sections have sufficient visibility		0	0	
o bridges and crests visible at least 6 sec. ahead to the braking section	50	225		
Depth of field of view total		0	8	0
Field of View Rule total		3	28	11

Class III - Logic Rule		* Anzahl relevanter Merkmale 1 = relevant, 0 = irrelevant		
1. Change of road's function supported by change in design and change of optical characteristics (e.g. town entrance)		Actual	Target	%
- visual clues reinforce changed road function?				
o by changed road surface characteristics (kerbstones, colour, ...)		0	0	
o by changed roadside characteristics (planting, pavement, sidewalk, footpath, ...)		0	0	
- eye-catching objects used to reinforce the change (signs, objects, ...)?		0	0	
- transition zone adequate?		50	83	
Change of Function total		0	0	#DIV/0!
2. Change of road's direction supported by a dominant eye-catching guidance (e.g. city by-pass dilemma)		Actual	Target	%
- new road layout visible + clearly perceived?		0	0	
- eye-catching objects are used to focus attention to the changed alignment (traffic signs, objects, plants, ...)?		0	1	
- transition zone adequate?		1	1	
- there are no misleading eye-catchers along the old road alignment? (if so, they are addressed by planted embankments, placement of fixation objects, ...)		0	1	
change of road's direction total		1	3	33
3. Effect of pre-programmed habits and expectations		Actual	Target	%
- requirement for a new driving programme is recognised?		0	1	
- changes introduced to 're-programme' driving habits and expectations?				
o by change of alignment (e.g. roundabouts, curved approaches, median entry treatments...)		0	1	
o by adequate transition zone with anticipation and response section at minimum		0	1	
o by ensuring that the modified road arrangement and alignment beyond are clearly visible		1	1	
o by ensuring visibility of the modified traffic control devices		1	1	
- road alignment conforms with drivers expectations?				
o road alignment is consistent (ratio radius ↔ radius and radius ↔ straight ahead sections is appropriate)		0	1	
o inconsistency of radii of sequential curves is avoided		0	1	
o unexpected curve alignment is avoided (e.g. compound curve with multiple reducing/changing radii)		0	0	
- transition zones and critical locations: visible, understandable and progressively introduced?				
o visible (at least 4-6 seconds ahead)		1	1	
o if visible, the driver has a good overview		1	1	
o clues and instructions are understandable		0	1	
o clues and instructions are progressively implemented		0	1	
Effect of pre-programmed habits and expectations total		4	11	36
4. Sudden increase of decision needs and overload of information processing capabilities (e.g. multiple critical locations)		Actual	Target	%
- multiple critical locations avoided?		0	1	
- all critical locations are visible?		0	1	
- overload of information processing avoided?		0	1	
- not more than 3 decisions are necessary?		0	1	
- driver progressively informed of multiple critical locations?		0	1	
- adaption time after tunnels = 4-6 second to the next critical location? (no sharp bends, intersections, traffic signs, etc. directly after tunnels, if so: there is provided enough anticipation and response time)?		0	0	
Multiple critical locations / overload of information processing capacity total		0	5	0
5. Deficiencies in traffic control devices		Actual	Target	%
- traffic control devices visible against background (size, contrast, brightness)		0	1	
- traffic control devices appropriate for the road characteristics?		0	1	
- traffic control devices in accordance with drivers expectation?		0	1	
- pictogrammes and letters readable + understandable?		1	1	
- road alignment consistent with the traffic control devices?		0	1	
Deficiencies in traffic control devices total		1	5	20
Logic Rule total		6	24	25
All three Rules Total		17	64	27

Ejemplo 2: Adaptación y resultados para un tramo recto [12]

Human Factors Man-Road-Interface-Exploration [®] 2015						
Road-Nr.: A8		Kilometer: 5,1		direction: right	Evaluator: S. Birth	Nr.6
						Aufnahme: 6.9.12Cyclom, Aug09 GMaps
I. 6-Seconds-Rule: Give drivers enough time (4-6sec)				* Anzahl relevanter Merkmale: 1 = relevant, 0 = irrelevant		
1. Moderation of transitional area	v (km/h)	length min (m)	length cum. (m)	ACTUAL 1 = yes, 0 = no	TARGET 1 = relevant, 0 = irrelevant	%
- manoeuvre section exists	90	75	75	1	1	
- response section exists? (2-3sec)	90	75	150	0	1	
- anticipation section exists? (2-3sec)	90	75	225	0	1	
- advance warning section exists?	90	75	300	0	1	
Transition zone total				1	4	25
2. Perception and Visibility	Länge v (km/h); min (m)			Actual	Target	%
- critical location visible and clearly identifiable						
o each critical location obvious and visible (crossings, driveways, road bends, bus/tram stops, ...)				0	1	
o Visibility is not restricted by plants, buildings, traffic signs, control devices, roadside equipment ...)				1	1	
o roadside equipment and traffic control devices are clearly visible (traffic signs and signals, markings, safety barriers)				1	1	
o day: luminance of surface/traffic signs sufficient				1	1	
o night: lightning and luminance of surface/traffic signs sufficient, retro-reflection of signs and markings is sufficient				0	0	
- curves are visible						
o curves are visible (at least 6 sec. ahead to the braking section)				0	1	
o curve is not on/behind a crest				0	1	
o shoulder and marking of the outer curve are visible				1	1	
o visibility on the inner curve is not restricted				0	1	
-intersection - visibility triangle from minor road is not obstructed?						
o priority traffic is visible for at least 6 sec. ahead				90	225	0
o intersection is not on or behind a crest						0
o intersection is better in a sag than on a crest in a hilly terrain						0
o intersection is not in or after a curve						0
-intersections - minor road: unmistakable right of way?						
o minor road is narrower than the main road						0
o surface of the main road is of higher quality than the minor road						0
o lay-out of main and minor road are not similar						0
o minor road's surface is clearly distinguishable from the main road's surface (e.g. colour variations or different paving material)						0
Perception and visibility total				4	8	50
6-Seconds Rule total				5	12	42

Class II - Field of View Rule		* Anzahl relevanter Merkmale: 1 = relevant, 0 = irrelevant		
1. Density of the field of view		Actual	Target	%
- monotonous approaching section / surroundings of road avoided?				
o diversified planting (variation in height, distance, ...)		0	1	
o good light contrast and good colour contrast in the environment (especially at night)		0	1	
o road environment well structured (e.g. by fixation objects that attract drivers attention, but do not distract)		0	1	
- Long/far visible approaching sections before critical locations avoided?				
o road environment well structured (e.g. by fixation objects that guide drivers attention, but do not distract)		0	1	
o road environment well structured (e.g. by sinuous 'rhythmic' alignment)		0	1	
Density of the field of view total		0	5	0
2. Fixation objects in the lateral roadside environment support optimal lane-keeping		Actual	Target	%
- structures over the road support optimal lane-keeping?				
o equal height		1	1	
o symmetrical		1	1	
o view axis to eye-catching objects aligns with the road axis		1	1	
- eye-catching objects do not disturb lane-keeping?				
o eye catching objects do not 'disrupt' the continuity of lateral guidance clues		0	1	
o eye catching objects are symmetrical with road's centre-line		0	1	
o view axis to eye-catching objects aligns with the road axis		0	1	
- illusion-free optical guidance supports optimal lane-keeping?				
o lateral guidance clues/orientation lines are parallel		0	1	
o lateral guidance clues/orientation lines are consistently spaced + equally sized		0	1	
o lateral guidance clues/orientation lines are unambiguous		0	1	
- carriageway width reductions are well delineated (e.g. control devices, markings, posts)		0	1	
- roadside objects appear to be vertically?		0	1	
- optical framing of curves support lane-keeping?				
o lateral optical guidance-frame of the outer curve is parallel		0	1	
o there are no gaps in the lateral guidance-frame in the outer curve (curve alignment markers, continuous planting, ...)		0	1	
o no obstructions to overview the inner curve		1	1	
o edge line markings in outer and inner curve are visible		1	1	
Lateral roadside clues support lane-keeping total		5	15	33
3. Depth of field of view		Actual	Target	%
- dominant eye-catching objects support lane-keeping and detection of critical locations?				
o view axis to eye-catching objects aligns with the road axis		0	1	
o eye-catching objects guide the view to critical locations		0	1	
- optical illusion avoided?				
o distance illusion avoided (e.g. illusions by non-parallel safety barriers, plantings, or other non-parallel orientation lines, ...)		0	1	
o perspective illusion avoided (e.g. illusions by safety barriers that cover parts of the lane)		0	1	
o curve illusion avoided in both day and night conditions (e.g. sharp curves not co located with vertical curves, lateral guidance in the		0	1	
o at night: signs don't give wrong expectation of curve direction				
o estimation of speed and distances supported by reference cues		0	1	
- course of the road clearly visible?				
o driver provided with a good optical guidance of the road that is consistent with his expectations		0	1	
o sufficient overtaking opportunities in the last 10-15 minutes		0	0	
o overtaking road sections have sufficient visibility		0	0	
o bridges and crests visible at least 6 sec. ahead to the braking section		0	0	
		50	225	
Depth of field of view total		0	7	0
Field of View Rule total		5	27	19

Class III - Logic Rule		* Anzahl relevanter Merkmale: 1 = relevant, 0 = irrelevant		
1. Change of road's function supported by change in design and change of optical characteristics (e.g. town entrance)		Actual	Target	%
- visual clues reinforce changed road function?				
o by changed road surface characteristics (kerbstones, colour, ...)		0	0	
o by changed roadside characteristics (planting, pavement, sidewalk, footpath, ...)		0	0	
- eye-catching objects used to reinforce the change (signs, objects, ...)?		0	0	
- transition zone adequate?		50	83	
Change of Function total		0	0	#DIV/0!
2. Change of road's direction supported by a dominant eye-catching guidance (e.g. city by-pass dilemma)		Actual	Target	%
- new road layout visible + clearly perceived?		0	0	
- eye-catching objects are used to focus attention to the changed alignment (traffic signs, objects, plants, ...)?		0	1	
- transition zone adequate?		1	1	
- there are no misleading eye-catchers along the old road alignment? (if so, they are addressed by planted embankments, placement of fixation objects, ...)		0	1	
change of road's direction total		1	3	33
3. Effect of pre-programmed habits and expectations		Actual	Target	%
- requirement for a new driving programme is recognised?		0	1	
- changes introduced to 're-programme' driving habits and expectations?				
o by change of alignment (e.g. roundabouts, curved approaches, median entry treatments...)		0	1	
o by adequate transition zone with anticipation and response section at minimum		0	1	
o by ensuring that the modified road arrangement and alignment beyond are clearly visible		1	1	
o by ensuring visibility of the modified traffic control devices		1	1	
- road alignment conforms with drivers expectations?				
o road alignment is consistent (ratio radius ↔ radius and radius ↔ straight ahead sections is appropriate)		0	1	
o inconsistency of radii of sequential curves is avoided		0	1	
o unexpected curve alignment is avoided (e.g. compound curve with multiple reducing/changing radii)		0	0	
- transition zones and critical locations: visible, understandable and progressively introduced?				
o visible (at least 4-6 seconds ahead)		1	1	
o if visible, the driver has a good overview		1	1	
o clues and instructions are understandable		0	1	
o clues and instructions are progressively implemented		0	1	
Effect of pre-programmed habits and expectations total		4	11	36
4. Sudden increase of decision needs and overload of information processing capabilities (e.g. multiple critical locations)		Actual	Target	%
- multiple critical locations avoided?		0	1	
- all critical locations are visible?		0	1	
- overload of information processing avoided?		0	1	
- not more than 3 decisions are necessary?		0	1	
- driver progressively informed of multiple critical locations?		0	1	
- adaption time after tunnels = 4-6 second to the next critical location? (no sharp bends, intersections, traffic signs, etc. directly after tunnels, if so: there is provided enough anticipation and response time)?		0	0	
Multiple critical locations / overload of information processing capacity total		0	5	0
5. Deficiencies in traffic control devices		Actual	Target	%
- traffic control devices visible against background (size, contrast, brightness)		0	1	
- traffic control devices appropriate for the road characteristics?		0	1	
- traffic control devices in accordance with drivers expectation?		0	1	
- pictogrammes and letters readable + understandable?		1	1	
- road alignment consistent with the traffic control devices?		0	1	
Deficiencies in traffic control devices total		1	6	20
Logic Rule total		6	24	25
All three Rules Total		17	64	27

ANEXO 6

GLOSARIO

Acrónimo	Nombre	Definición
BSI	Identificación de puntos negros	Proceso de identificación de los emplazamientos, junto con los datos de volumen de tráfico, en los que la probabilidad de accidentes es significativamente superior a la media [28]
BSM	Gestión de los puntos negros	Sistemas de identificación, análisis y tratamiento de las zonas peligrosas de las carreteras [11]
Gestalt	Gestalt	
HACS	Secciones de alta concentración de accidentes	Tramos de la red viaria que llevan más de tres años en funcionamiento y en los que se ha producido un gran número de accidentes mortales en proporción al flujo de tráfico [3]
HF	Factores humanos	<p>Los factores humanos son límites psicológicos y fisiológicos estables que influyen en el rendimiento y la seguridad de los sistemas técnicos utilizados por los seres humanos. Es un término científico bien establecido en la comunidad de la seguridad</p> <p>En la interacción hombre-máquina: Los factores humanos se definen como aquellos valores límite psicológicos y fisiológicos que se comprueba que contribuyen a errores de funcionamiento en el manejo de máquinas y vehículos [4]</p>
HIC	Países de renta alta (HIC)	Las economías de altos ingresos (países) son aquellas con un INB (Ingreso Nacional Bruto) per cápita de 12.056 dólares o más [29]
PRM	Países de renta baja y media (PRMB)	Las economías de ingresos bajos y medios (países) son aquellas con un INB (ingreso nacional bruto) per cápita inferior a 12.056 dólares [29]
NSM	Gestión de la seguridad de la red	Es un procedimiento que permite determinar dónde se requieren mejoras en la red de carreteras debido a déficits de seguridad (muchos/graves accidentes de tráfico). El resultado del análisis de seguridad proporciona un aislamiento importante de las posibles deficiencias en el diseño, trazado o condición de las carreteras y, por lo tanto, complementa las consideraciones sobre el diseño de la red de carreteras con respecto al objetivo de la planificación regional, medioambiental y de transporte [28]

SERVICIO NACIONAL DE SEGURIDAD	Revisión de seguridad de la red	El cribado de la red es un proceso en el que se analizan estadísticamente las variaciones en el número de accidentes o posibles accidentes en los diferentes tramos de una red de carreteras. El objetivo del cribado de la red es identificar los tramos de carretera que presentan deficiencias de seguridad, ya sea en forma de un número anormalmente elevado de accidentes, de un elevado porcentaje de accidentes graves o de un elevado porcentaje de un tipo particular de accidente (véase el capítulo6).
SA	Secciones peligrosas	Tramos caracterizados por la característica de dar a los usuarios de la carretera estímulos engañosos que pueden causar accidentes. Los sistemas armonizados pueden identificarse realizando inspecciones especiales in situ, que se han denominado "Road Safety Evaluations based on Human Factors" (RSE_HF), que surgen al lado e integran el conocido procedimiento de Inspección de Seguridad Vial (RSI) (véase el capítulo 3).
RNSR	Clasificación de la seguridad de la red de carreteras	Significa un método para identificar, analizar y clasificar partes de la red de carreteras existente en función de su potencial de desarrollo de la seguridad y de ahorro de costes en caso de accidente [3]
RSA	Auditoría(s) de seguridad vial	Se entenderá por "auditoría de seguridad vial" un control independiente, detallado, sistemático y técnico de la seguridad relativo a las características de diseño de un proyecto de infraestructura viaria, que abarque todas las fases, desde la planificación hasta la explotación inicial [3]
RSI	Inspección(es) de Seguridad Vial	Por "inspección de seguridad" se entiende una verificación periódica ordinaria de las características y defectos que requieren trabajos de mantenimiento por razones de seguridad [3]
RSE_HF	Evaluación(es) de la seguridad vial basada(s) en factores humanos	son inspecciones especiales de seguridad in situ destinadas a evaluar en qué medida el trazado de la carretera y su entorno tienen en cuenta las capacidades y límites humanos durante la conducción (véase el capítulo 3).



Derechos de autor por la Asociación Mundial de Carreteras. Todos los derechos reservados.

Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR)

La Grande Arche, Paroi Sud, 5e étage, F-92055 La Défense cedex

ISBN 978-2-84060-607-9