



***INFORME TÉCNICO RELATIVO AL
ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LOS
SISTEMAS DE SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA
DE MOTOCICLETAS Y DE AQUELLOS QUE SE
AÑADAN AL EQUIPAMIENTO DEL MOTORISTA***

INFORME FINAL

DESARROLLADO POR INSIA

(Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo)

PARA DGT

(Dirección General de Tráfico)

Madrid, marzo de 2021

TÍTULO: INFORME TÉCNICO RELATIVO AL ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA DE MOTOCICLETAS Y DE AQUELLOS QUE SE AÑADAN AL EQUIPAMIENTO DEL MOTORISTA (Expediente: 3DGT00000397)

REALIZADO POR: INSIA (Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo)

FINANCIADO POR: DGT (Dirección General de Tráfico)

FECHA: MARZO DE 2021

EQUIPO DE TRABAJO:

Director:

- PAÉZ AYUSO, Fco JAVIER. Subdirector de Formación y Difusión del INSIA

Investigadores:

- LOSADA ARIAS, ÁNGEL. Investigador del INSIA

CONTENIDOS:

La incorporación de dispositivos que mejoran las condiciones de seguridad de motocicletas ha tenido históricamente un retraso respecto a su implementación en vehículos automóviles. Esto ha estado motivado por razones tanto técnicas como económicas. Debido a ello, la normativa aplicable a dichas motocicletas y sus ocupantes se ha desarrollado de manera separada a la del resto de vehículos de carretera.

El objeto de este informe técnico ha consistido en la descripción de las características de funcionamiento de los principales sistemas de seguridad embarcados en las motocicletas (categoría L3e) y de aquellos que se añaden al equipamiento del motorista.

Posteriormente se ha llevado a cabo un análisis de la efectividad de estos sistemas desde el punto de vista de la reducción de accidentes y de la disminución de las lesiones de los ocupantes accidentados, a partir de la recopilación de la bibliografía científica disponible.

Dicho análisis se ha complementado con la revisión de la normativa que afecta a cada uno de estos sistemas.

Finalmente, se ha estimado la presencia en la flota actual de motocicletas del sistema de frenado antibloqueo ABS, así como la evolución de dicha presencia a lo largo de las dos últimas décadas (2000 - 2019), a partir de la información contenida en la base de datos de nuevas matriculaciones y bajas de la Dirección General de Tráfico relativa a estos vehículos.

El formato final para la difusión de este trabajo ha constado de un informe, conteniendo las principales conclusiones y recomendaciones, y de un conjunto de fichas resumen de cada uno de los sistemas contemplados en este estudio.

PALABRAS CLAVE:

Motocicletas, sistemas de seguridad, seguridad primaria, seguridad secundaria, seguridad terciaria, equipamiento de motorista, efectividad de sistemas, normativa

© DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO
EDITA: DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO

C/ Josefa Valcárcel nº 44
28027 MADRID

REALIZA: Observatorio Nacional de Seguridad Vial

NIPO: 128-21-019-3
ISSN: 2445-0219

Fotografía: Dirección General de Tráfico
Imprime: ESTUGRAF IMPRESORES, S.L.

Catálogo general de publicaciones oficiales: <http://publicacionesoficiales.boe.es/>

En esta publicación se ha utilizado papel reciclado libre de cloro de acuerdo con los criterios medioambientales de la contratación pública.

Índice de materias

- 11** 1. INTRODUCCIÓN
- 23** 2. OBJETIVOS
- 25** 3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD
 - 3.1. Clasificación de los sistemas de seguridad
 - 3.2. Sistemas de seguridad de motocicletas
 - 3.2.1. Sistemas de protección primaria
 - 3.2.1.1. El neumático
 - 3.2.1.2. Circulación en curva de motocicletas
 - 3.2.1.3. Maniobra de frenado en motocicletas
 - 3.2.1.4. Maniobra de tracción en motocicletas
 - 3.2.1.5. Sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS)
 - 3.2.1.6. Sistema de frenado antibloqueo (ABS)
 - 3.2.1.7. Sistema de frenado combinado (CBS)
 - 3.2.1.8. Sistema de control de tracción (TC)
 - 3.2.1.9. Sistema de frenado antibloqueo en curva (Cornering ABS)
 - 3.2.1.10. Sistema de control de estabilidad (MSC)
 - 3.2.1.11. Sistema de control adaptativo de velocidad (ACC)
 - 3.2.1.12. Sistema asistente de velocidad inteligente (ISA)
 - 3.2.1.13. Sistemas de ayuda al cambio de carril (LCDAS)
 - 3.2.1.14. Detector de ángulo muerto (BSD)
 - 3.2.1.15. Suspensión electrónica (ESA)
 - 3.2.2. Sistemas de protección secundaria
 - 3.2.2.1. Airbag
 - 3.2.3. Sistemas de protección terciaria
 - 3.2.3.1. Sistema e-Call
 - 3.3. Sistemas de seguridad de motoristas
 - 3.3.1. Sistemas de protección primaria
 - 3.3.1.1. Casco y ropa de protección
 - 3.3.2. Sistemas de protección secundaria
 - 3.3.2.1. Casco
 - 3.3.2.2. Chaquetas y pantalones

- 3.3.2.3. Protectores
- 3.3.2.4. Guantes
- 3.3.2.5. Botas
- 3.3.2.6. Airbag

- 3.4. El futuro de los sistemas de protección
 - 3.4.1. Proyecto SAFERIDER
 - 3.4.2. Connected Motorcycle Consortium (CMC)
 - 3.4.3. Sistema de frenada de emergencia autónoma para motocicletas (MAEB)

99 4. ANÁLISIS DE EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD

- 4.1. Sistemas de seguridad de motocicletas
 - 4.1.1. Sistemas de protección primaria
 - 4.1.1.1. Sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS)
 - 4.1.1.2. Sistema de frenado antibloqueo (ABS)
 - 4.1.1.3. Sistema de frenado combinado (CBS)
 - 4.1.1.4. Sistema de control de estabilidad (MSC)
 - 4.1.1.5. Sistema asistente de velocidad inteligente (ISA)
 - 4.1.2. Sistemas de protección secundaria
 - 4.1.2.1. Airbag
- 4.2. Sistemas de seguridad de motoristas
 - 4.2.1. Sistemas de protección primaria
 - 4.2.1.1. Casco y ropa de protección
 - 4.2.2. Sistemas de protección secundaria
 - 4.2.2.1. Casco
 - 4.2.2.2. Chaquetas y pantalones
 - 4.2.2.3. Protectores
 - 4.2.2.4. Guantes
 - 4.2.2.5. Botas
 - 4.2.2.6. Airbag
- 4.3. Resultados

133 5. RECOPIACIÓN DE LA NORMATIVA NACIONAL Y EUROPEA

- 5.1. Sistemas de seguridad de motocicletas
 - 5.1.1. Sistemas de protección primaria
 - 5.1.1.1. Sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS)
 - 5.1.1.2. Sistema de frenado antibloqueo (ABS)
 - 5.1.1.3. Sistema de frenado combinado (CBS)
 - 5.1.1.4. Sistema de control adaptativo de velocidad (ACC)
 - 5.1.1.5. Sistema asistente de velocidad inteligente (ISA)
 - 5.1.1.6. Sistemas de ayuda al cambio de carril (LCDAS)
- 5.2. Sistemas de seguridad de motoristas
 - 5.2.1. Sistemas de protección primaria

-
- 5.2.1.1. Casco y ropa de protección
 - 5.2.2. Sistemas de protección secundaria
 - 5.2.2.1. Casco
 - 5.2.2.2. Chaquetas y pantalones
 - 5.2.2.3. Protectores
 - 5.2.2.4. Guantes
 - 5.2.2.5. Botas
 - 5.2.2.6. Airbag

5.3. Resultados

- 193** 6. ESTUDIO DE PRESENCIA DEL SISTEMA ABS EN LA FLOTA ACTUAL DE ESTOS VEHÍCULOS
- 201** 7. FICHA RESUMEN DE SISTEMAS DE SEGURIDAD
- 233** 8. CONCLUSIONES
- 243** 9. RECOMENDACIONES
- 245** 10. REFERENCIAS

Resumen ejecutivo

La incorporación de dispositivos que mejoran las condiciones de seguridad de motocicletas ha tenido históricamente un retraso respecto a su implementación en vehículos automóviles. Esto ha estado motivado por razones tanto técnicas como económicas. Debido a ello, la normativa aplicable a dichas motocicletas y sus ocupantes se ha desarrollado de manera separada a la del resto de vehículos de carretera.

En este informe tienen la consideración de “motocicleta” aquellos vehículos que se incluyen dentro de la categoría L3e (vehículos de dos ruedas que no puedan clasificarse como ciclos o ciclomotores, según el Reglamento (UE) N° 168/2013). Los requisitos para la homologación de tipo de los vehículos de categoría L (vehículos de motor con dos o tres ruedas y cuadriciclos destinados a circular por carretera) están contenidos en el citado Reglamento (UE) N° 168/2013, aunque algunos de los sistemas actualmente embarcados en estos vehículos no están incluidos en dicho reglamento. Por otro lado, la ropa de protección utilizada por los motoristas está incluida en el Reglamento (UE) 2016/425 relativo a los equipos de protección individual, aunque los cascos y pantallas quedan excluidos del mismo ya que cuentan con el suyo propio (Reglamento CEPE/ONU 22R05).

La fase inicial de este informe técnico, financiado por la Dirección General de Tráfico (DGT), ha consistido en una revisión de las principales características de funcionamiento de los sistemas de seguridad embarcados en las motocicletas y de aquellos que se añaden al equipamiento del motorista, y que se encuentran actualmente en el mercado.

La gran mayoría de los sistemas embarcados en la motocicleta actúan durante la etapa de seguridad primaria o activa. Incluyen tanto los dispositivos que pueden evitar situaciones de emergencia (sistemas de control de la presión del neumático, de frenado combinado, de control adaptativo de velocidad, asistentes de velocidad inteligente, o de ayuda al cambio de carril), como aquellos que ayudan activamente al conductor a gestionar dichas situaciones de emergencia para que no se produzca un accidente (sistemas de frenado antibloqueo en recta y en curva, de control de tracción, o de control de estabilidad). Constituyen los sistemas más prometedores desde el punto de vista de la reducción de víctimas en accidentes de tráfico. A éstos también se añaden algún sistema de seguridad secundaria (airbag), y de seguridad terciaria (sistema eCall).

Por otro lado, la gran parte de los sistemas de seguridad del motorista intervienen durante la etapa de seguridad secundaria o pasiva, con el objetivo de reducir las consecuencias del accidente una vez que éste ha ocurrido. Son casco, chaqueta y pantalón, guantes, botas, protectores en articula-

ciones, espalda y pecho, o airbag. Algunos de estos sistemas también contribuyen a la seguridad primaria, mediante la mejora de la visibilidad del motorista.

Posteriormente se ha llevado a cabo un análisis de la efectividad de estos sistemas desde el punto de vista de la reducción de accidentes y de la disminución de las lesiones de los ocupantes accidentados, a partir de la recopilación de la bibliografía científica disponible. Junto a esto, se han examinado las investigaciones desarrolladas en más de 20 proyectos y consorcios internacionales, ejecutados durante los últimos 25 años.

Una de las maniobras críticas durante la conducción de motocicletas es la ejecución de una frenada severa, la cual entraña un riesgo mucho más elevado que en un vehículo automóvil. La efectividad de los sistemas avanzados de frenado (sistema de frenado antibloqueo ABS y sistema de frenado combinado CBS), ampliamente documentada mediante numerosos estudios científicos, ha justificado la obligatoriedad de montaje de estos sistemas en vehículos de la categoría L3e, la cual se estableció en el Reglamento (UE) N° 168/2013, para cualquier vehículo existente, a partir del 1 de enero de 2017.

La obligatoriedad de instalación de sistemas avanzados de frenado en la categoría L3e ha ayudado notablemente a la presencia masiva del sistema de frenado antibloqueo ABS en el parque de motocicletas. En el año 2019 este sistema estuvo disponible en el 24% de la flota de vehículos L3e, 21% como equipo de serie. Si la tendencia, iniciada en el año 2016, de incorporación masiva del sistema ABS en la flota de vehículos L3e se mantiene, en el año 2025 aproximadamente el 50% de la flota dispondría de este dispositivo de seguridad; siendo el 48% como equipo de serie.

Diversos estudios teórico-experimentales han concluido que la disminución de la presión en los neumáticos de la motocicleta respecto a la nominal empeora las condiciones de estabilidad de la misma. La obligatoriedad de montaje de los sistemas de control de la presión TPMS de los neumáticos en los vehículos de la categoría M₁ (vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, ocho plazas sentadas como máximo) debería extenderse a los vehículos de la categoría L, tomando en consideración evidencias de efectividad similares a las que justificaron su aplicación a dicha categoría M₁.

Numerosos estudios han concluido que la velocidad de circulación constituye una de las principales variables de influencia tanto en la ocurrencia de los accidentes como en la gravedad de los mismos. Los sistemas asistentes de velocidad inteligente ISA, como dispositivos que ayudan al conductor a mantener la velocidad adecuada al entorno de la vía proporcionándole información específica y adecuada, van a ser obligatorios en vehículos automóviles a partir del año 2022, pero no aplican actualmente a las motocicletas.

Otro de los sistemas embarcado en motocicletas recientemente es el sistema de control de estabilidad MSC. La efectividad del sistema MSC ha sido analizada por algunos autores. En el caso del resto de los sistemas de la motocicleta incorporados más recientemente (sistema de frenado antibloqueo en curva Cornering ABS, sistema de control adaptativo de velocidad ACC, sistema de ayuda al cambio de carril LCDAS, detector de ángulo muerto BSD o suspensión electrónica ESA) no se han encontrado todavía evidencias científicas de dicha efectividad, lo cual no invalida a priori su interés para la disminución de los accidentes.

Tomando en consideración la efectividad estimada de algunos de los sistemas embarcados en la motocicleta, debería evaluarse la obligatoriedad de su instalación. Asimismo, en el caso de la homo-

logación de los sistemas avanzados de frenado y debido a que la maniobra de frenado resulta especialmente crítica en el caso de circulación en curva de estos vehículos, debería evaluarse la idoneidad de incorporar requisitos de seguridad funcional adicionales que tengan en cuenta dicha maniobra de frenado en curva, y que permitan la evaluación del comportamiento de los sistemas de frenado antibloqueo en curva y de los sistemas de control de estabilidad.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que una parte de dicha efectividad está condicionada por la formación de que disponga el motorista sobre su funcionamiento y utilización. Existe una gran variedad de tecnologías disponibles, y la actuación del motorista debe ser adecuada a cada una de ellas. Debido a ello, es indispensable formar correctamente a los motoristas sobre el uso de dichos sistemas. Esto ayudaría notablemente a que dichos conductores tomaran conciencia de los posibles riesgos que pueden encontrarse en la carretera con el fin de evitarlos o controlarlos, y ejecutar las maniobras de emergencia con la confianza requerida.

Por otro lado, ha quedado documentada mediante numerosos estudios científicos la efectividad de los sistemas de seguridad del motorista (casco, chaqueta y pantalón, guantes, botas, protectores en articulaciones, espalda y pecho, o airbag) para la reducción de las lesiones en los ocupantes de las motocicletas accidentadas. Debido a dicha efectividad, debería evaluarse la obligatoriedad del uso de cada uno de estos dispositivos.

Junto a lo anterior, el casco contribuye significativamente a la visibilidad del motorista por otros usuarios de la vía, por lo que desempeña un papel muy relevante en la reducción del riesgo de ocurrencia de accidentes con implicación de motocicletas. Algunos estudios concluyeron que el uso de chaleco reflectante y casco con colores brillantes fue efectivo en la mejora de la identificación de dichas motocicletas.

Esta efectividad está recogida en el Reglamento CEPE/ONU 22R05, el cual contiene especificaciones relativas al mercado de visibilidad de los cascos. Dicho mercado es de obligado cumplimiento en algunos países, como Francia, pero no en España, por lo que debería evaluarse la obligatoriedad de uso de dicho mercado.

Finalmente, una parte significativa de las lesiones en el cuello de los ocupantes de las motocicletas accidentadas es debida a cargas indirectas. A pesar de la disponibilidad en el mercado de dispositivos protectores del cuello, no existe ninguna norma cuyos requisitos sean aplicables a estos dispositivos. Debido a la importancia de estas lesiones, debería promoverse el desarrollo de una norma conteniendo requisitos que regulen dichos elementos de protección.

1

Introducción

El presente informe, financiado por la Dirección General de Tráfico (DGT), se centra fundamentalmente en el análisis de los sistemas de seguridad embarcados en las motocicletas y los equipos de protección individual utilizados por los motoristas. Según se recoge en el documento “La motocicleta ([1])” publicado por la Dirección General de Tráfico, se trata de: *“un vehículo de dos ruedas impulsado por un motor; el cuadro y las ruedas constituyen la estructura fundamental del vehículo; la rueda directriz es la delantera y la rueda motriz es la trasera”*.

Los requisitos administrativos y técnicos para la homologación de tipo de todos los nuevos vehículos, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes, para los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos que se clasifican como vehículos de categoría L y que están destinados a circular en vías públicas, están contenidos en el Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]).

La ropa de protección utilizada por los motoristas está incluida en el Reglamento (UE) 2016/425 relativo a los equipos de protección individual (EPI, [3]). Los cascos y pantallas quedan excluidos de este Reglamento ya que cuentan con el suyo propio (Reglamento CEPE/ONU 22R05 [4]).

En algunos de los sistemas presentados, serán tomados como referencia los requisitos contenidos en el Reglamento (UE) N° 661/2009 ([5]) relativo a los requisitos de homologación de tipo referentes a la seguridad general de los vehículos de motor; sus remolques y sistemas, componentes y unidades técnicas independientes a ellos destinados, así como el Reglamento (UE) N° 2019/2144 ([6]) que lo derogará a partir del año 2022.

Los requisitos de los Reglamentos (UE) N° 661/2009 y N° 2019/2144 no aplican actualmente a las motocicletas, pero serán comentados durante el presente informe en el caso de aquellos sistemas de seguridad no incluidos en el Reglamento (UE) N° 168/2013. En concreto, el Reglamento (UE) N° 2019/2144 incluye la obligatoriedad de numerosos sistemas de seguridad primaria, como son: los sistemas avanzados de frenado de emergencia, los asistentes de velocidad inteligentes, los sistemas de emergencia de mantenimiento del carril, los sistemas de advertencia de somnolencia y pérdida de atención del conductor; los sistemas avanzados de advertencia de distracciones del conductor y el detector de marcha atrás son sistemas de seguridad que tienen un elevado potencial de reducción de las cifras de víctimas de accidentes.

En este informe tienen la consideración de “**motocicleta**” aquellos vehículos que se incluyen dentro de la **categoría L3e**, según se define en el Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]). Confor-

me a dicho Reglamento, los vehículos de motor de dos o tres ruedas, gemelas o no, y cuadriciclos, destinados a circular por carretera, se subdividen en las siguientes categorías:

- **Categoría L1e:** vehículo de motor de dos ruedas ligero (ciclos y ciclomotores), vehículos de dos ruedas, con una velocidad máxima por construcción no superior a 45 km/h, y caracterizados por un motor:
 - o de cilindrada inferior o igual a 50 cm³, si es de combustión interna de encendido por chispa,
 - o con una potencia nominal o neta continua máxima inferior o igual a 4 kW.
- **Categoría L2e:** ciclomotores de tres ruedas, vehículos de tres ruedas, con una velocidad máxima por construcción no superior a 45 km/h, y caracterizados por un motor:
 - o cuya cilindrada sea inferior o igual a 50 cm³ para los motores de combustión interna de encendido por chispa o cilindrada ≤ 500 cm³ si un motor de combustión interna de encendido por compresión,
 - o cuya potencia nominal o neta continua máxima sea inferior o igual a 4 kW,
 - o cuya masa en orden de marcha < 270 kg.
- **Categoría L3e:** motocicletas de dos ruedas, vehículos de dos ruedas que no puedan clasificarse como vehículos de la categoría L1e. Se distinguen las siguientes subcategorías (Directiva 2006/126/CE [7]):
 - o L3e-A1 (motocicleta de prestaciones bajas): motocicletas cuya cilindrada máxima sea de 125 cm³, la potencia máxima de 11 kW y su relación potencia/peso máxima de 0.1 kW/kg.
 - o L3e-A2 (motocicleta de prestaciones medias): motocicletas con una potencia máxima de 35 kW y una relación potencia/peso máxima de 0.2 kW/kg y no derivadas de un vehículo con más del doble de su potencia.
 - o L3e-A3 (motocicleta de prestaciones altas): cualquier otro vehículo de categoría L3e que no pueda clasificarse con arreglo a los criterios de clasificación de los vehículos L3e-A1 o L3e-A2.
- **Criterios de subclasificación adicionales a los criterios de subclasificación de los vehículos L3e-A1, L3e-A2 o L3e-A3:**
 - o L3e-AxE (x = 1, 2 ó 3). Motocicleta enduro:
 - Altura del asiento ≥ 900 mm.
 - Distancia mínima al suelo ≥ 310 mm.
 - Relación de transmisión en la marcha superior (relación de transmisión primaria \times relación de transmisión secundaria a velocidad máxima \times relación de transmisión final) ≥ 6.0

- Masa en orden de marcha más la masa de las baterías de propulsión en caso de propulsión eléctrica o híbrida < 140 kg
- Ausencia de plaza de asiento para un segundo ocupante.
- o L3e-AxT (x = 1, 2 ó 3). Motocicleta trial:
 - Altura del asiento ≥ 700 mm
 - Distancia mínima al suelo ≥ 280 mm.
 - Capacidad del depósito de combustible ≤ 4 litros.
 - Relación de transmisión en la marcha superior (relación de transmisión primaria \times relación de transmisión secundaria a velocidad máxima \times relación de transmisión final) $\geq 7,5$
 - Masa en orden de marcha ≤ 100 kg.
 - Ausencia de plaza de asiento para un segundo ocupante.
- **Categoría L4e:** motocicletas de dos ruedas con sidecar, vehículo de motor básico equipado con un sidecar y que cumple los criterios de clasificación y subclasificación de los vehículos de la categoría L3e.
- **Categoría L5e:** triciclo de motor, vehículos con tres ruedas que no puedan clasificarse como vehículo L2e, y con una masa en orden de marcha < 1000 kg.
- **Categoría L6e:** cuatriciclos ligeros, vehículos de cuatro ruedas cuya masa en orden de marcha ≤ 425 kg, cuya velocidad máxima por construcción sea inferior o igual a 45 km/h:
 - o cuya cilindrada del motor sea inferior o igual a 50 cm³ para los motores de encendido por chispa o cilindrada ≤ 500 cm³ si dispone de un motor de encendido por compresión,
 - o cuya potencia nominal o neta continua máxima sea inferior o igual a 6 kW.
- **Categoría L7e:** cuatriciclo pesado, cuatriciclos distintos de los especificados en la categoría L6e, cuya masa en orden de marcha sea inferior o igual a 450 kg (600 kg para los vehículos destinados al transporte de mercancías), y con un motor cuya potencia nominal o neta continua máxima sea inferior o igual a 15 kW.

Aparte de esta clasificación según el Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]), existen en el mercado distintos tipos comerciales de vehículos de categoría L, algunos de los cuales se listan a continuación. Estos agrupamientos, como ocurre en el ámbito de los vehículos automóviles, presentan variabilidad según la procedencia de la clasificación.

Su clasificación puede venir dada en función de su utilización, distinguiendo básicamente tres usos: motocicletas de campo, motocicletas Trail (uso mixto campo - carretera) y motocicletas de carretera.

Dentro de las motocicletas de campo, destinadas para uso por caminos, se puede diferenciar entre las de Cross, Enduro y Trial.

- Motocicleta de Cross. Motocicletas ligeras empleadas normalmente en terrenos fuera de asfalto. No suelen estar homologadas para circular por vías públicas. No disponen de elementos de iluminación, tienen una relación de cambios corta e incluyen suspensiones de gran recorrido (Figura 1).



Figura 1. Motocicleta de Cross Yamaha YZ450F

- Motocicleta de Enduro. Motocicletas también destinadas a uso por tierra, más pesadas que las anteriores, con suspensiones de gran recorrido. Están homologadas para circular por vías públicas, incorporando elementos como: retrovisores, faros, intermitentes y matrícula (Figura 2).

14



Figura 2. Motocicleta de Enduro KTM EXC ENDURO 2020

- Motocicleta de Trial. Motocicletas ligeras de altura reducida, que carecen prácticamente de asiento, ya que los pilotos suelen ir en pie sobre ellas para saltar y levantar ambas ruedas. La presión de inflado de los neumáticos de tacos es muy baja para aumentar la superficie de contacto. La caja de cambios tiene relaciones muy cortas (Figura 3).



Figura 3. Motocicleta de Trial TRRS GOLD 2020 / 2021

Las motocicletas Trail de uso mixto campo - carretera son de uso polivalente. Son altas, voluminosas y generalmente pesadas, con un buen comportamiento dinámico. Aunque las diferencias son, a veces, muy leves, se pueden distinguir:

- Motocicletas Trail asfálticas, con neumáticos de carretera (Figura 4).
- Motocicletas Trail convencionales, con neumáticos de tacos para uso por pistas (Figura 5).



Figura 4. Motocicleta de Trail asfáltica KTM 890 ADVENTURE



Figura 5. Motocicleta de Trail convencional BMW R 1200 GS

Las motocicletas de carretera se pueden diferenciar entre distintos grupos, algunos de los cuales podrían estar a su vez unidos, según las clasificaciones consideradas: Superdeportivas, Deportivas, Gran Turismo, Turismo, Sport Turismo, Naked, Retro, Scrambler, Supermotard, Custom y Scooter:

- Motocicletas Superdeportivas/Deportivas. Se incluyen: motocicletas tipo R (Racing), con carácter deportivo, diseñadas para un uso en circuito y un aspecto similar a las motos de competición tipo MotoGP o Superbikes; y motocicletas para uso por carretera con motor de altas prestaciones, un carenado completo, y posición de conducción deportiva (Figura 6).



Figura 6. Motocicleta Superdeportiva Honda CBR 1000 RR

- Motocicletas Gran Turismo/Turismo. Las motocicletas Turismo están destinadas a hacer largos recorridos por carretera. La posición de conducción es muy ergonómica, con grandes carenados que protegen del aire. Son motos grandes y pesadas, y con tanques de combustible de gran capacidad (Figura 7). Las Gran Turismo son similares a las Turismo, pero con carenados todavía más grandes, depósito de combustible de mayor capacidad y motores de mayores cilindradas (Figura 8).
- Motocicletas Sport Turismo. Estas motocicletas son la combinación de una motocicleta Deportiva y una Turismo. La posición de conducción es más cómoda que la de la Deportiva para recorrer largas distancias, y poseen mayor capacidad de equipaje que éstas. Por otro lado, las características mecánicas (motor, suspensión, frenos) están más próximas a la de las Deportivas (Figura 9).
- Motocicletas Naked. Son motocicletas desprovistas de carenado, con el motor a la vista y sin elementos que protejan del aire. Suelen presentar una configuración más próxima a las Deportivas (Figura 10).
- Motocicletas Retro (Café Racer). Son motocicletas también desprovistas de carenado, con tecnología actual, pero con apariencia de motos clásicas deportivas (Figura 11).
- Motocicletas Scrambler. Son motocicletas con mezcla de estilos, aptas para campo y carretera y con un diseño clásico. Tienen un mínimo carenado y una posición de conducción confortable (Figura 12).



Figura 7. Motocicleta Turismo DUCATI MULTISTRADA 1200 S Touring



Figura 8. Motocicleta Gran Turismo BMW K 1600 GTL.



Figura 9. Motocicleta Sport Turismo Yamaha FJR1300.



Figura 10. Motocicleta Naked BENELLI 752 SA2



Figura 11. Motocicleta Retro BMW R nine T Racer



Figura 12. Motocicleta Scrambler Ducati

-
- Motocicleta Supermotard. Esta motocicleta es la evolución de las motos de Enduro y Deportivas, y son una combinación de ambas. Suelen ser ligeras y con manejo deportivo (Figura 13).



Figura 13. Motocicleta Supermotard KTM 690 SMC R

- Motocicletas Custom. Son motocicletas que presentan un elevado grado de personalización respecto a una de serie. Dentro de este tipo se incluyen, en algunas ocasiones, distintas variantes de estilos: Cruiser, Bobber, Chopper, Dresser o Bagger, Street Fighter, entre otras.
- Motocicleta Scooter. Son motocicletas fundamentalmente urbanas, con un rango medio – bajo de motorización (normalmente, entre 50 a 650 cm³). Tienen un chasis totalmente carenado y disponen de mayor espacio interior para apoyar los pies, quedando éstos protegidos. Tienen cajas de velocidades automáticas o de transmisión continua variable, por lo que resultan fáciles en su manejo. Suelen tener ruedas más pequeñas que el resto de las motocicletas. Las de mayor cilindrada suelen ser denominadas Megascooter o Maxiscooter.



Figura 14. Motocicleta Maxiscooter Suzuki Burgman 650

Los métodos de evaluación de la efectividad de los sistemas de seguridad se basan habitualmente en la frecuencia de los accidentes de tráfico y en la información relativa a la gravedad de las lesiones de los motoristas implicados en dichos accidentes. La descripción detallada de dicha gravedad se ha basado en las últimas décadas en la propuesta de varias escalas, las cuales deben cumplir los requisitos comunes de ser precisas, fiables y reproducibles. En el ámbito de los accidentes de tráfico, una de las escalas más utilizada es la Abbreviated Injury Scale (AIS), diseñada a principios de la década de los 70 por la Association for Advancement of Automotive Medicine (AAAM) y la Society of Automotive Engineers (SAE) <https://www.aaam.org/abbreviated-injury-scale-ais/>.

La escala AIS ha mantenido un proceso continuo de mejora y actualización desde su creación. La versión consolidada más empleada en la última década ha sido la versión AIS 2005 actualizada al 2008. No obstante, la versión AIS 2015 está disponible desde el año 2017.

Con el objetivo de clasificar la gravedad de las lesiones desde el punto de vista de la regional corporal y el tipo de lesión, la escala AIS asigna, a cada lesión traumática por región corporal (Tabla 1), un nivel de gravedad entre 1 y 6 (Tabla 2).

Tabla 1. Clasificación de regiones corporales para la codificación de las lesiones según la escala AIS.

Código	Región corporal
1	Cabeza
2	Cara
3	Cuello
4	Tórax
5	Abdomen
6	Columna vertebral
7	Extremidades superiores
8	Extremidades inferiores
9	No especificado

Tabla 2. Niveles de gravedad de las lesiones según la escala AIS.

Nivel	Gravedad de la lesión
1	Menor
2	Moderada
3	Grave
4	Severa
5	Crítica
6	Máxima (incompatible con la vida)
9	Desconocido

Tomando como referencia el código AIS de cada una de las lesiones traumáticas de un ocupante accidentado, pueden calcularse dos parámetros de gravedad adicionales:

- MAIS (Maximum AIS): valor máximo de los códigos AIS de todas las lesiones. Este valor se determina para cada región corporal (Tabla 1) y para el ocupante accidentado.
- ISS (Injury Severity Score): suma de los cuadrados de las puntuaciones más altas de AIS de cada una de las 3 regiones corporales que han sufrido lesiones más graves.

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1)$$

En relación con los ensayos de impacto del casco (según Reglamento CEPE/ONU 22R05 [4]), uno de los parámetros calculado a partir de los registros de aceleración respecto al tiempo ($a(t)$) es el Head Injury Criterion (HIC). En esta ecuación t_1 y t_2 son dos instantes de tiempo para el cálculo.

2

Objetivos

El objeto de este informe técnico, financiado por la Dirección General de Tráfico (DGT), ha consistido en la descripción de las características de funcionamiento de los principales sistemas de seguridad embarcados en las motocicletas (categoría L3e) y de aquellos que se añaden al equipamiento del motorista.

Posteriormente se ha llevado a cabo un análisis de la efectividad de estos sistemas desde el punto de vista de la reducción de accidentes y de la disminución de las lesiones de los ocupantes accidentados, a partir de la recopilación de la bibliografía científica disponible.

Dicho análisis se ha complementado con la revisión de la normativa que afecta a cada uno de estos sistemas.

Finalmente, se ha estimado la presencia en la flota actual de motocicletas del sistema de frenado antibloqueo ABS, en sus versiones opcional/serie, así como la evolución de dicha presencia a lo largo de las dos últimas décadas (2000 - 2019), a partir de la información contenida en la base de datos de nuevas matriculaciones y bajas de la Dirección General de Tráfico relativa a estos vehículos.

El formato final para la difusión de este trabajo ha constado de un informe, conteniendo las principales conclusiones y recomendaciones, y de un conjunto de fichas resumen de cada uno de los sistemas contemplados en este estudio.

3

Descripción del funcionamiento de los sistemas de seguridad

3.1. Clasificación de los sistemas de seguridad

La seguridad vial constituye un fenómeno complejo, resultante de la combinación de distintos factores e interacciones entre las partes implicadas. Entre los factores, se incluyen: el comportamiento de los usuarios de la vía, la infraestructura, las normas del tráfico y su aplicación, la antigüedad y composición del parque de vehículos, el diseño de dichos vehículos, y un largo etcétera.

Al actuar sobre un único factor, pero descuidando los demás, es posible que no se alcancen los beneficios esperados. Por ello, hace años que se desarrolló el concepto de “**modelo integrado de seguridad**”. Esto implica que las iniciativas para la mejora de la seguridad vial deben contemplar tanto al vehículo como al conductor y a la infraestructura.

El presente informe está dirigido a los sistemas de seguridad embarcados en las motocicletas y a aquellos que se añadan al equipamiento del motorista. En este sentido, los sistemas de seguridad pueden ser clasificados como sigue:

- **Sistemas de seguridad primaria (preventivos, activos):** incluyen a los dispositivos que pueden evitar situaciones de emergencia o ayudar activamente al conductor a gestionar dichas situaciones para que no se produzca un accidente. En la actualidad, constituyen los sistemas más prometedores desde el punto de vista de la reducción de víctimas en accidentes de tráfico.
- **Sistemas de seguridad secundaria (pasivos):** aquellos dispositivos que reducen las consecuencias de un accidente, una vez que éste ha ocurrido. Constituyen un conjunto de sistemas que han experimentado una mejora continua en las últimas décadas, disminuyendo la gravedad de las lesiones de un elevado número de usuarios de la vía.
- **Sistemas de seguridad terciaria (pos-colisión):** se refieren a los dispositivos que contribuyen a mejorar la intervención de los servicios de emergencia que actúan después de la ocurrencia de un accidente.

La interacción entre los distintos sistemas se presenta en la siguiente figura (Figura 15), la cual corresponde al modelo de seguridad integrada de cinco fases de ACEA (Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles [8]). Los sistemas “Precrash” posibilitan la interacción entre algunos sistemas de seguridad primaria y secundaria, mejorando su comportamiento; por ejemplo, pueden llevar a cabo una preactivación de los sistemas de retención cuando el vehículo detecta que la colisión es prácticamente inevitable.

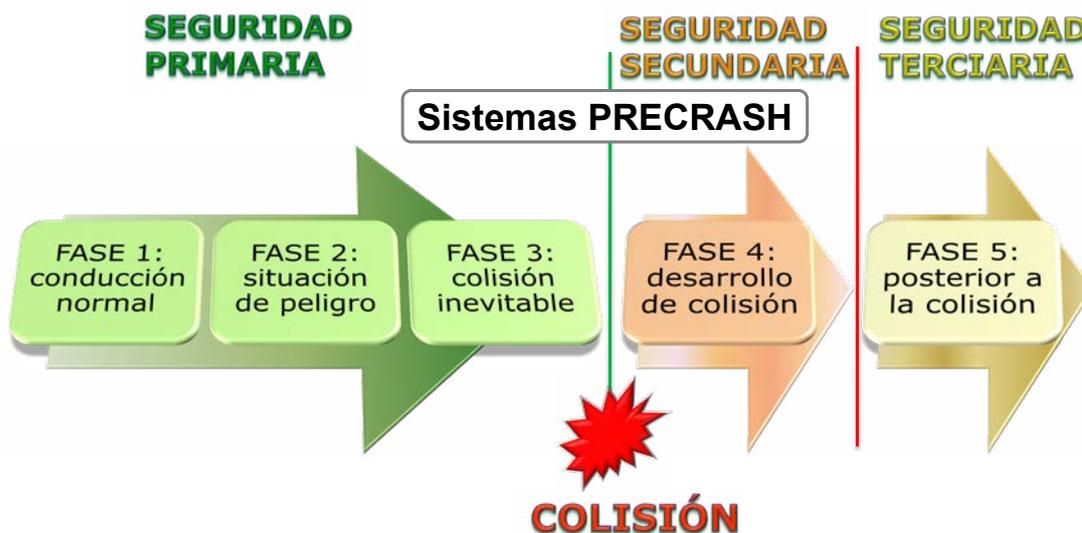


Figura 15. Modelo de seguridad integrada de ACEA (Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles [8]).

En línea con este modelo de seguridad integrada, Aline Delhaye & Laura Marot (proyecto RIDER-SCAN [9]) propusieron el “Accident sequence model” de Rijnaerts and van der Valk’s (Figura 16). En este modelo, la fase en color verde se corresponde con la fase 1 del modelo de ACEA, la fase en color amarillo/naranja con la fase 2, y la fase en color rojo se corresponde con las fases 3/4 del modelo de ACEA.

26



Figura 16. Accident sequence model de Rijnaerts and van der Valk’s ([9]).

El desarrollo de los sistemas de seguridad en los vehículos se ha visto favorecido por el incremento notable en la incorporación de la electrónica y las tecnologías de telecomunicación dentro del sector del transporte. Unido a ello, se han acuñado términos como ITS (sistemas inteligentes de transporte), ADAS (sistemas avanzados de asistencia al conductor) o eSafety (sistemas inteligentes de seguridad del vehículo y de la infraestructura, capaces de actuar durante las fases primaria, secundaria o terciaria del accidente). No obstante, debe evaluarse cuidadosamente la efectividad de estos sistemas de asistencia, dado que en algunos casos podrían provocar un incremento indeseado del riesgo de accidente (proyecto DaCoTa [10]).

Tomando en cuenta esta clasificación, se muestran a continuación (Figura 17) los sistemas de seguridad que serán analizados a lo largo del presente informe.

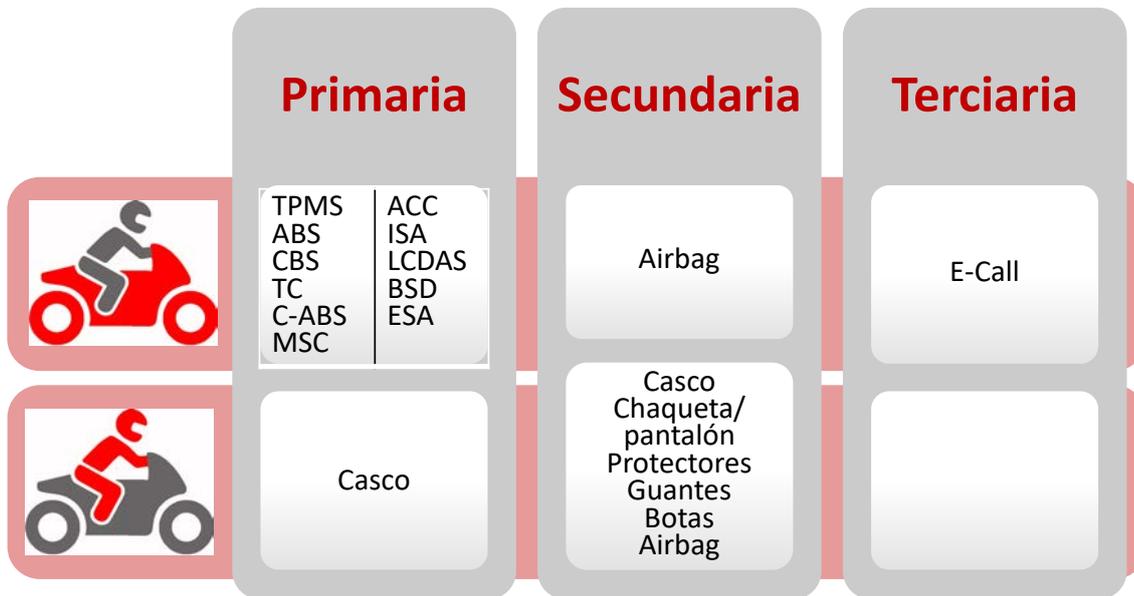


Figura 17. Clasificación de los sistemas de seguridad de las motocicletas y los motoristas.

3.2. Sistemas de seguridad de motocicletas

3.2.1. Sistemas de protección primaria

Seguidamente se muestran en la siguiente tabla (Tabla 3) los sistemas de seguridad primaria embarcados en la motocicleta que serán analizados a lo largo del presente informe. En la misma, se incluye la función de cada uno de ellos, la fase en la que comienzan a actuar (modelo de ACEA Figura 15) y algunas de las siglas más comunes con las que se denominan. En relación con las siglas, pueden encontrarse en el mercado algunas denominaciones comerciales adicionales.

Los sistemas que actúan a partir de la Fase I, esto es durante la conducción normal, son: informativos (sistema de control de la presión del neumático y sistema asistente de velocidad inteligente); o mejoran las condiciones de circulación sin situación de peligro (sistema de frenado combinado, sistema de control adaptativo de velocidad y sistema de ayuda al cambio de carril).

Los sistemas que intervienen a partir de la Fase 2 (fase naranja del modelo de Rijnaerts and van der Valk's, Figura 16), cuando se presenta situación de riesgo, son: sistema de frenado antibloqueo, sistema de control de tracción, sistema de frenado antibloqueo en curva y sistema de control de estabilidad. Estos sistemas deberían ayudar al motorista a realizar las maniobras de emergencia de detención y/o giro en condiciones de seguridad.

Los estudios de accidentes en profundidad han mostrado que estas maniobras son ejecutadas de manera incorrecta en algunos de los accidentes con implicación de la motocicleta, independientemente de su responsabilidad en la ocurrencia del siniestro. Algunas de las causas son:

- Reacción inicial de temor por parte del motorista, y retraso en el comienzo de la maniobra.
- Inestabilidad dinámica de las motocicletas.
- Falta de destreza en el control dinámico de la motocicleta por parte de algunos motoristas.

Los distintos sistemas listados afectan al comportamiento dinámico de la motocicleta tanto en dirección longitudinal (tracción, frenado) como lateral (circulación en curva). Debido a ello, se incluyen a continuación cuatro apartados con algunos conceptos requeridos durante la descripción de las funciones de seguridad afectadas por dichos sistemas.

Tabla 3. Sistemas de seguridad primaria de las motocicletas evaluados en el informe.

Sistema	Fase	Función	Siglas
Sistema de control de la presión del neumático	1	Información al motorista de la presión de inflado de cada uno de los neumáticos	TPMS RDC
Sistema de frenado antibloqueo	2	Control de bloqueo en frenada	ABS
Sistema de frenado combinado	1	Reparto de frenada entre ruedas delantera/trasera	CBS
Sistema de control de tracción	2	Control de deslizamiento en tracción	TC DTC
Sistema de frenado antibloqueo en curva	2	Control de bloqueo en frenada con control de estabilidad en curva	ABS pro Cornering ABS C-ABS
Sistema de control de estabilidad	2	Control de bloqueo en frenada y de deslizamiento en tracción con control de estabilidad en curva	ASC MSC RDRS
Sistema de control adaptativo de velocidad	1	Mantenimiento de la velocidad seleccionada por el motorista y de la distancia prefijada con el vehículo que precede	ACC
Sistema asistente de velocidad inteligente	1	Información al motorista de la velocidad máxima permitida en cada sección de la vía	ISA

Sistemas de ayuda al cambio de carril	I	Información al motorista acerca de la presencia de otros vehículos en las proximidades	LCDAS SVA
Detector de ángulo muerto	I	Información al motorista acerca de la presencia de otros vehículos en el ángulo muerto	BSD
Suspensión electrónica	I	Regulación electrónica de la precarga y del amortiguador en el sistema de suspensión	ESA

3.2.1.1. El neumático

El neumático es un componente de gran importancia en el comportamiento dinámico de la motocicleta y en el conjunto de sus prestaciones. Todas las fuerzas exteriores que actúan sobre ésta son aplicadas a través de los neumáticos.

El comportamiento del neumático está afectado por un conjunto de factores, algunos de los cuales se listan a continuación:

- De diseño y construcción del neumático:
 - Tipo de estructura.
 - Espesor de la banda de rodamiento y cinturón en su caso.
 - Materiales: tejidos y compuestos.
 - Diámetro.
- Condiciones operativas.
 - Velocidad.
 - Presión de inflado.
 - Carga.
 - Temperatura.
 - Esfuerzos longitudinales.

Los factores de diseño y construcción dependen del tipo de neumáticos montado en nuestra motocicleta (marca y modelo). Respecto a los factores asociados a las condiciones operativas, uno de los más significativos y que depende directamente del motorista es la **presión de inflado**.

Un valor adecuado de dicha presión asegura una distribución lo más uniforme posible de la carga a lo largo de la huella de contacto neumático-calzada. Esto permite disponer de la máxima adherencia en dicho contacto, posibilita la maniobrabilidad óptima de la motocicleta, la mejora del confort de los usuarios y una duración máxima, incrementando la seguridad en la circulación y reduciendo el consumo de combustible.

3.2.1.2. Circulación en curva de motocicletas

Una motocicleta con dos ruedas no es estable por sí misma. A baja velocidad, su estabilidad se consigue fundamentalmente por la acción ejercida por el motorista sobre el manillar y por el equilibrio de su cuerpo con la moto. A velocidad elevada, dicha estabilidad se basa principalmente en el efecto giroscópico generado por las dos ruedas que giran.

Durante la maniobra de giro de las motocicletas a velocidad elevada intervienen dos posibles acciones por parte del motorista, que intervienen de manera conjunta (Figura 18):

- Actuación sobre el manillar: El motorista aplica un par sobre la dirección que induce un momento giroscópico que inclina la motocicleta hacia el lado contrario al que giramos el manillar.
- Movimiento del motorista respecto al chasis de la motocicleta, variando lateralmente el ángulo que su torso forma con la dirección vertical del chasis

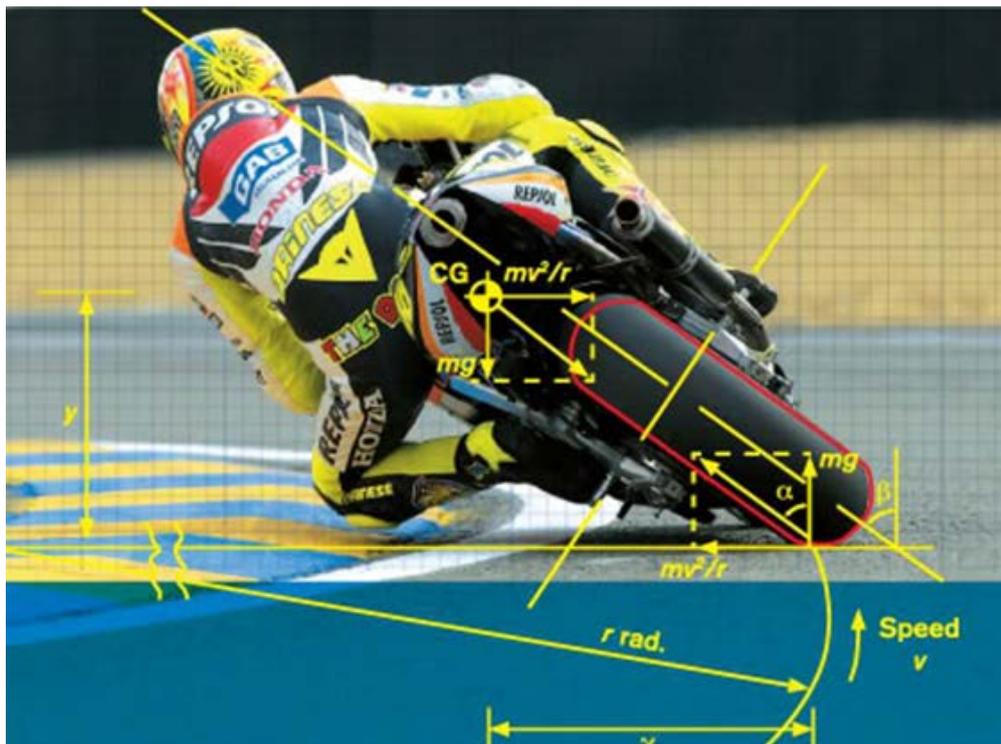


Figura 18. Maniobra de giro a velocidad elevada de una motocicleta (<http://www.badweatherbikers.com/buell/messages/4062/596392.html?1287434040=>)

En dicha maniobra de giro estable, el motorista y la motocicleta se inclinan hacia el interior de la curva (ángulo de inclinación, α). La fuerza centrífuga ($m \cdot v^2/r$) tiende a elevar al conjunto motorista-motocicleta, y está compensada con el peso de dicho conjunto ($m \cdot g$). El ángulo de inclinación de equilibrio es aquel en el que la resultante de ambas fuerzas pase a través de la línea que une las huellas de contacto neumático-calzada de ambos neumáticos. Al mismo tiempo, dicha fuerza centrífuga es soportada por la fuerza de adherencia lateral en el contacto neumático-calzada (la fuerza máxima de adherencia lateral en una rueda - $F_{ymáx}$ - es el producto del coeficiente máximo de adherencia lateral - $m_{ymáx}$ - por la fuerza vertical dinámica, $F_{ymáx} = m_{ymáx} \cdot F_z$).

3.2.1.3. Maniobra de frenado en motocicletas

La realización de una maniobra de frenado severa con un automóvil es relativamente sencilla, incluso en el caso de conductores noveles. Frente a esto, la ejecución de esta maniobra severa con una motocicleta entraña un riesgo mucho más elevado, especialmente de caída.

Si alguna de las ruedas deja de girar bruscamente se incrementa el riesgo de inestabilidad y la probabilidad de caída es elevada. Debido a esto, la tarea de dosificar la potencia de frenado por parte del motorista requiere una elevada formación y experiencia, las cuales resultan críticas en el caso de maniobras de frenado severas. Dicha tarea se ve agravada por el hecho de que, en muchas de las motocicletas del mercado, el frenado de la rueda delantera se aplica mediante una maneta en el manillar (maneta derecha), mientras el de la rueda trasera se realiza mediante un pedal accionado por el pie u otra maneta en el manillar (maneta izquierda); esto es, el esfuerzo de frenado transmitido a cada rueda está desacoplado en muchas de las motocicletas.

Durante la maniobra de frenado se producen elevadas transferencias dinámicas de carga desde la rueda trasera a la delantera, mayores en la medida en que aumenta la deceleración (Figura 19).

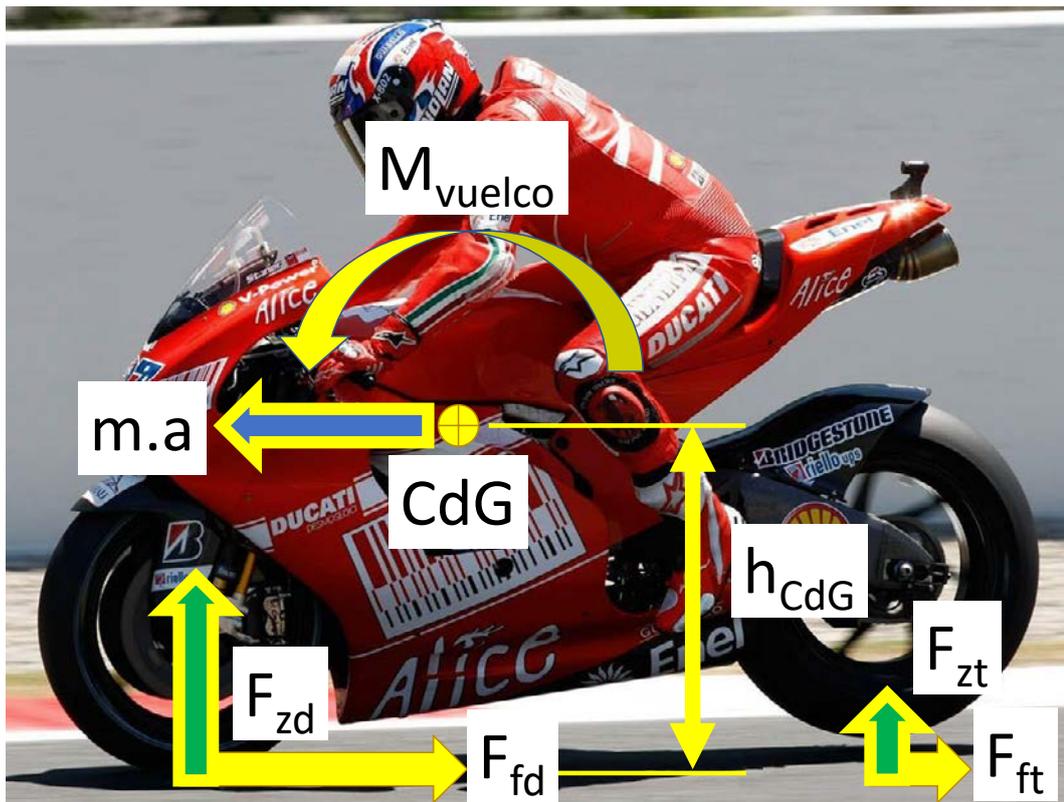


Figura 19. Fuerzas y momentos durante la maniobra de frenado en línea recta de una motocicleta.

32

En las motocicletas, la rueda trasera se descarga significativamente (fuerza vertical dinámica aplicada en la rueda muy reducida, $F_{zt} \ll F_{zd}$), lo cual eleva considerablemente el riesgo de bloqueo en dicha rueda (la fuerza máxima de frenado aplicable en una rueda - $F_{ftm\acute{a}x}$ - es el producto del coeficiente máximo de adherencia longitudinal - $m_{xm\acute{a}x}$ - por dicha fuerza vertical dinámica, $F_{ftm\acute{a}x} = m_{xm\acute{a}x} \cdot F_{zt}$), que es frenada habitualmente mediante el pedal de freno de pie u otra maneta en el manillar. Adicionalmente, el riesgo de bloqueo puede incrementarse en el caso de conducción sobre superficies con un coeficiente de adherencia reducido, como es el caso de superficies con agua, arena, aceite o hielo; y especialmente cuando se producen cambios súbitos de dicho coeficiente.

En vehículos automóviles, el accionamiento del sistema de frenado en ambos ejes se lleva a cabo por un único pedal. La fuerza de frenado que se aplica a cada uno de los mismos es regulada de manera conjunta por un único sistema. Las transferencias dinámicas de carga desde el eje trasero al delantero se producen básicamente de la misma manera que en las motocicletas. No obstante, el sistema de frenado regula conjuntamente la fuerza de frenado que aplica en cada uno de dichos ejes, de manera que se preserve al eje trasero del riesgo de bloqueo, incluso sin la incorporación de ningún sistema electrónico de asistencia.

En maniobras de frenado severas de motocicletas en línea recta, pueden generarse varias situaciones de riesgo:

-
- Bloqueo de ruedas delantera/trasera, deslizamiento y posterior caída por pérdida de estabilidad de la motocicleta.
 - Elevado esfuerzo de frenado en la rueda delantera, y caída por pérdida de estabilidad de la motocicleta.
 - Elevado esfuerzo de frenado en la rueda delantera con separación de la vía de la rueda trasera, y posterior caída por vuelco de la motocicleta (efecto "Lift-up").

Junto a lo anterior; la maniobra de frenado en motocicletas resulta especialmente crítica en el caso de circulación en curva. En este caso, se pueden producir las siguientes situaciones de peligro:

- Se produce en la huella de contacto neumático-calzada la compleja interacción entre la aplicación de esfuerzos combinados longitudinales (tracción o frenado) y laterales (reparto de fuerzas laterales entre ruedas debido a la fuerza centrífuga en el centro de gravedad de la motocicleta). De esta manera, la demanda de adherencia lateral en curva disminuye la fuerza máxima de frenado aplicable, aumentando el riesgo de bloqueo o deslizamiento de los neumáticos y la posterior caída de la motocicleta.
- Al disminuir la velocidad, decrece la fuerza centrífuga. Tomando en cuenta la condición de maniobra de giro estable descrita en el apartado precedente (Apartado 3.2.1.2), se modifica el ángulo de inclinación de equilibrio, que deberá ser corregido por parte del motorista. En caso contrario, podría provocar la caída de la motocicleta.
- La aplicación de esfuerzo de frenado en la rueda delantera provoca la transferencia de fuerza vertical dinámica a dicho eje delantero, variando la geometría dinámica de la suspensión. La motocicleta reduce su capacidad de giro y tiende a desplazarse hacia el exterior de la curva. Este efecto no deseado puede reducirse mediante la aplicación del freno trasero, cuya actuación reduce la transferencia de fuerza vertical y el efecto sobre la geometría de la suspensión.

3.2.1.4. Maniobra de tracción en motocicletas

Como ocurre con las maniobras de frenado severas, la realización de una maniobra de aceleración elevada con un automóvil es relativamente sencilla, incluso en el caso de conductores noveles. Frente a esto, la ejecución de esta maniobra con una motocicleta entraña un riesgo mucho más elevado, especialmente de caída.

Durante la maniobra de tracción se producen elevadas transferencias dinámicas de carga desde la rueda delantera a la trasera (rueda motriz), mayores en la medida en que aumenta la aceleración (Figura 20).

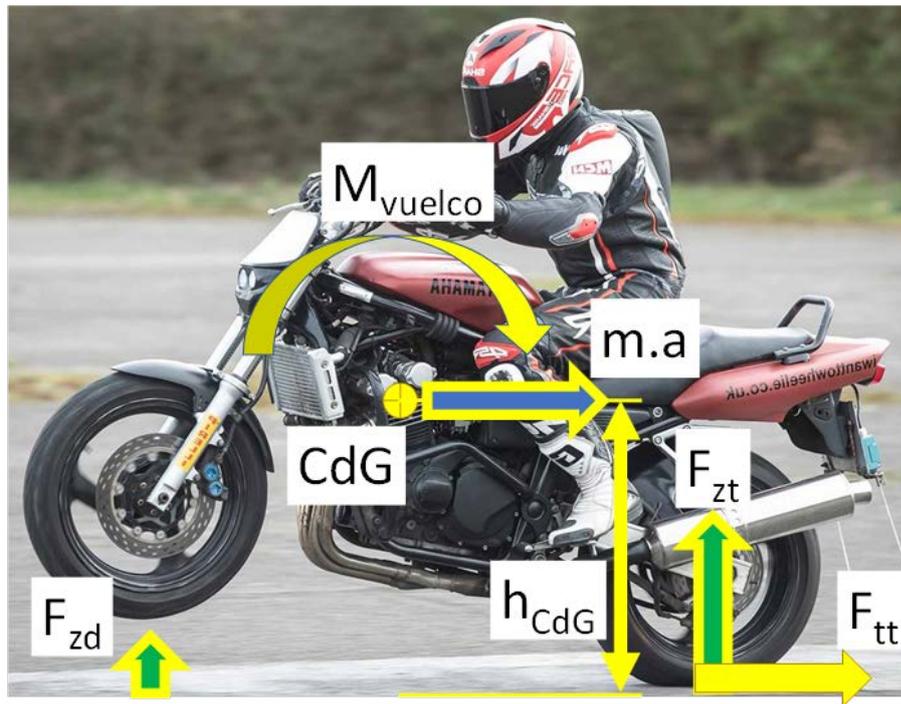


Figura 20. Fuerzas y momentos durante la maniobra de tracción en línea recta de una motocicleta.

En las motocicletas, la rueda delantera se descarga significativamente (fuerza vertical dinámica aplicada en la rueda muy reducida, $F_{zd} \ll F_{zt}$), lo cual eleva considerablemente el riesgo de pérdida de contacto de la rueda directriz (efecto “wheelie”). La fuerza máxima de tracción aplicable en la rueda trasera – $F_{ttm\acute{a}x}$ – es el producto del coeficiente máximo de adherencia longitudinal - $m_{xm\acute{a}x}$ - por la fuerza vertical dinámica, $F_{ttm\acute{a}x} = m_{xm\acute{a}x} \cdot F_{zt}$.

3.2.1.5. Sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS)

La función de los sistemas de control de la presión de los neumáticos de la motocicleta consiste en informar al motorista en tiempo real acerca de la presión de cada uno de dichos neumáticos.

A los efectos del Reglamento (UE) N° 661/2009 ([5]), y aunque dicho Reglamento no aplica a los vehículos de categoría L, se define el “sistema de control de la presión de los neumáticos” como un sistema instalado en un vehículo capaz de evaluar la presión de los neumáticos o la variación de ésta con el paso del tiempo y transmitir la información correspondiente al usuario mientras el vehículo está en marcha.

Como se ha indicado en el Apartado 3.2.1.1 precedente, un valor adecuado de dicha presión asegura una distribución lo más uniforme posible de la carga a lo largo de la huella de contacto neumático-calzada. Esto permite disponer de la máxima adherencia en dicho contacto, posibilita la manio-

brabilidad óptima de la motocicleta, la mejora del confort de los usuarios y una duración máxima, incrementando la seguridad en la circulación y la eficacia medioambiental de los neumáticos.

Dado que las motocicletas disponen de menor número de ruedas que los vehículos automóviles, resulta incluso más relevante desde el punto de vista de la seguridad primaria la influencia de la presión de los neumáticos en esta categoría L.

Los sistemas TPMS disponibles para motocicletas en la actualidad pueden clasificarse según diferentes criterios. Atendiendo al dispositivo de comunicación con el conductor, se distinguen:

- **Indicadores de presión en la válvula:** éstos son los sistemas más sencillos. Constan de un medidor de presión y un indicador óptico, integrados en la propia válvula (Figura 21). En el dispositivo mostrado en la figura se incorpora una función de auto - calibración, y la información óptica varía según tres rangos de presión señalizados con otros tantos colores: verde, presión próxima a la nominal, con una disminución de presión inferior al 10%; amarillo, presión inferior a la nominal en el rango 10-25%; rojo, presión inferior a la nominal en un porcentaje superior al 25%.

Estos indicadores de presión pueden ser luminosos, con una batería incorporada, que se iluminan cuando la presión disminuye por debajo de un porcentaje prefijado respecto al valor nominal. En este tipo de sistemas TPMS, el motorista no dispone de la información en el panel de instrumentos ni en ningún dispositivo HMI a la vista durante la conducción.



Figura 21. Sistema TPMS con indicador óptico de presión en la válvula (<https://www.joom.com/en/products/1507858943662567375-164-1-26193-3042038430>).

- **Indicadores de presión en el puesto del motorista:** están constituidos por un sensor de presión montado en la válvula de la rueda, con comunicación inalámbrica con un sistema HMI ubicado a la vista del motorista, y que le proporciona información sobre el estado de la presión de los neumáticos.

Los sistemas indicadores de presión en el puesto del motorista constan de los siguientes componentes básicos:

- **Sensores**, instalados en la válvula de la rueda, para la medida de la información requerida para el cálculo de la presión de cada neumático.
- **Sistema de comunicación** con la unidad de control, para el envío de la información desde los sensores hasta dicha unidad.
- **Unidad de control**, para el cálculo de la presión y la generación de la información requerida al conductor del vehículo.
- **Sistema HMI** (Human Machine Interface), dispositivo visual para la comunicación con el conductor. Los sistemas HMI disponibles en el mercado pueden ser:
 - En sistemas instalados en origen por el fabricante (OEM), el sistema HMI puede estar integrado en el panel de control de la motocicleta (Figura 22).



Figura 22. HMI de sistema TPMS OEM, con indicador de presión inferior a la nominal en el panel de instrumentos (Motocicleta Honda GL1800 Gold Wing).

- En sistemas no instalados por el fabricante (aftermarket), el sistema HMI puede ser un indicador específico o incluso el propio teléfono móvil, que conecte con los sensores de presión de los neumáticos.



Figura 23. HMI de sistema TPMS aftermarket, con indicadores de presión y temperatura de cada neumático (Sistema CAREUD TPMS).

En función del método de cálculo de la presión existen en el mercado dos configuraciones básicas de dispositivos TPMS:

- **TPMS directo:** cada rueda dispone de un sensor de medida de la presión. Esta información es transmitida de manera inalámbrica a la unidad de control, que elaborará la respuesta adecuada que será enviada al sistema HMI.
- **TPMS indirecto o iTPMS:** en esta configuración no se instalan sensores de medida de presión. En su lugar, se utiliza la información detectada por los sensores de régimen de giro del sistema de frenado antibloqueo (ABS), el cual debe estar instalado en el vehículo. La estimación de la presión se realiza de modo indirecto por la unidad de control: cuando algún neumático tiene una presión inferior a la nominal, el radio de rodadura se reduce y, por tanto, aumenta el régimen de giro respecto al resto de neumáticos con presión adecuada. En este caso, la presión se estima de manera relativa, y el sistema debe ser inicializado cada vez que se modifica la presión de todos los neumáticos. Frente al inconveniente señalado, son sistemas más sencillos que no requieren de la instalación de sensores específicos.

Los sistemas TPMS indirectos tiene poca aplicación en el ámbito de los vehículos de dos ruedas, dado que las probabilidades de error en la estimación de la presión relativa son mayores respecto a vehículos de cuatro ruedas.

Los sistemas disponibles para motocicletas en la actualidad son sistemas TPMS directos. En este caso, están disponibles en el mercado dos tipos, en función de la ubicación del sensor de medida de la presión:

- **Sensores instalados en la válvula:** en este caso, el sensor está integrado en la válvula del neumático junto al emisor inalámbrico, y debe ser instalado antes de montar la cubierta de dicho neumático (Figura 24).
- **Sensores instalados en el tapón de la válvula:** el sensor de medida junto con el emisor inalámbrico están integrador en el tapón de la válvula. Su instalación no requiere el desmontaje de la cubierta (Figura 25).



Figura 24. Sensor de sistema TPMS instalado en la válvula (Sensor RDC en BMW R1200GS LC).



Figura 25. Sensor de sistema TPMS instalado en el tapón de la válvula (Sistema Fobo Bike).

3.2.1.6. Sistema de frenado antibloqueo (ABS)

A los efectos del Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]) se define el “sistema de frenado antibloqueo” como un sistema que detecta el deslizamiento de las ruedas y regula automáticamente la presión que producen las fuerzas de frenado en las ruedas para limitar su deslizamiento. Éste es uno de los sistemas incluido dentro de los “sistemas avanzados de frenado”.

Los objetivos del sistema ABS son prevenir la caída del motorista durante la maniobra de frenado y reducir la distancia de dicha maniobra. Dicha caída puede producirse durante la frenada debido al bloqueo de alguna de las ruedas.

El primer sistema de frenado antibloqueo ABS, instalado en vehículos automóviles, se lanzó al mercado en 1978. En estos años ya se estaban desarrollando sistemas equivalentes para motocicletas; no obstante, fue evidente desde el principio que esta tecnología era más exigente para vehículos de dos ruedas, debido a su mayor riesgo de inestabilidad, y requería funciones de control adicionales.

Los primeros intentos de instalación de estos sistemas en motocicletas fueron llevados a cabo por BMW Motorrad sobre un modelo BMW R100RS. Los ensayos iniciales mostraron algunos inconvenientes importantes respecto al sistema ABS instalado en automóviles:

- El escalonamiento en la potencia de frenado durante la actuación del sistema no era compatible con el comportamiento dinámico de la motocicleta.
- El efecto pulsante sobre la maneta y el pedal de frenado, presente en el pedal de frenado de los automóviles durante la actuación del sistema debido a las ondas hidráulicas, no resultaba tolerable para los motoristas.
- Los posibles errores en la actuación del sistema resultaban críticos en el mantenimiento de la estabilidad de la motocicleta.

Con objeto de corregir dichos inconvenientes, se recurrió a un sistema desarrollado desde 1983 por la empresa FAG Kugelfischer, el cual incorporaba algunas modificaciones significativas:

- La regulación de la presión de frenado durante la actuación del sistema ABS no se realizaba por escalones, sino mediante una variación continua de dicha presión a través de un modulador de presión.
- Las variaciones de presión en los circuitos delantero/trasero durante la actuación del ABS no se transmitían a la maneta/pedal de freno debido a la instalación de válvulas hidráulicas anti-retorno.
- El sistema disponía de una unidad de control única, que supervisaba la actuación de los dos circuitos hidráulicos independientes (delantero/trasero). Para la actuación del sistema ABS de frenado trasero, la unidad de control también supervisaba la información proveniente del delantero, de manera que las acciones de reducción de velocidad por liberación del acelerador o por reducción de la marcha engranada en la caja de velocidades no fueran erróneamente interpretadas como un deseo de frenado por parte del motorista.

El sistema ABS para motocicletas se lanzó finalmente al mercado en el año 1988, estando disponible como equipo opcional en el modelo BWM K100. Esta primera versión superaba los 10 kilogramos de peso. En 1993 llegó la segunda generación del sistema, mucho más ligero (pesaba menos de 8 kilogramos), con una mejor respuesta durante su actuación. En 1995 Bosch inició la producción en serie del primer sistema de frenos antibloqueo, la generación de ABS 2LI, con un peso de tan solo 4.5 kg. La versión actual del ABS 10 de Bosch pesa menos de 0.5 kilogramos.

Los sistemas de frenado antibloqueo constan de los siguientes componentes básicos (Figura 26):

- **Mando de freno:** actuador a disposición del motorista, cuya misión consiste en elevar la presión del circuito hidráulico que acciona las pinzas de freno en la rueda. Este mando puede ser accionado por la mano (maneta en el manillar) o por el pie (pedal de freno).
- **Sensores de régimen de giro.** Las velocidades angulares de ambas ruedas son medidas mediante sensores de giro, enfrentados a una rueda dentada para la detección del movimiento.
- **Unidad de control.** Es el procesador electrónico que recibe las señales de los sensores de giro de cada rueda y envía las señales de control a las válvulas del grupo hidráulico. Si se mide diferencia de velocidad angular entre las ruedas y se determina riesgo de bloqueo en la rueda con velocidad inferior, se inicia la regulación de la función de frenada activando el sistema ABS.
- **Bloque hidráulico:** Dispositivo que integra básicamente: una bomba hidráulica, un motor eléctrico, electroválvulas (de admisión y de escape), válvula de control de presión, y un acumulador hidráulico de baja presión que sirve de reserva de líquido de freno.

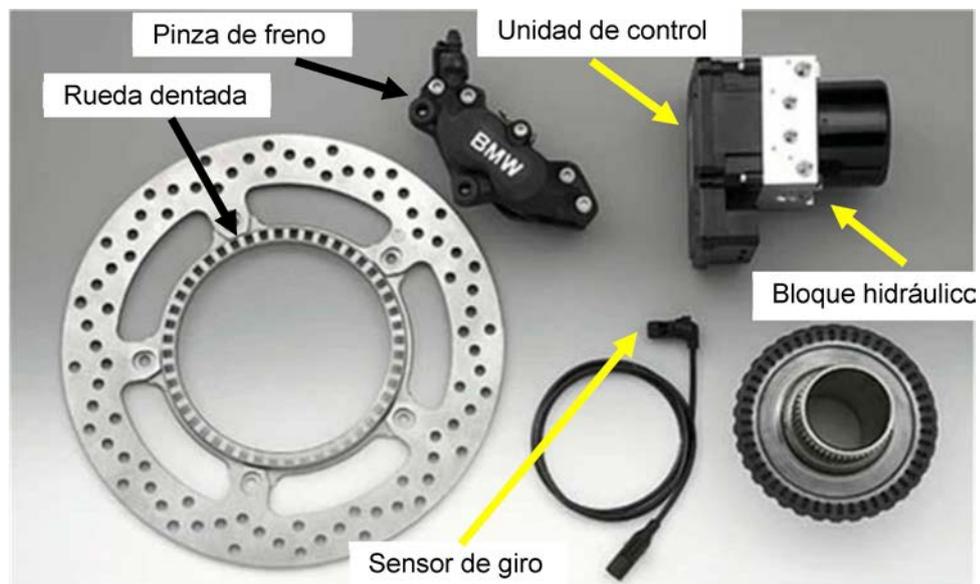


Figura 26. Componentes básicos de un sistema ABS (<https://california-motorcycles.com/en/blogs/mecanica-harley/como-funcionan-los-frenos-abs-de-harley-davidson>).

Existen en el mercado distintas soluciones de sistemas ABS, con un grado variable de complejidad tecnológica y de efectividad:

- **Sistema con un canal:** previene únicamente el bloqueo en la rueda delantera. Dispone de un sensor de giro y de una línea hidráulica de control en dicha rueda delantera. Es una solución de pequeño tamaño, ligera y económica, empleada en motocicletas de pequeño tamaño (Figura 27).



Figura 27. Configuración de sistema ABS con un canal. Dispositivo ABS MiniMAB de Continental.

- **Sistema con dos canales:** previene el bloqueo en ambas ruedas (Figura 28). Dispone de un sensor de giro y de una línea hidráulica de control en cada una de las ruedas. Una unidad de control y un bloque hidráulico únicos (con válvulas de admisión y de escape separadas por rueda) regulan la presión hidráulica en cada uno de los circuitos delantero y trasero.

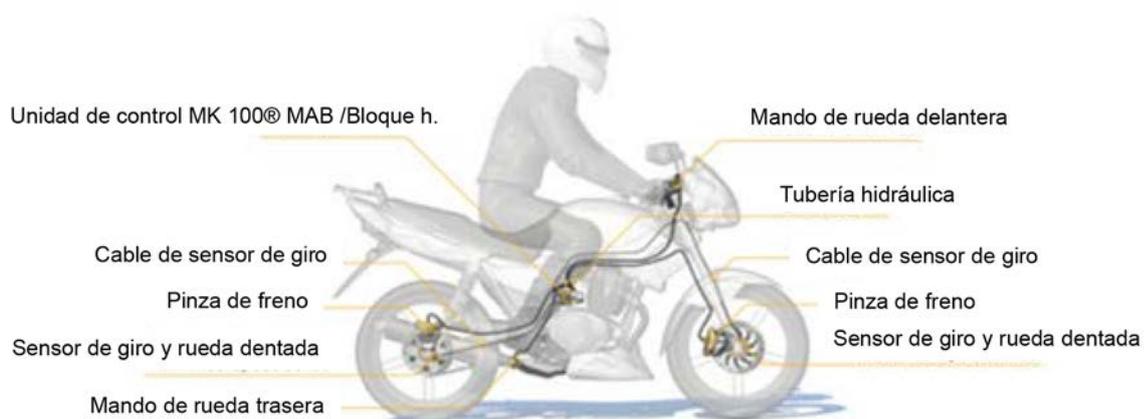


Figura 28. Configuración de sistema ABS con dos canales. Dispositivo ABS MK 100® MAB de Continental.

Como se ha descrito en el Apartado 3.2.1.3, durante la ejecución de maniobras de frenado severas de motocicletas en línea recta pueden generarse varias situaciones de riesgo:

- Bloqueo de ruedas delantera/trasera, deslizamiento y posterior caída por pérdida de estabilidad de la motocicleta.

- Elevado esfuerzo de frenado en la rueda delantera con separación de la vía de la rueda trasera, y posterior caída por vuelco de la motocicleta (efecto “Lift-up”).

Los sistemas ABS descritos en este apartado tienen como función básica evitar el bloqueo de la rueda delantera (sistema ABS con un canal), o de ambas ruedas (sistema ABS con dos canales). Adicionalmente, algunos de los sistemas ABS actuales, como el mostrado en la Figura 28, incluyen una función de control del efecto “Lift-up”; cuando se detecta el despegue de la rueda trasera, se regula la presión de frenado en la rueda delantera, hasta que la situación de riesgo de vuelco de la motocicleta desaparece.

Frente a lo anterior, existen funciones adicionales de seguridad requeridas durante la maniobra de frenado de motocicletas que no son controladas por algunos de los sistemas ABS disponibles en el mercado, como son:

- Desequilibrio entre los esfuerzos de frenado entre ambas ruedas, en cualquier situación de circulación.
- Adaptación de los esfuerzos de frenado entre ambas ruedas durante la realización de maniobras de frenado en curva.

En los próximos apartados son descritos algunos sistemas adicionales que actúan sobre las distintas funciones de seguridad en frenada descritas.

3.2.1.7. Sistema de frenado combinado (CBS)

Como ya ha sido descrito en el Apartado 3.2.1.3, muchas de las motocicletas del mercado llevan un mando diferenciado para cada circuito de frenos independiente: el frenado de la rueda delantera se aplica mediante una maneta en el manillar; mientras el de la rueda trasera se realiza mediante un pedal accionado por el pie u otra maneta en el manillar.

Los sistemas de frenado de ambas ruedas cumplen distintas funciones en este tipo de vehículos. Mientras la función principal del sistema delantero es detener la motocicleta, el sistema trasero ayuda a la detención y contribuye a la estabilidad del vehículo. Esto pone de manifiesto la importancia del uso adecuado del sistema de frenado trasero durante la estabilidad en recta y en curva.

El sistema de frenado combinado permite que cuando se accione únicamente el freno trasero, se envíe al mismo tiempo cierta fuerza de frenado a la rueda delantera. Siendo ésta la configuración más habitual, existen también sistemas duales, en los que se envía también cierta fuerza a la rueda trasera cuando se acciona únicamente el mando de frenado delantero.

A los efectos del Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]), el “sistema de frenado combinado” es uno de los sistemas incluido dentro de los “sistemas avanzados de frenado”. Y en dicho Reglamento se define como sigue:

- Para los vehículos de las categorías L1e y L3e: un sistema de frenado de servicio en el que el accionamiento de un único mando hace funcionar dos frenos, al menos, de distintas ruedas.
- Para los vehículos de la categoría L4e: un sistema de frenado en el que el accionamiento de un único mando hace funcionar los frenos de, al menos, las ruedas delanteras y traseras (si la

rueda trasera y la rueda del sidecar son frenadas por el mismo sistema de frenado, se considera a éste como el freno trasero).

- Para los vehículos de las categorías L2e, L5e, L6e y L7e: un sistema de frenado de servicio en el que el accionamiento de un único mando hace funcionar los frenos de todas las ruedas;

Existen en el mercado diferentes soluciones tecnológicas de sistemas de frenado combinado:

- **Pinzas delanteras con varios pistones**, algunos de los cuales se accionan únicamente desde el mando de freno trasero. El circuito hidráulico trasero suele estar conectado con dichos pistones mediante una válvula repartidora de la presión. En este caso, todos los pistones de la pinza delantera sólo se activan cuando ambos mandos delantero/trasero son accionados.

La siguiente figura muestra el sistema de frenado combinado de la motocicleta Honda SH Mode 125 (Figura 29). En este caso la maneta del freno delantero actúa hidráulicamente sobre dos de los tres pistones de la pinza delantera. La maneta del freno trasero actúa mediante un cable sobre el repartidor mecánico del CBS; dicho repartidor actúa mediante un cable sobre el freno de tambor trasero, y envía presión de frenado al pistón central de la pinza delantera con un tiempo de retardo.

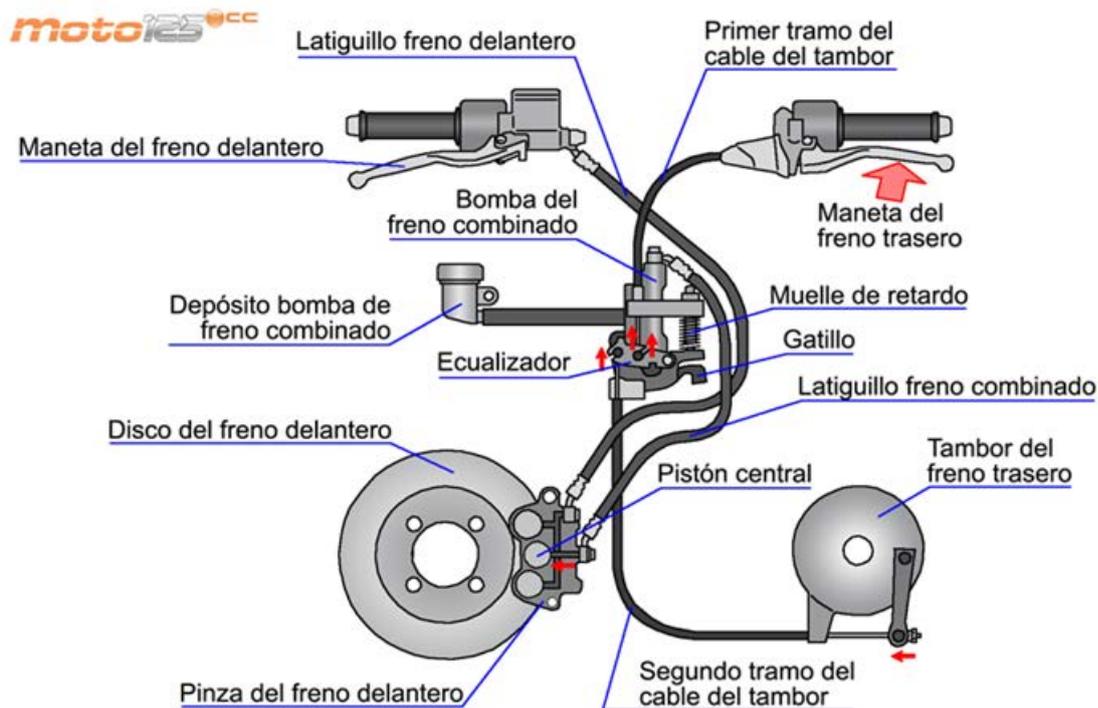
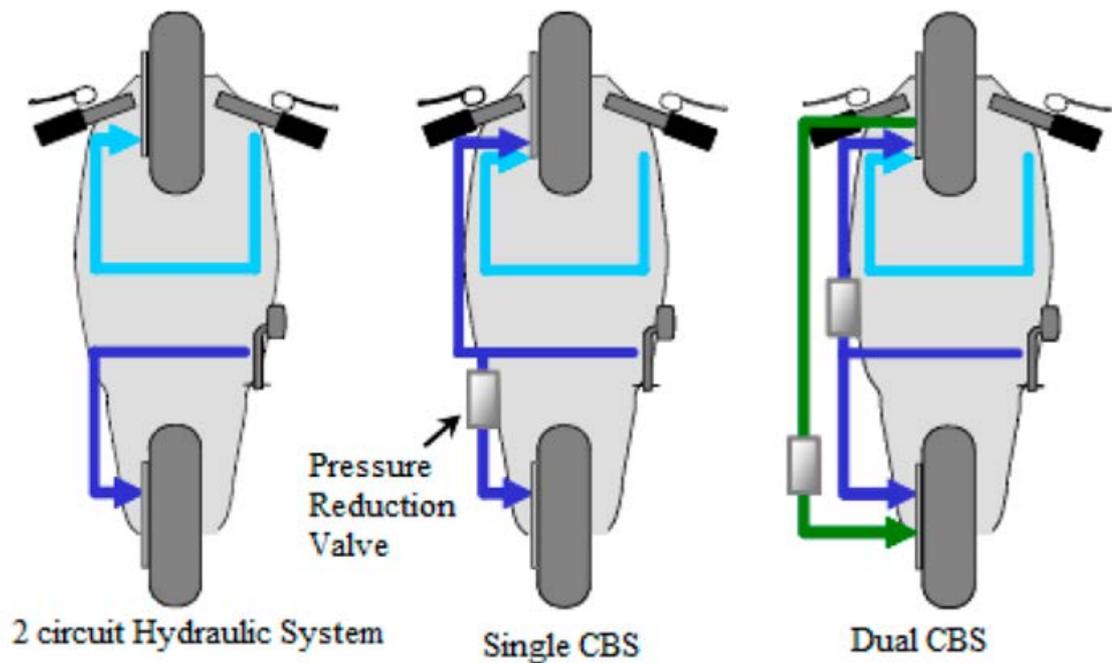


Figura 29. Esquema del sistema de frenado combinado de la motocicleta Honda SH Mode 125 (<https://moto125-pre.azurewebsites.net/890-rueda-alta-honda-sh-mode/>).

- Basados en el anterior; existen también **sistemas duales**, en los que las pinzas traseras también tienen varios pistones, algunos de los cuales se accionan desde el mando de freno delantero. En este caso, tanto si se actúa sobre el mando delantero o sobre el trasero, se transmite fuerza de frenado a ambas ruedas. La siguiente figura (Figura 30 [11]) muestra las diferencias del sistema CBS dual respecto al CBS accionado únicamente por el mando de frenado trasero.



44

Figura 30. Esquema del sistema de frenado combinado dual ([11]).

- Repartidores de fuerzas de frenado entre ruedas delantera/trasera controladas electrónicamente.** En este caso, la unidad de control recibe las acciones del motorista sobre los mandos delantero/trasero y toma la decisión sobre el reparto de fuerzas óptimo.

El sistema de frenado combinado puede ir instalado en la motocicleta independientemente del sistema de frenado antibloqueo. Cuando dicho ABS no está instalado, el sistema CBS no impide el bloqueo de las ruedas durante las maniobras de frenado. No obstante, este sistema sí reduce dicho riesgo de bloqueo y minimiza el riesgo de inestabilidad durante la ejecución de la maniobra de frenado.

3.2.1.8. Sistema de control de tracción (TC)

La función de los sistemas de control de tracción consiste en prevenir el deslizamiento de la rueda trasera de la motocicleta durante la maniobra de aceleración, evitando que el esfuerzo tractor en dicha rueda supere la fuerza máxima de tracción admisible por adherencia $F_{ttm\acute{a}x}$ (Apartado 3.2.1.4).

Dicha función permite mantener el control longitudinal del neumático trasero, asegurando una cierta capacidad de control lateral en el mismo; de este modo se reduce el riesgo de pérdida de control de la motocicleta y de posible caída. Esta función de seguridad actúa en el caso de transmisión a la rueda de elevados esfuerzos de tracción y/o disminución del coeficiente de adherencia neumático-calzada (agua, arena, barro, hielo, ...). Por ello, resulta de gran utilidad en motocicletas de potencia elevada o en aquellas que circulan por superficies de adherencia reducida.

Los sistemas de control de tracción constan de los siguientes componentes básicos:

- **Sensores de régimen de giro.** Las velocidades angulares de ambas ruedas son medidas mediante los mismos sensores empleados por el sistema de frenado antibloqueo ABS. La información medida en ambas es enviada a la unidad de control (Figura 26).
- **Sensores del sistema motriz.** Conjunto de sensores instalados que proporcionan información de las condiciones de funcionamiento del sistema motriz: relación de velocidad engranada, posición de mariposa de admisión, o régimen de giro de motor.
- **Unidad de control.** Dicha unidad recibe la información de los sensores de giro, determina si existe riesgo de deslizamiento en la rueda trasera (tractora) por comparación con la delantera, y, si dicho riesgo de deslizamiento se produce, regula la función de propulsión progresivamente hasta que la situación de riesgo desaparezca.

La regulación del esfuerzo de tracción en rueda, considerando la información de los sensores del sistema motriz, depende de cada fabricante y puede utilizar estrategias combinadas basadas en: modificación del avance del encendido, actuación sobre la mariposa de admisión (aceleradores sin cable) o corte de inyección en alguno de los cilindros.

Algunos de los sistemas TC actuales incluyen una función de control del efecto “wheelie”, durante el cual se eleva considerablemente el riesgo de pérdida de contacto de la rueda directriz.

3.2.1.9. Sistema de frenado antibloqueo en curva (Cornering ABS)

La función del sistema de frenado antibloqueo en curva consiste en mejorar la estabilidad de la motocicleta en maniobras de frenado en curva, manteniendo la función básica del sistema ABS convencional de detección del deslizamiento de las ruedas y regulación de la presión en el circuito de frenado para limitar su deslizamiento.

Como fue indicado en el Apartado 3.2.1.6, existen funciones adicionales de seguridad requeridas durante la maniobra de frenado de motocicletas que no son controladas por los sistemas ABS convencionales, como son la adaptación de los esfuerzos de frenado en las ruedas durante la realización de maniobras de frenado en curva.

La siguiente figura (Figura 31) muestra las diferencias durante la frenada en curva, en función de la tecnología del sistema de frenado embarcada en la motocicleta. Una maniobra de frenado severa en curva conlleva un alto riesgo de caída. Si se dispone de un sistema ABS convencional, el riesgo de caída se reduce, pero habitualmente se modifica la trazada del vehículo hacia el exterior de la curva. Finalmente, el sistema de Cornering ABS permite mantener la trazada en curva con pequeñas modificaciones durante la realización de la maniobra de frenado severa.



Figura 31. Actuación de sistema Cornering ABS frente a un sistema ABS convencional (<https://www.cartoq.com/ktm-cornering-abs-adventure-390/>).

46

Los sistemas de frenado Cornering ABS constan de los mismos componentes que un sistema ABS convencional, añadiendo básicamente un sensor adicional: una unidad **IMU (Inertial Measurement Unit)** (Figura 32). Este sensor mide en las tres direcciones del espacio (longitudinal, lateral y vertical) variables dinámicas indispensables para la estabilidad de la motocicleta, como son las aceleraciones y los ángulos de inclinación (balanceo - roll, cabeceo- pitch y guiñada - yaw) (Figura 33).

La unidad de control, utilizando la información medida a partir de los sensores del ABS convencional y de la unidad IMU, incorpora un algoritmo de estimación de las condiciones de estabilidad del vehículo y modula la actuación del sistema de frenado tomando en consideración: los deseos del motorista, el riesgo de bloqueo de las ruedas y el estado de estabilidad de la motocicleta.



Figura 32. Unidad IMU (Inertial Measurement Unit) del fabricante Bosch.

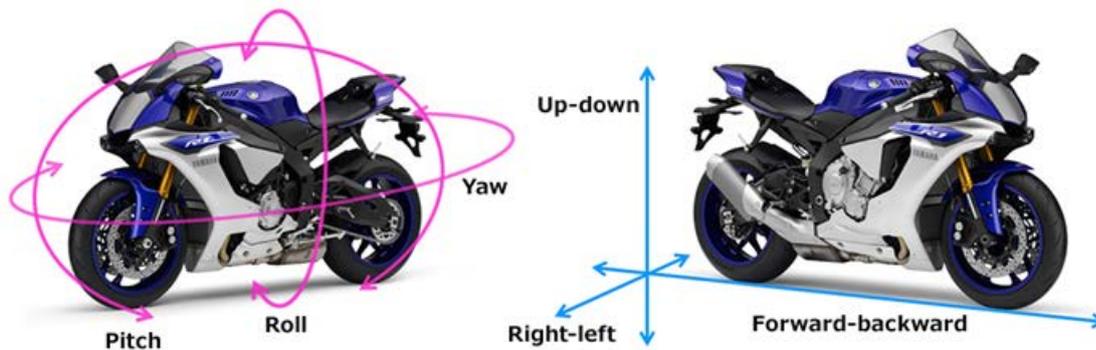


Figura 33. Ejes de medida de una unidad IMU (Inertial Measurement Unit) https://global.yamaha-motor.com/design_technology/technology/electronic/001/ .

3.2.1.10. Sistema de control de estabilidad (MSC)

La función del sistema de control de estabilidad consiste en mejorar la estabilidad de la motocicleta en maniobras de frenado y tracción en curva, manteniendo las funciones básicas del: sistema ABS convencional de detección del deslizamiento de las ruedas y regulación de la presión en el circuito de frenado para limitar su deslizamiento; y del sistema TC de detección del deslizamiento de la rueda trasera de la motocicleta durante la maniobra de aceleración y regulación de la propulsión.

Este sistema utiliza todos los sensores embarcados por los sistemas TC y Cornering ABS, incorporando en la unidad de control un algoritmo de estimación de las condiciones de estabilidad del vehículo para modular la actuación de los sistemas de tracción y frenado, tomando en consideración: los deseos del motorista, el riesgo de deslizamiento/bloqueo de las ruedas y el estado de estabilidad de la motocicleta.

El sistema MSC incorpora funciones de control adicionales, como:

- **Control del efecto “Lift-up”:** cuando se detecta el despegue de la rueda trasera, se regula la presión de frenado en la rueda delantera, hasta que la situación de riesgo de vuelco de la motocicleta desaparece.
- **Control del efecto “wheelie”:** cuando se eleva considerablemente el riesgo de pérdida de contacto de la rueda directriz, se regula la propulsión del vehículo hasta que la situación de riesgo de vuelco desaparece.
- **Control de arranque en rampa:** cuando la unidad IMU detecta el deseo del motorista de arrancar en rampa, la unidad de control actúa automáticamente sobre el sistema de frenado durante unos segundos hasta que se inicia la marcha en condiciones de estabilidad.

3.2.1.11. Sistema de control adaptativo de velocidad (ACC)

La función de los sistemas de control adaptativo de velocidad consiste en la regulación de la velocidad de la motocicleta en función de la velocidad deseada por el motorista y de la distancia respecto al vehículo que le precede.

Esta función de regulación se lleva a cabo actuando sobre el sistema motriz y sobre el sistema de frenado, si es necesario. En el caso de circulación en curva, el sistema actúa en combinación con el sistema de control de estabilidad (si está embarcado), de manera que las acciones sobre los sistemas de frenado y tracción se ven limitadas conforme aumenta la inclinación de la motocicleta.

Aunque existen todavía muy pocos dispositivos en el mercado tienen la posibilidad de regular la distancia de actuación, como es el caso del botón del sistema ACC de BMW Motorrad mostrado en la Figura 35. Dicho sistema tiene dos opciones de control seleccionables: confortable o dinámico, en el que la aceleración y la desaceleración se modifican en consecuencia. El control de distancia también puede ser desactivado.

En el sistema de BMW toda la responsabilidad está en manos del conductor quien puede intervenir en todo momento, tanto sobre la función de aceleración como de frenado. Este dispositivo sólo responde a los vehículos en movimiento. Si están detenidos no son tenidos en cuenta, y el motorista tiene que actuar sobre el sistema frenado.

Los sistemas ACC constan de los siguientes componentes básicos:

- **Sensor de radar delantero.** Este sensor registra con gran exactitud distancias y posición de obstáculos. Uno de los dispositivos disponibles en el mercado es el radar de medio alcance (MRR) de Bosch (Figura 34), el cual regula la distancia al vehículo precedente entre 0 y 150 km/h.



Figura 34. Radar de medio alcance (MRR) de Bosch.

- **Sensores del sistema motriz.** Conjunto de sensores instalados que proporcionan información de las condiciones de funcionamiento del sistema motriz: relación de velocidad engranada, posición de mariposa de admisión, o régimen de giro de motor.
- **Sensores y actuadores del sistema de frenado.** El sistema recibe la información procedente del estado de los distintos sensores del sistema de frenado. Asimismo, está en comunicación con los actuadores de dicho sistema.

- **Unidad de control.** Dicha unidad recibe la información del sensor de radar; así como del resto de sensores de los sistemas motriz y de frenado. En función de la velocidad real, la velocidad deseada y la distancia respecto al objeto que le precede elabora la respuesta requerida: no intervención, reducir esfuerzo tractor y aplicar esfuerzo de frenado.
- **Sistema HMI** (Human Machine Interface), dispositivo visual para la comunicación con el conductor. Muestran información como la configuración del sistema ACC seleccionada por el motorista (Figura 35).



Figura 35. Modo de activación y sistema HMI del sistema ACC de BMW Motorrad.

3.2.1.12. Sistema asistente de velocidad inteligente (ISA)

La función del sistema asistente de velocidad inteligente consiste en informar al motorista de la velocidad adecuada en función de las condiciones de la vía, proporcionándole información específica y adecuada. Estos sistemas pueden informar, alertar y/o disuadir al conductor con el objeto de que éste no exceda el límite de velocidad local ni cualquier otro límite de velocidad deseado.

En función del grado de intervención sobre los sistemas del vehículo, se han propuesto tres tipos de sistemas ISA:

- **Sistemas informativos:** proporcionan información sobre velocidad al conductor mediante un dispositivo óptico y/o acústico. En este grupo estarían los sistemas de alerta de velocidad (SAS), los cuales informan al conductor del límite actual de velocidad y, si es el caso, sobre el exceso de velocidad actual sobre dicho límite.
- **Sistemas de alerta:** añaden a los sistemas informativos una función adicional de alerta, normalmente basada en el endurecimiento del mando del acelerador. En todo caso, el conductor puede continuar acelerando mediante la actuación más enérgica sobre dicho mando.

- **Sistemas de intervención:** esta configuración de sistema, además de informar, actúa sobre la inyección de combustible para evitar que se sobrepase la velocidad límite. Potencialmente, el sistema podría actuar de forma combinada sobre el sistema de frenado. En algunos casos, puede incorporar la opción de actuación a fondo sobre el mando del acelerador (kick-down) como opción de emergencia para sobrepasar el límite de velocidad.

La tecnología de los sistemas asistentes de velocidad inteligente está basada en los siguientes elementos:

- **Sistema de posicionamiento por satélite** (basado en constelaciones GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU): sirve para determinar la posición del vehículo en tiempo real.
- **Mapa digital embarcado de la carretera:** contiene los límites de velocidad en cada tramo de la vía.
- **Videocámara de reconocimiento de señales:** la determinación del límite de velocidad en un tramo mediante la geolocalización del vehículo en el mapa digital se puede combinar con el reconocimiento de las señales de tráfico mediante una videocámara.
- **Sistema HMI** (Human Machine Interface): dispositivo óptico/acústico para la comunicación con el conductor. A través de este dispositivo se le informa al conductor del límite de velocidad del tramo por el que circula, mediante la fusión de la información de geoposicionamiento, el mapa digital y el video-reconocimiento de señales de tráfico.
- **Mando de acelerador activo:** en los sistemas de alerta, el mando del acelerador se endurece cuando el conductor intenta superar el límite de velocidad, aunque puede ser accionado mediante una acción más energética sobre el mismo.
- **Algoritmo de control de velocidad:** en los sistemas de intervención, el dispositivo puede actuar de manera combinada reduciendo la inyección de combustible e incluso activando el sistema de frenado del vehículo.

3.2.1.13. Sistemas de ayuda al cambio de carril (LCDAS)

Los sistemas de ayuda al cambio de carril tienen la función de alertar al motorista de posibles colisiones con vehículos que se encuentran en el lateral y/o en la parte posterior de la motocicleta y que se mueven en la misma dirección, durante la ejecución de maniobras de cambio de carril.

Uno de los sistemas existentes en el mercado es el asistente de visión lateral (SVA) de BMW Motorrad. La función del SVA consiste en avisar al motorista acerca de la presencia de otros vehículos en las proximidades de la motocicleta, y que tengan una velocidad de circulación diferente, minimizando el riesgo de fallos por detección debido a los ángulos muertos (Figura 36).



Figura 36. Sistema asistente de visión lateral SVA de BMW Motorrad.

La tecnología del sistema asistente de visión lateral está basada en los siguientes elementos:

- **Sensores de proximidad.** El sistema dispone de cuatro sensores de ultrasonidos colocados estratégicamente en los laterales de las zonas delantera y trasera (Figura 37), que permiten la detección del ángulo muerto.
- **Sistema HMI** (Human Machine Interface). Cuando otro vehículo penetra dentro del radio de detección del sistema se enciende una luz de advertencia en la parte inferior del espejo del lado correspondiente del vehículo (Figura 37).

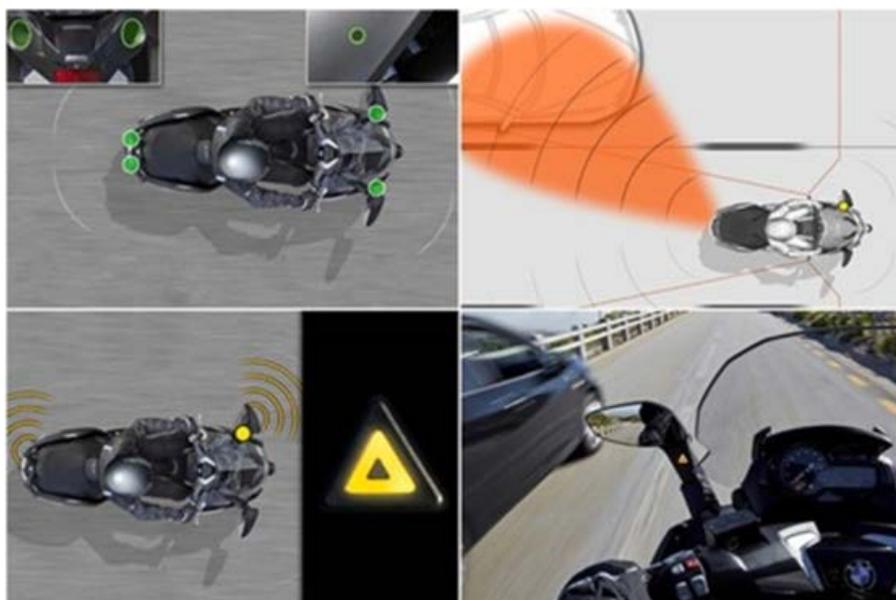


Figura 37. Componentes del sistema asistente de visión lateral SVA de BMW Motorrad (<https://www.motorpasionmoto.com/zona-de-pruebas/nos-ponemos-en-la-piel-de-un-ejecutivo-viajando-en-el-nuevo-bmw-c-650-gt>).

3.2.1.14. Detector de ángulo muerto (BSD)

52

Otro de los dispositivos disponibles es el detector de ángulo muerto (BSD) de Continental. La tecnología del sistema BSD está basada en los siguientes elementos:

- **Sensores de proximidad.** El sistema dispone de un radar de corto alcance SRR (Figura 38), que permiten la detección de vehículos en la parte trasera y en el lateral de la motocicleta.
- **Sistema HMI** (Human Machine Interface). Cuando otro vehículo penetra dentro del radio de detección del sistema se enciende una luz de advertencia en el espejo del lado correspondiente del vehículo (Figura 39).



Figura 38. Radar de corto alcance (SRR) de Continental.



Figura 39. Sistema HMI del detector de ángulo muerto (BSD) de Continental.

3.2.1.15. Suspensión electrónica (ESA)

La función principal del sistema de suspensión de una motocicleta consiste en mantener conectadas las masas suspendida (chasis) y no suspendida (ruedas) del vehículo, asegurando un comportamiento estable cuando se ve sometido a acciones dinámicas longitudinales, laterales o verticales. El diseño y la regulación del mismo tratan de conseguir un compromiso óptimo entre la comodidad de los pasajeros y la seguridad del vehículo, mejorando el contacto entre los neumáticos y la calzada.

Para conseguir este objetivo, dicho sistema consta de dos elementos básicos: un elemento elástico, cuya rigidez es responsable de la frecuencia de respuesta de la masa no suspendida ante una excitación vertical y de la altura del vehículo; y un elemento amortiguador, habitualmente hidráulico, encargado de detener dicho movimiento vertical absorbiendo la energía de esta excitación.

La regulación de la suspensión en las motocicletas suele disponer de varios modos de ajuste, de actuación manual en la mayoría de los vehículos:

- **Ajuste de la precarga del elemento elástico.** Consiste en la variación de la rigidez de este elemento: en el caso de muelles, se puede comprimir más o menos para variar su rigidez; en el caso de uso de aire comprimido, la variación de la precarga se lleva a cabo mediante variación de la presión interior.

El ajuste de dicha precarga está relacionado con el parámetro denominado “sag” (recorrido muerto de las suspensiones). Éste define la altura de conducción de ambos ejes, manteniendo la geometría adecuada para optimizar el comportamiento dinámico de la motocicleta, mejorando su seguridad, comodidad, prestaciones y ahorro de combustible.

- **Ajuste del elemento amortiguador.** Consiste en una variación de su coeficiente de amortiguamiento, bien en el recorrido de compresión, en el de extensión o en ambos. En el caso de amortiguadores hidráulicos, se suele realizar mediante la regulación de las válvulas de paso del fluido.

La optimización manual del ajuste de ambos elementos es una tarea complicada, fundamentalmente el relativo al elemento amortiguador. Desde el año 2004 (BMW R 1200 GS) comenzaron a introducirse en el mercado las primeras soluciones de suspensiones electrónicas semiactivas (ESA), caracterizadas por tener amortiguadores cuyo coeficiente de amortiguamiento puede ser modificado mediante un control externo.

En algunos sistemas de suspensión el ajuste de la precarga puede llevarse a cabo también mediante un actuador controlado electrónicamente.

La tecnología actual de los sistemas de suspensión electrónica está basada en los siguientes elementos (Figura 40):



Figura 40. Sistema de suspensión electrónica Dynamic ESA de BMW Motorrad.

- **Sensor de recorrido del amortiguador trasero.** Detecta la distancia y la velocidad del movimiento vertical de la rueda trasera.
- **Acelerómetros.** Ubicados en distintas posiciones de la motocicleta, miden aceleraciones en las masas suspendida y no suspendida.
- **Unidad IMU (Inertial Measurement Unit).** Este sensor mide en las tres direcciones del espacio (longitudinal, lateral y vertical) variables dinámicas indispensables para la estabilidad de

la motocicleta, como son las aceleraciones y los ángulos de inclinación (balanceo - roll, cabeceo- pitch y guiñada - yaw).

- **Unidad de control.** Dicha unidad recibe la información de los sensores descritos anteriormente. Dispone de un algoritmo que permite, a partir de esta información, estimar en tiempo real las condiciones del terreno, calculando las condiciones de ajuste del amortiguador óptimas, independientemente del modo de conducción seleccionado. Asimismo, suelen disponer de varios modos de conducción predefinidos, seleccionables por el motorista, según: el tipo de terreno, el nivel de comodidad, o la carga de ocupantes y equipaje.
- **Válvulas de regulación de los amortiguadores.** Válvulas reguladas electrónicamente desde la unidad de control, que permiten la adaptación dinámica de los coeficientes de amortiguamiento en las ruedas trasera y delantera (Figura 41 y Figura 42).



Figura 41. Válvulas de regulación del amortiguador trasero (Öhlins) en un sistema de suspensión electrónica.



Figura 42. Válvulas de regulación del amortiguador delantero en el sistema de suspensión electrónica de la Ducati Panigale V4 SP.

- **Actuador de ajuste de precarga.** Elemento de regulación de la precarga de la suspensión (Figura 43).



Figura 43. Amortiguador con ajuste electrónico de la precarga (Öhlins) en un sistema de suspensión electrónica.

Los sistemas actuales de suspensión electrónica pueden actuar conjuntamente con el sistema de frenado antibloqueo ABS y con el sistema de control de estabilidad MSC.

3.2.2. Sistemas de protección secundaria

3.2.2.1. Airbag

Dispositivo de bolsa de aire instalado por delante del motorista, normalmente sobre el depósito de combustible, cuya función es la retención del motorista en colisiones frontales.

En caso de colisión con otro vehículo, la bolsa de aire absorbe la energía cinética del conductor, disminuyendo la velocidad a la cual tiende a salir despedido hacia delante el motorista, y disminuyendo la gravedad de cualquier lesión que podría sufrir como resultado del impacto contra otro vehículo o contra la carretera.

Los sistemas airbags de motocicleta constan de los siguientes componentes básicos:

- **Módulo de airbag:** contiene la bolsa de aire y el inflador; y está situado por delante del motorista. El inflador es el encargado de generar el gas de llenado de la bolsa a elevada velocidad, cuando recibe la señal de activación procedente de la unidad de control electrónica. La bolsa de aire suele tener correas de retención en su zona posterior, con objeto de asegurar la retención del motorista.
- **Sensores de impacto:** conjunto de acelerómetros, normalmente instalados en la horquilla de la motocicleta, encargados de la medida de la aceleración en la posible zona de impacto del frontal del vehículo.
- **Unidad de control electrónico:** recibe constantemente las señales procedentes de los sensores de impacto, comparándolas con los datos del comportamiento estándar del vehículo. En caso necesario, determina la necesidad de inflado del airbag enviando al inflador la señal de activación.

El dispositivo airbag de la motocicleta Honda Gold Wing desplegado se muestra en la siguiente figura (Figura 44).



Figura 44. Sistema airbag en motocicleta Honda Gold Wing.

3.2.3. Sistemas de protección terciaria

3.2.3.1. Sistema e-Call

El sistema e-Call realiza una llamada automática de emergencia al número único en Europa 112 en caso de accidente grave, y envía la localización del vehículo para facilitar la intervención de los servicios de emergencia. Este dispositivo cuenta con un algoritmo de detección de accidentes. Cuando se activa la detección el sistema, éste contacta automáticamente con un PSAP (Public Safety Answering Point) a través del protocolo MSD (Minimum Set of Data). El punto PSAP gestiona los servicios de emergencia requeridos.

En el caso de los vehículos automóviles, la detección automática de la ocurrencia del accidente mediante distintos sensores ha sido solucionada, activándose normalmente al dispararse el sistema pirotécnico que despliega los airbags. En estos vehículos, es obligatoria la instalación del sistema eCall en vehículos nuevos desde el año 2018, lo cual fue promovido a partir de los proyectos europeos HeERO1 y HeERO2 (Harmonised eCall European Pilot Project). Tras ello, Europa promovió el proyecto sAFE (Aftermarket eCall For Europe), con el objetivo de definir la estandarización y las certificaciones de los sistemas eCall en motos.

El Comité Europeo de Normalización (CEN) ha definido la estructura del conjunto mínimo de datos (MSD, minimum set of data) en la Norma EN 15722, así como los requisitos operacionales comunes para los sistemas eCall. A su vez, esta norma refiere a las siguientes:

- Norma EN 16062. Sistemas inteligentes de transporte. eSafety. Requisitos de aplicación de alto nivel (HLAP) de la llamada de emergencia europea eCall.
- Norma EN 16072. Sistemas inteligentes de transporte. eSafety. Requisitos operativos de la llamada de emergencia europea eCall.

Frente a esto, la correcta detección de la ocurrencia del accidente en el caso de motocicletas supone un reto tecnológico, debido a la mayor complejidad de la dinámica de estos vehículos. Recientemente se han incorporado algunos dispositivos eCall en motocicletas que estiman la caída del vehículo empleando los sensores del sistema de control de estabilidad. Éstos miden la aceleración y la velocidad angular, detectando el movimiento y la inclinación gracias a un algoritmo de choque embarcado en la unidad de control. Este algoritmo detecta automáticamente la posición del vehículo, si está tumbada en el suelo o si cae mientras está estacionada. La activación puede ser también manual.

3.3. Sistemas de seguridad de motoristas

3.3.1. Sistemas de protección primaria

3.3.1.1. Casco y ropa de protección

Como será explicado en los Apartados 3.3.2.1 y 3.3.2.2, el casco y la ropa de protección constituyen los principales elementos de seguridad secundaria del motorista, y están diseñados para minimizar las lesiones en las distintas regiones corporales.

No obstante, algunos de sus componentes tienen la función de incrementar el confort del motorista y, por lo tanto, reducir la fatiga durante la conducción, lo cual constituye un factor clave para la prevención de los accidentes. Destacan las siguientes funciones:

- Reducción de ruido aerodinámico.
- Protección frente al viento y el frío.
- Evitación del impacto de insectos y otros objetos en suspensión.
- Protección frente a deslumbramientos.

Adicionalmente, estos elementos pueden contribuir considerablemente a mejorar la visibilidad de la motocicleta por otros usuarios de la vía, en función de su color y siendo el soporte de pegatinas de alta visibilidad o de equipos reflectantes (Figura 45).



Figura 45. Casco de motorista de alta visibilidad (modelo NOLAN NI 00.5 HI-VISIBILITY N-COM).

3.3.2. Sistemas de protección secundaria

3.3.2.1. Casco

Los ocupantes de una motocicleta implicada en un accidente de tráfico pueden resultar con lesiones en la cabeza, debidas a impactos directos con objetos rígidos o como consecuencia de elevadas aceleraciones/deceleraciones. La mayoría de los traumatismos craneoencefálicos son el resultado de heridas cerradas. El casco es el principal elemento de seguridad del motorista y está diseñado para minimizar las lesiones en las distintas zonas de la cabeza.

60

En España, el uso del casco es obligatorio para motorista y pasajero, según se recoge en el Artículo 118.1 del Reglamento General de Circulación ([12]). La homologación de cascos protectores y viseras debe llevarse a cabo actualmente conforme a los requerimientos del Reglamento CEPE/ONU 22R05 (revisión 05 vigente de la norma). La revisión 06 de dicho Reglamento (22R06) entrará en vigor a partir del año 2023. Las partes principales del casco, según se definen en dichos Reglamentos 22R05 y 22R06 ([4], [13]), se muestran en la siguiente figura (Figura 46).

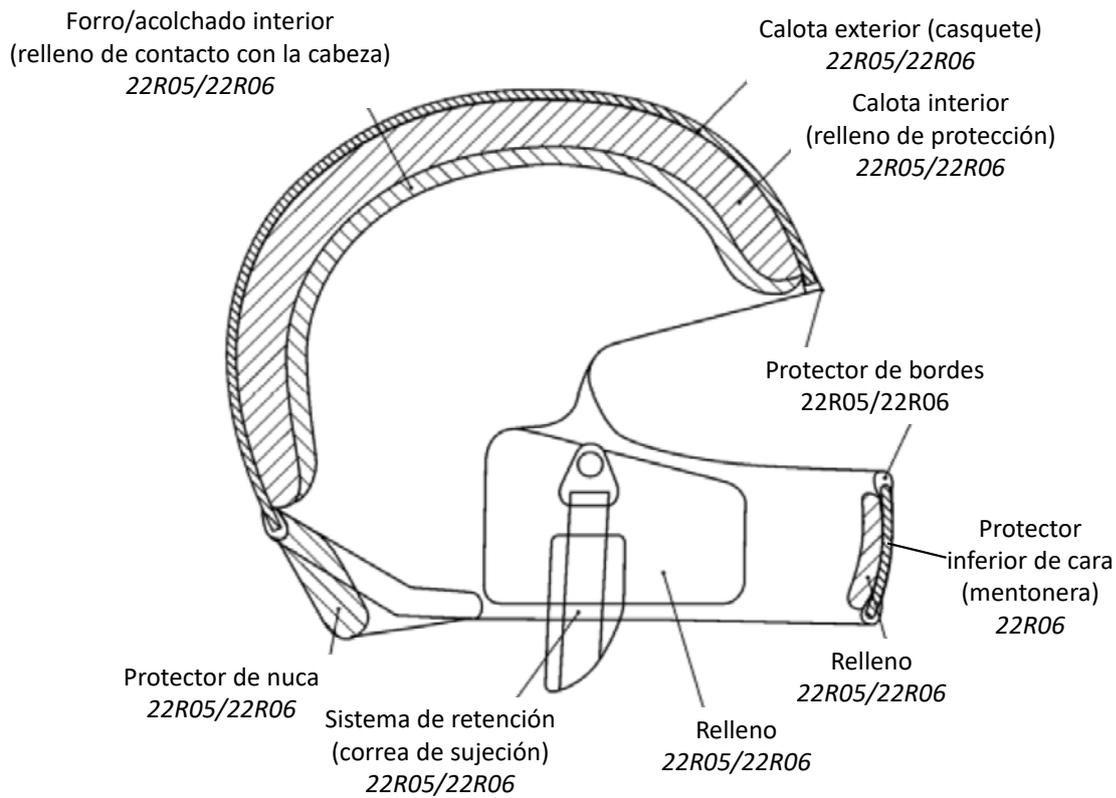


Figura 46. Esquema de un casco de protección de usuario de motocicleta, según se define en los Reglamentos 22R05 y 22R06 ([4], [13]).

Cuatro de estas partes básicas trabajan conjuntamente para proporcionar la máxima seguridad frente al impacto: la calota exterior; la calota interior; el acolchado interior y el sistema de retención. A continuación, se describen algunas de las características de dichas partes:

- **Calota exterior:** capa exterior del casco. Es la zona más visible, siendo fina, dura y rígida, y sirve de protección a los elementos interiores. Puede tener distintos diseños, que condicionan su comportamiento aerodinámico, y puede contener algunos de los elementos de ventilación. Desde el punto de vista de la seguridad pasiva, es el primer elemento de contención de la penetración de objetos, y sirve para amortiguar el golpe inicial distribuyendo la energía del impacto y, por lo tanto, reduciendo las fuerzas puntuales aplicadas. Puede estar fabricada con distintos materiales, como: materiales termoplásticos (policarbonato), más pesados y menos efectivos; o composites (fibra de vidrio, fibra de carbono, tricomposite de fibra de vidrio – Kevlar - fibra de carbono), más ligeros y efectivos. Cada uno de ellos presenta distintas propiedades desde el punto de vista de la resistencia, peso y durabilidad.

Aparte de lo indicado, dicha calota exterior cumple una función muy importante como elemento de seguridad primaria. Su color puede hacer que el motorista sea más o menos visible en la carretera; además, constituye un buen soporte para colocar elementos reflectantes que lo hagan más visible a otros usuarios de la vía.

- **Calota interior:** capa de relleno interior bajo la calota exterior. Constituye el elemento principal de absorción de la energía del impacto, reduciendo la deceleración que experimenta

ta la cabeza. Está fabricada con poliestireno expandido (EPS), en configuración homogénea o multicapa por zonas de impacto. Existen variaciones en espesor y densidad según el diseño en las de cada fabricante, las cuales tienen influencia en el peso y capacidad de protección del casco.

Ambas calotas trabajan conjuntamente con objeto de absorber la máxima cantidad de energía del impacto posible. En algunas ocasiones, alguna de estas capas puede romperse como consecuencia del accidente, lo cual contribuye a la función de absorción.

Tras la ocurrencia de un accidente con impacto del casco pueden producirse en las calotas daños permanentes no perceptibles que limitarían su capacidad de absorción en el futuro, por lo que es altamente recomendable desechar dicho casco.

- **Acolchado interior:** parte del casco en contacto directo con la cabeza. Suele estar fabricado con espumas forradas con tejido. Tiene como funciones proporcionar un contacto cómodo con la cabeza y asegurar el correcto ajuste entre ésta y el casco. Deben ser firmes, suaves, y con capacidad de aislamientos térmico y acústico. Este acolchado puede ser desmontable para mejorar la limpieza y reemplazable.
- **Sistema de retención:** este elemento asegura la sujeción del casco a la cabeza. Está fabricado con cinta de elevada resistencia, y está unido a la calota. Estas cintas o correas se ajustan por debajo de la barbilla, y pueden ser: hebilla automática, es un cierre en desuso debido a que con el tiempo se va aflojando y finalmente no cumple su función correctamente; sistema de cierre micrométrico, constituido por una cremallera a un lado y una mordaza de muelle al otro; y sistema de cierre de hebilla doble-D, normalmente de uso deportivo y con una excelente capacidad de retención. El uso del casco sin el sistema de retención correctamente abrochado reduce significativamente su efectividad en caso de accidente.
- **Visera:** elemento instalado en la parte frontal del casco, con el objetivo de proteger de los rayos del sol, el barro o la lluvia. Es un elemento poco aerodinámico, empleado habitualmente para circular fuera de carretera y no recomendable para circular a elevadas velocidades.
- **Pantalla:** elemento de protección situado en el frontal del casco que permite al motorista tener un buen campo de visión. Tiene las funciones de protección frente al viento, lluvia, insectos o elementos en suspensión, y deslumbramientos. Están fabricadas de policarbonato por sus buenas propiedades mecánicas y ópticas. Adicionalmente pueden tener una doble pantalla para el sol y disponer de un sistema "Pinlock" antivaho.

Es un elemento intercambiable, estando disponibles distintos tipos según su porcentaje de transparencia. Las pantallas transparentes suelen ser las instaladas por defecto. Existen pantallas fotocromáticas que se oscurecen según la luz recibida y pantallas ahumadas; en este último caso, es posible que únicamente estén homologadas para su uso con luz de día, estando esto indicado sobre dicha pantalla (inscripción en el lateral "for daytime use only" o "if tinted, for daytime use only").

En cualquier caso, la pantalla lleva su propia contraseña de homologación, distinta de la del casco.

-
- **Mentonera:** elemento del casco destinado a la protección de la cara. En función del tipo de casco, puede formar parte de la calota exterior como una pieza única integral, ser abatible, desmontable o inexistente.
 - Sistemas **de ventilación y refrigeración:** elementos ubicados en la mentonera y en la parte superior de la calota. Posibilitan la circulación de aire dentro del casco, tanto la entrada de aire frío del exterior como la salida de aire caliente y húmedo del interior, a través de canales existentes en la calota interior y los acolchados. Las características de estas entradas/salidas (número, forma y localización) tienen implicaciones aerodinámicas, afectando al ruido y a la resistencia al avance.

Existen en el mercado distintos tipos de cascos, los cuales proporcionan diferente grado de protección:

- **Casco Retro/Classic.** Modelo que no cubre ni cara ni nuca en caso de accidente. No lleva visera. Es el modelo que proporcionar menor nivel de protección (Figura 47).



Figura 47. Casco de motorista Retro o Classic.

- **Casco Jet.** Modelo similar al casco Retro, pero con mejor protección en cara y orejas. Si incluye visera, la cara tendrá protección adicional (Figura 48).



Figura 48. Casco de motorista Jet RIDE 701.

- **Casco Integral.** Es un casco de una sola pieza, no desmontable. Protege la totalidad de la cabeza, proporcionando el mejor aislamiento acústico y aerodinámico. Debido a su elevada capacidad de protección, es el más vendido (Figura 49).



Figura 49. Casco de motorista Integral Shoei Neotec II.

- **Casco Abatible.** Se convierte en un casco Jet con un mecanismo de abatimiento de la mentonera. Esta característica lo hace ideal para viajes porque no es necesario quitarse el casco para tener liberada la cara. El nivel de protección está en un punto intermedio entre el Integral y el Jet. Suelen ser más pesados que los Integrales (Figura 50).



Figura 50. Casco de motorista Abatible UNIK CM-13.

- **Casco Off-Road.** Son los utilizados durante la práctica de trial, enduro y motocross. Suelen llevar una visera en la parte superior que proporciona seguridad. Ofrecen un amplio campo de visión y buena ventilación, no siendo recomendables para viajes. Su nivel de seguridad es bastante elevado, aunque la gran mayoría no cuentan con pantalla, siendo necesario utilizar unas gafas de protección (Figura 51).



Figura 51. Casco de motorista Off-Road HJC CS-MXII.

- **Casco Trial.** Estos cascos están diseñados para competiciones llevadas a cabo en terrenos duros, siendo recomendables para pilotos profesionales o para aficionados a la práctica de enduro. El nivel de protección de este tipo de cascos es elevado (Figura 52).



Figura 52. Casco de motorista Trial HEBO Trial Zone Policarbonato.

- **Casco Trail.** Son una combinación entre los cascos Off-Road y los Integrales. Son de una pieza, con una mentonera que permite llevar el rostro despejado y pantalla. Son más ligeros que los Integrales y ofrecen un nivel de seguridad muy similar a éstos, aunque son más ruidosos (Figura 53).
- **Casco Dual** Son una combinación entre los cascos Trial y los Integrales, muy similares a los de Trail (Figura 54).



Figura 53. Casco de motorista Trail Acerbis Reactive Graffix.



Figura 54. Casco de motorista Dual AGV AX-8 Dual EVO.

Por otro lado, y tomando en consideración los requerimientos del Reglamento CEPE/ONU 22R05, se pueden clasificar los cascos de motorista según el tipo de homologación, conforme a los siguientes grupos:

- **Homologación “J” Jet.** Cascos homologados para la circulación que no disponen de protección maxilar.
- **Homologación “NP” Jet.** Cascos con protección maxilar móvil o desmontable, y que no proporcionan protección del mentón.
- **Homologación “P” o integrales (Full face).** Cascos con protección maxilar fija, móvil o desmontable, y que proporcionan protección del mentón.
- **Homologación “P/J”.** Cascos con protección maxilar móvil o desmontable, que cumplen los requerimientos con (P) o sin (J) protector maxilar. La protección del mentón únicamente es asegurada con el protector colocado correctamente.

Los fabricantes de cascos de motocicleta suelen situar el periodo de vida útil de éstos entre cinco y ocho años aproximadamente, en función principalmente de los materiales de fabricación. Los fabricados en materiales termoplásticos pierden propiedades con más rapidez y suelen tener un período de vida de cinco años. Los fabricados con composites suelen tener una vida de unos ocho años. Los daños por golpes, impactos, o condiciones medioambientales adversas pueden adelantar la fecha de caducidad.

En el ámbito de la protección de las lesiones en la cabeza, se han desarrollado algunos dispositivos adicionales al casco como son:

- **MIPS (Multi-directional Impact Protection System).** El sistema de protección contra impactos multidireccionales se localiza en el interior del casco, por lo general entre el acolchado interior y la calota interior (Figura 55). Suele estar fabricado en policarbonato y barnizado en un material de baja fricción, aunque también se recurre a otras soluciones como tejidos de baja fricción. El espesor de la película es de 0.5 milímetros, lo cual facilita su adaptación a los cascos.

En algunos accidentes de motocicleta las lesiones graves suelen ser lesiones cerebrales, no lesiones en la cabeza. El casco protege adecuadamente frente a las fracturas de cráneo, pero el cerebro sufre con el accidente y en ocasiones resultar lesiones permanentes.

Una de las causas de estas lesiones cerebrales es el movimiento de rotación, que genera fuerzas muy intensas en el interior del cráneo. En un impacto oblicuo, dichas fuerzas pueden transferirse al cerebro y causar graves lesiones. El MIPS permite reducir el movimiento rotatorio y, por tanto, el riesgo de daños cerebrales.

El sistema MIPS permite el movimiento de la cabeza dentro del casco, lo que puede reducir el perjudicial movimiento rotatorio que, de otro modo, se transmitiría al cerebro. Al redirigir la fuerza de rotación se rebaja el riesgo de tensión sobre el tejido cerebral. Al chocar con el suelo el casco fricciona y rota por la componente tangencial del movimiento, pero el deslizamiento de la capa de baja fricción del sistema MIPS permite que la cabeza siga la dirección que llevaba, viéndose así menos afectada por la rotación angular (Figura 56).

En 2007 salió al mercado el primer casco con MIPS, que se trataba de un modelo para hípica. En la actualidad, este sistema está presente en distintos modelos de cascos de motorista.



Figura 55. Sistema MIPS (Multi-directional Impact Protection System) incorporado en un casco.

68

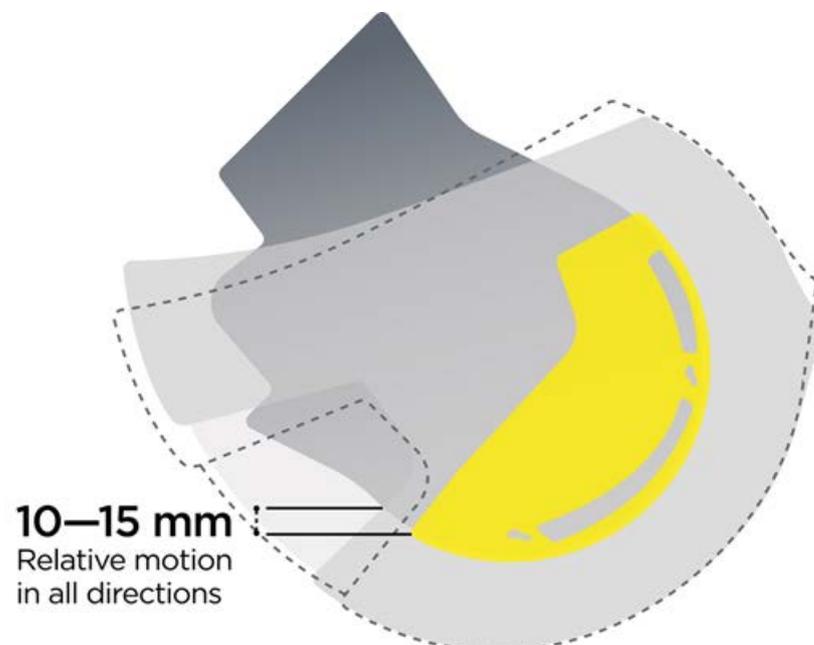


Figura 56. Movimiento relativo del sistema MIPS incorporado en un casco.

Existen algunas otras tecnologías en el mercado para el control de la rotación de la cabeza en caso de accidente, como el casco **6D ATS-I carbon** (Figura 57). El sistema dispone de un conjunto de amortiguadores de material elastómero entre las calotas exterior e interior, con capacidad de deformación y desplazamiento lateral. No obstante, el dispositivo MIPS es el más extendido actualmente.



Figura 57. Sistema de control de rotación de la cabeza en el casco 6D ATS-I carbon.

- **Neck Brace (protector de cuello).** Este sistema se coloca alrededor del cuello y limita la hiperextensión del mismo hacia delante o hacia atrás, o por compresión debido a un impacto en el casco (Figura 58 y Figura 59). Su función principal consiste en absorber la energía del movimiento de la cabeza y el casco mediante el uso de materiales absorbentes y la incorporación de zonas de rotura controlada. De este modo, las elevadas fuerzas que se generan en caso de accidente se transmiten desde el casco al tórax, protegiendo la columna vertebral.

Este dispositivo puede limitar levemente la movilidad de la cabeza, aunque no restringe ninguno de los ejes de movimiento ni de los ángulos de visión necesarios.



Figura 58. Sistema de Neck Brace de BMW Motorrad.

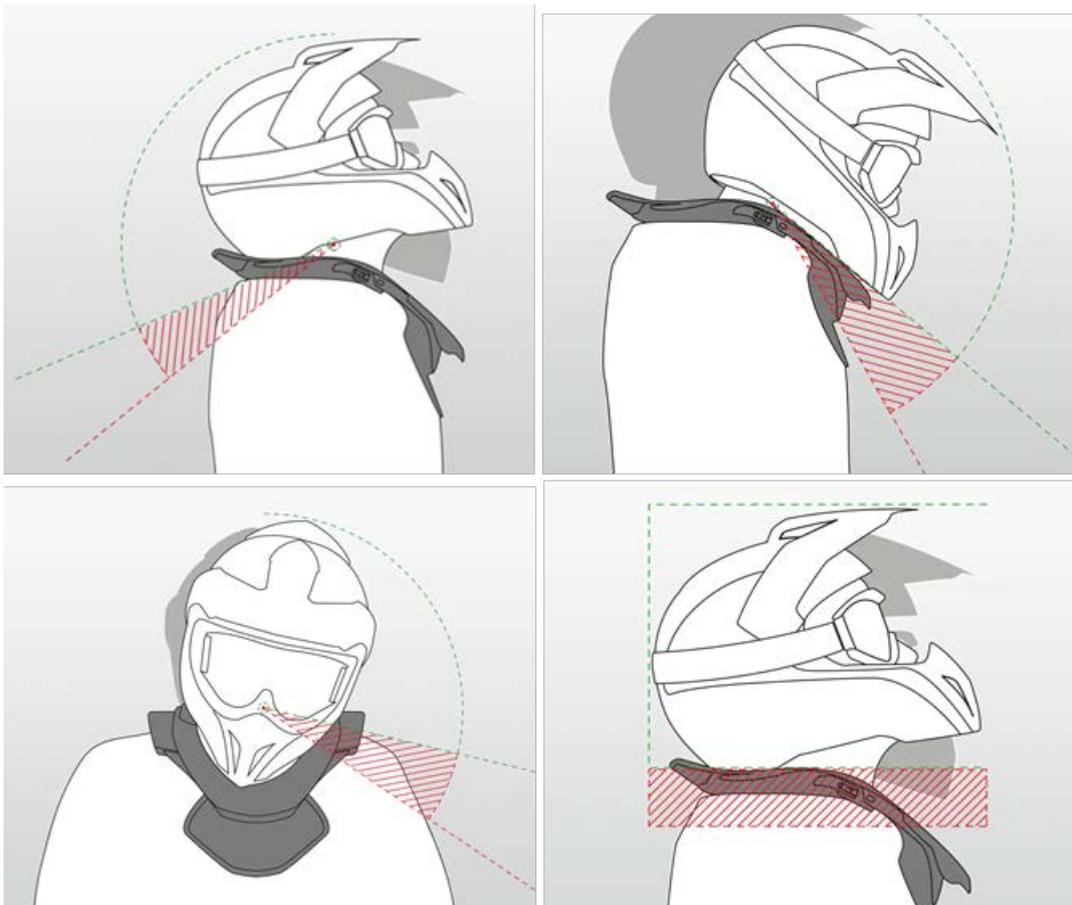


Figura 59. Restricciones de giros y desplazamiento del cuello mediante el sistema de Neck Brace de BMW Motorrad.

3.3.2.2. Chaquetas y pantalones

Las prendas para motociclismo normalmente se llevan de forma complementaria a la ropa normal, aportando cierta protección frente a las condiciones ambientales de viento, agua y frío; y frente a lesiones en caso de accidente. Se pretende además que no entorpezcan el control del vehículo por el motorista.

Ninguna prenda de protección puede ofrecer una protección total frente a todas las lesiones. De este modo, están diseñadas para aportar una protección adecuada frente a los riesgos previstos, tales como una caída de la motocicleta u otro accidente. No obstante, no están destinadas a evitar los traumatismos producidos por impactos de alta energía, los traumatismos producidos por fuerzas graves de distensión, fricción, torsión, flexión o aplastamiento resultantes del choque con un objeto, los traumatismos producidos por una abrasión extrema, los traumatismos producidos por movimientos forzados extremos, ni los traumatismos penetrantes graves, según se define en la norma UNE-EN 17092-2 (Prendas de protección para motociclistas Parte 2: Prendas de clase AAA. Requisitos [92]).

Según la norma UNE-EN 13595-1:2002 (Ropa de protección para motociclistas profesionales. Chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas. Parte 1: Requisitos generales [85]), se distinguen dos prendas principales:

- **Chaquetas largas.** Chaquetas con material protector alrededor de todo el perímetro del tronco hasta una altura de, al menos, 100 mm por debajo de la cintura del usuario.
- **Pantalones altos (incluyendo los petos).** Pantalones con material protector alrededor de todo el perímetro del tronco hasta una altura de, al menos, 100 mm por encima de la cintura del usuario.

El motociclismo engloba a un colectivo de motoristas que participan en una amplia gama de actividades. Además, dentro de cada actividad los motoristas también están expuestos a diversos niveles de riesgo, y por tanto necesitan diversas clases de protección.

Existen en el mercado distintos tipos de chaquetas de motorista, no existiendo una clasificación única, las cuales proporcionan diferente grado de protección:

- **Chaqueta de moto Turismo o Touring.** Es polivalente y versátil, diseñada para largos viajes con adaptación a distintas condiciones climatológicas (Figura 60). Ofrece un buen compromiso entre comodidad y protección, con aberturas para ventilación y posibilidad de acoplar forros térmicos y capas impermeables. Pueden encontrarse en configuración corta o de tres cuartos.



Figura 60. Chaqueta de moto Turismo DXR DANAKIL.

- **Chaqueta de moto Aventura o Trail.** Es una prenda diseñada para soportar condiciones climatológicas extremas (Figura 61). Son parecidas a las de Turismo, más ligeras, pero normalmente con mejores prestaciones en ventilación y protección frente al frío y el agua.



Figura 61. Chaqueta de moto Aventura RST Pro serie aventura-X Moto.

- **Chaqueta de moto Deportiva o Sport.** Son prendas técnicas diseñadas en cuero u otro tejido textil resistente a la abrasión (Figura 62). Disponen habitualmente de protecciones en zonas de tórax, columna y extremidades superiores, e incluso de una giba dorsal para mejorar el comportamiento aerodinámico. Normalmente proporcionan altos niveles de seguridad, pero con peor comportamiento que las anteriores en relación con el confort y la protección ante condiciones climatológicas adversas.



Figura 62. Chaqueta de moto Deportiva Dainese Super Speed Tex.

- **Chaqueta de moto Roadster.** Es una prenda derivada de la chaqueta Deportiva, con mayor grado de comodidad (Figura 63).



Figura 63. Chaqueta de moto Roadster de BMW Motorrad.

- **Chaqueta de moto Offroad.** Son chaquetas específicas diseñadas para la práctica de Offroad, generalmente Enduro. Están fabricadas con materiales resistentes y ligeros, con escasa protección frente al frío o el agua, y habitualmente sin protecciones dado que se suelen colocar sobre petos completos de protección (Figura 64).
-



Figura 64. Chaqueta de moto Enduro Kenny Titanium.

- **Chaqueta de moto Urbana.** Son chaquetas diseñadas para uso en ciudad con un elevado nivel de comodidad, con forros térmicos e incluso alguna capa impermeable, y pueden llevar protecciones en codos y hombros (Figura 65). Pueden estar fabricadas con distintos tejidos, con un nivel de protección a la abrasión variable.



Figura 65. Chaqueta de moto Urbana Seventy Degrees Sd-Jc53.

- **Chaqueta de moto Custom o Clásicas.** Son chaquetas diseñadas generalmente en cuero y con una estética inspirada en los años 60 - 70, con buena resistencia a la abrasión, e incluyendo habitualmente algunas protecciones (Figura 66).



Figura 66. Chaqueta de moto Custom Prometheus de Revit.

- **Chaqueta de moto de Verano.** Son chaquetas muy ligeras que permiten una ventilación óptima en condiciones de elevada temperatura exterior. Suelen incorporar protectores (Figura 67).



Figura 67. Chaqueta de moto de Verano Sonic Held.

Por otro lado, existen en el mercado distintos tipos de pantalones de motorista, no existiendo una clasificación única, los cuales proporcionan diferente grado de protección:

- **Pantalón de moto de cordura.** Es polivalente y versátil, diseñado para largos viajes con adaptación a distintas condiciones climatológicas, ofreciendo movilidad y ligereza. Está fabricado en cordura, basado en nailon, y está disponible en distintas calidades y resistencias. Presenta buenas propiedades de ventilación, y puede ser complementado con forros térmicos e impermeables. Suelen incorporar protecciones en rodillas, espinillas y caderas, e incluso inserciones de cuero para mejorar la resistencia a la abrasión (Figura 68).

- **Pantalón de moto de cuero.** Estos pantalones pueden presentar una versión Deportiva o Custom. Son menos confortables que los anteriores. Están fabricados en cuero, el material que presenta mayor resistencia a la abrasión. En su versión deportiva, suelen incluir protecciones resistentes en rodillas y espinillas, así como la opción de instalar deslizaderas. Los de estilo Custom suelen presentar menores protecciones (Figura 69).
- **Pantalón de moto vaquero.** Estos pantalones están fabricados en tela vaquera o denim, y suelen incorporar refuerzos interiores realizados en Kevlar para aumentar su resistencia a la abrasión. Pueden disponer de protecciones en rodillas y en ocasiones inserciones elásticas en zonas de movimiento (Figura 70).
- **Pantalón de moto Offroad.** Son pantalones específicos para ser utilizados en la práctica de enduro o motocross, con buena movilidad. Su resistencia a la abrasión es baja y suelen ser utilizados con protecciones externas, por lo que no suelen llevar protecciones rígidas (Figura 71).



Figura 68. Pantalón de moto de cordura MBSmoto MP5I Roader.



Figura 69. Pantalón de moto de cuero RevitVertex GT.



Figura 70. Pantalón de moto vaquero Dainese Tivoli Regular.



Figura 71. Pantalón de moto Offroad Answer Elite Discord.

Finalmente indicar que, aunque se han presentado por separado las prendas de chaqueta y pantalón, existen también en el mercado monos completos que integran ambas prendas (Figura 72). En algunas ocasiones, la chaqueta y el pantalón son separables.



Figura 72. Mono de moto Dainese Assen 2 Profesional perforado.

3.3.2.3. Protectores

Los protectores son dispositivos construidos con materiales para la absorción de la energía y/o difusión del impacto, diseñados para ofrecer cierta protección en distintas zonas de impacto potencial del cuerpo del ocupante de la motocicleta en caso de accidente.

Según la zona del cuerpo a la que aplican, se distinguen tres tipos de protectores:

- Protectores contra impactos en las articulaciones para motociclistas.
- Protectores de espalda para motociclistas.
- Protectores de pecho para motociclistas.

PROTECTORES CONTRA IMPACTOS EN LAS ARTICULACIONES PARA MOTOCICLISTAS

Son dispositivo de protección que se instalan en la ropa del motorista o de manera independiente, y que protegen las principales articulaciones de impactos en caso de caída.

Según la normativa aplicable (norma UNE-EN 1621-1:2013 [98]), las siguientes zonas del cuerpo se especifican como zonas de protección contra impactos en las articulaciones para motociclistas, y los protectores se deben clasificar del siguiente modo:

- a) hombro: protector "S" (Figura 73);
- b) codo y antebrazo: protector "E" (Figura 74);

-
- c) cadera: protector “H” (Figura 75);
 - d) rodilla y zona superior de la tibia: protector “K” (Figura 76);
 - e) rodilla, y zonas superior y media de la tibia: protector “K + L”;
 - f) zona de la pierna bajo el protector “K”: protector “L”.

Asimismo, la citada norma identifica dos niveles de rendimiento:

- Nivel 1: nivel mínimo requerido para que el protector aporte una protección útil en un accidente, y confiere al protector un nivel óptimo de comodidad apto para todo tipo de conducción.
- Nivel 2: ofrece un mayor rendimiento que el nivel 1. El nivel 2 puede tener una mayor desventaja de peso y comodidad.



Figura 73. Protector de hombro SAS-TEC SC-1/03.



Figura 74. Protector de codo KIT ELBOW SLIDER de Dainese.



Figura 75. Protector de cadera HARD SHORT EI de Dainese.



Figura 76. Protector de rodilla SX-I de Alpinestars.

PROTECTORES DE ESPALDA PARA MOTOCICLISTAS

Son dispositivo de protección que se instalan en la chaqueta del motorista o de manera independiente, y que protegen la columna de impactos en caso de caída.

Según la normativa aplicable (Norma UNE-EN 1621-2:2014 [99]), se definen dos niveles de rendimiento (nivel 1 y nivel 2), en función de la fuerza transmitida en el ensayo de atenuación de impactos (Apartado 5.2.2.3).

Asimismo, según la zona de la espalda a la que protege, se distinguen tres categorías de protector:

- FB: protector de espalda integral. Cubre toda la espalda, protegiendo desde las cervicales hasta casi la zona del coxis (Figura 77).



Figura 77. Protector de espalda integral H-Full Back Armor de Hevik.

- CB: protector de espalda central (Figura 78).
- LB: protector de espalda inferior (Figura 79).



Figura 78. Protector de espalda central D3O Viper Central Back Protector de RICHA.



Figura 79. Protector de espalda inferior New Bap DI Protector de Dainese.

PROTECTORES DE PECHO PARA MOTOCICLISTAS

Son dispositivo de protección que se instalan en la chaqueta del motorista o de manera independiente, y que protegen la zona frontal del tórax de impactos en caso de caída.

Según la normativa aplicable (Norma UNE-EN 1621-3:2021 [100]), se identifican dos niveles de protección:

- Nivel 1: fabricados con material blando, que aportan atenuación del impacto, pero no distribución del impacto (Figura 80).
- Nivel 2: fabricados con un material más rígido, que aportan atenuación del impacto y distribución del impacto (Figura 81).

82



Figura 80. Protector de pecho DOUBLE CHEST Nivel I de Dainese.

Los protectores de espalda y de pecho se comercializan en ocasiones como un conjunto de peto (Figura 82).



Figura 81. Protector de pecho CHEST L2 Nivel 2 de Dainese.



Figura 82. Protector de peto BIONIC ACTION 2021 de Alpinestars.

3.3.2.4. Guantes

Según se describe en la norma EN 13594:2015 (Guantes de protección para motociclistas. Requisitos y métodos de ensayo [103]), la cual será descrita en el Apartado 5.2.2.4, “los guantes para motociclistas están destinados a aportar protección frente a las condiciones ambientales, sin reducir la habilidad del usuario para manejar los controles e interruptores de la motocicleta. Además, los guantes están concebidos para proporcionar protección mecánica a las manos y muñecas en caso de accidente”.

Algunos de los problemas de seguridad de los guantes de motorista más habituales en caso de accidente son:

- Resistencia de las costuras.
- Ausencia de protecciones frente a impactos en las zonas de mayor riesgo.
- Falta de protección suficiente frente a la abrasión en la palma de la mano.
- Ausencia de unión entre los dedos anular y meñique para mitigar la debilidad de dicho dedo meñique.
- Longitud insuficiente en la zona de protección de muñeca.
- Escasos sistemas de ajuste para evitar la extracción en caso de accidente
- Falta de sensibilidad.

Teniendo en cuenta esta casuística, los guantes de protección tienen varias funciones relevantes, como son:

- Proteger las manos y la muñeca en caso de caída. Normalmente, las manos son la primera región corporal que se coloca para amortiguar el golpe. Como consecuencia de esto y del arrastre posterior, suelen ocasionarse lesiones como contusiones, abrasiones por fricción o heridas abiertas incisas o punzantes, además de magulladuras generalizadas.
- Evitar el impacto directo de cualquier objeto que pueda golpear contra el manillar de la motocicleta.
- Reducir el riesgo de pérdida de sensibilidad en las manos debido a condiciones meteorológicas adversas (lluvia, frío).
- Disminuir el peligro de resbalamiento de las manos sobre el manillar por sudoración.
- Mejorar la comodidad general del motorista y la eficiencia en la conducción.

Pueden establecerse distintas clasificaciones de los guantes, algunas de las cuales se listan seguidamente:

- Según el clima:
 - o De invierno: tienen las funciones de protección frente a lesiones en caso de accidente, así como del frío y de la humedad (Figura 83). Para ello, suelen incorporar capas de protección térmica y membranas impermeables. Suelen tener la caña alta para quedar solapados

con la chaqueta. Frente a lo anterior, presentan el inconveniente de su grosor, que resta movilidad en manos y dedos.



Figura 83. Guantes de motorista de invierno Seventy SD-R23 Lady.

- o De entretiempo: son guantes polivalentes, con un buen compromiso entre protección frente al frío y la humedad, y movilidad de la mano y los dedos (Figura 84).



Figura 84. Guantes de motorista de entretiempo REV IT SAND 3.

- o De verano: son finos y ligeros, fabricados con materiales que permiten la circulación del aire, con caña corta o sin ella, pero que también pueden incorporar protecciones adecuadas frente a la abrasión y al impacto (Figura 85).



Figura 85. Guantes de motorista de verano MOTARDZONE EXL.

- Según el entorno donde se utilicen:
 - o Urbanos: están dirigidos a un uso principalmente urbano, a velocidades de circulación medias o bajas. Suelen ser ligeros y confortables, y fáciles de poner y quitar (Figura 86).



Figura 86. Guantes de motorista urbanos TUCANO URBANO GIG.

- o Racing: están dirigidos a uso deportivo o de competición, y suelen incorporar el máximo nivel de protección en manos y dedos, lo cual les resta confort en algunas ocasiones (Figura 87).



Figura 87. Guantes de motorista Racing Dainese FULL METAL 6.

- o Off-road: son guantes diseñados para la práctica de enduro o motocross, con resistencia a la tierra, por lo que no siempre resultan adecuados para la circulación por carretera. Suelen ser ligeros y confortables, con buena ventilación, y con niveles bajos de protección (Figura 88).



Figura 88. Guantes de motorista Off-road HEBO TRIAL NANO PRO III.

3.3.2.5. Botas

Según se describe en la norma EN 13634:2017 (Calzado de protección para motoristas. Requisitos y métodos de ensayo [107]), la cual será descrita en el Apartado 5.2.2.5, “el calzado para motociclistas está destinado a proporcionar al pie, y opcionalmente al tobillo y/o parte de la espinilla, cierto grado de protección mecánica en los accidentes, sin reducir excesivamente la capacidad del conductor para controlar la motocicleta y manejar los mandos accionados con los pies”.

Los riesgos más frecuentes en los accidentes de motocicleta son:

- Abrasión con la superficie de la carretera.
- Impactos con la motocicleta, las colisiones con otros vehículos, con el mobiliario urbano, y los impactos con la superficie de la calzada.

Las lesiones producidas por la superficie de la calzada son más graves cuando el pie queda atrapado bajo la motocicleta en impactos con deslizamiento.

La citada norma incluye varias propiedades que tienen dos niveles de prestaciones en función de la protección requerida. Dichos niveles abarcan el grado de riesgo o de peligro que afronta un motociclista en cuanto al tipo de conducción y a la naturaleza del accidente. Cuando los conductores consideren que su estilo de conducción o su deporte les expone a un mayor riesgo de accidente, el "Nivel 2" de las prestaciones ofrece mayor protección. Sin embargo, es probable que este nivel superior de prestaciones tenga un efecto negativo sobre el peso y el confort, por lo que puede no ser aceptable para todos los conductores.

Existen en el mercado distintos tipos de botas de motorista, las cuales proporcionan diferente grado de protección:

- **Botas Touring.** Están diseñadas para ofrecer protección y confort durante largos periodos de tiempo, y facilitar los movimientos si hay que caminar con ellas. Es recomendable que incluyan alguna membrana impermeable en caso de lluvia, y dispongan de materiales de alta resistencia. Suelen ser botas de caña alta, que protegen pie, tobillo y espinilla (Figura 89).
- **Botas Deportivas.** Son modelos que ofrecen altas prestaciones, con un grado de confort normalmente inferior a las botas Touring, y con materiales que proporcionan elevados niveles de protección. Suelen contar con refuerzos en pie, tobillo y espinilla, con elementos rígidos que impiden la torsión, con suela antideslizante y zona delantera fina para mejorar el contacto con los mandos de pie. Su diseño dificulta la acción de caminar con ellas (Figura 90).
- **Botas Clásicas o Custom.** Son modelos en los que la estética y el confort tienen un papel relevante. Suelen ser botas confeccionadas en piel, de caña alta, y sin protecciones específicas (Figura 91).
- **Botas Offroad.** Este modelo ofrece el mayor grado de seguridad y resistencia a los golpes, siendo también las más incómodas y pesadas. Esto garantiza la seguridad de pie, tobillo y espinilla. Se utilizan habitualmente para la práctica de motocross y enduro. Están fabricadas en materiales de alta resistencia y utilizan cierres de seguridad. Las suelas son totalmente rígidas (Figura 92).
- **Botas de Trail.** Este modelo apareció como un híbrido entre las botas Touring y las Offroad. Permiten un uso mixto carretera - campo. Son más rígidas y seguras que aquellas, y más cómodas y flexibles que las botas Offroad, por lo que están a medio camino entre ambas. Muchos de los modelos disponen de una membrana impermeable (Figura 93).
- **Botas Urbanas.** Este modelo es una adaptación del calzado urbano a su uso sobre una motocicleta. Son ligeras y confortables, próximas al calzado convencional, con algunos elementos de protección adicionales los cuales suelen proteger el tobillo, y con refuerzos en la zona de la palanca de cambio. La suela es blanda y flexible para poder caminar cómodamente (Figura 94).



Figura 89. Botas de motorista Touring Dainese FULCRUM GT GORE-TEX.



Figura 90. Botas de motorista Deportivas Alpinestars SMX-Plus.



Figura 91. Botas de motorista Custom A-pro Biker Custom Cruiser.



Figura 92. Botas de motorista Offroad Sidi Crossfire 3 SRS.



Figura 93. Botas de motorista Trail O'Neal Taranis ES.



Figura 94. Botas de motorista Urbana Seventy Degrees SD-BC7.

3.3.2.6. Airbag

Los protectores inflables para motoristas (airbag) son dispositivos con una bolsa de aire, incorporados dentro de otras prendas o llevados sobre éstas, con el objetivo de reducir la gravedad de las lesiones en caso de accidente de la motocicleta. Dicho dispositivo protege fundamentalmente las regiones corporales de tórax y columna.

Este sistema se desarrolló inicialmente para la competición siendo su uso obligatorio en MotoGP desde el año 2018, aunque luego se ha extendido su utilización a la circulación por vías públicas.

Los sistemas airbags de motorista constan de los siguientes componentes básicos:

- **Módulo de airbag:** contiene la bolsa de aire y el inflador. El inflador es el encargado de generar el gas de llenado de la bolsa a elevada velocidad, cuando recibe la señal de activación procedente de la unidad de control electrónica y del disparador. En el caso de airbags de activación mecánica mediante correa, el disparador es accionado directamente por dicha correa.
- **Sensores de impacto:** conjunto de acelerómetros, normalmente instalados en la horquilla de la motocicleta, encargados de la medida de la aceleración en la posible zona de impacto del frontal del vehículo. Únicamente son utilizados en dispositivos airbag con disparador comunicado inalámbricamente con sensores de impacto.
- **Unidad de control electrónico:** recibe constantemente las señales procedentes de los sensores de impacto y, en caso necesario, determina la necesidad de inflado del airbag enviando al disparador la señal de activación. No está presente en airbags de activación mecánica mediante correa.
- **Disparador:** dispositivo encargado de iniciar el inflado de la bolsa. Puede ser accionado: mecánicamente mediante correa, o de manera electrónica desde una señal generada por la unidad de control.

Los airbags disponibles en el mercado difieren según distintos parámetros, tales como:

- Método de activación del disparador.
- Presión de inflado.
- Volumen de la bolsa.
- Tiempo de retardo del disparador: Varía aproximadamente entre 20 ms y 200 ms trascurridos desde el impacto inicial (requisitos mínimos recogidos en la norma UNE-EN 1621-4:2013 ([111], Tabla 32)).
- Tiempo de inflado. Los requisitos mínimos se recogen en la norma UNE-EN 1621-4:2013 ([111], Tabla 32).
- Tiempo de desinflado. Este tiempo debe ser superior al de los airbags utilizados en automoción. Esto se consigue mediante una abertura muy pequeña en la bolsa, a través de la cual el aire se escapa lentamente, ya que el airbag tiene que seguir protegiendo incluso después de la fase de deslizamiento sobre el suelo (requisitos mínimos recogidos en la norma UNE-EN 1621-4:2013 ([111], Tabla 32)).

- Composición del gas. Los airbags montados habitualmente en los vehículos utilizan generadores de gas pirotécnicos. Esta solución no siempre es válida para los airbags de motorista debido a la elevada temperatura que se genera, no siendo posteriormente reutilizables. Algunos airbags de motorista se suelen inflar con acumuladores de gas a presión, normalmente dióxido de carbono; este gas es menos inflamable que el utilizado en los airbags instalados en los vehículos. Otros emplean cartuchos de inflado de gases como el argón (certificados según la normativa ISO 14451 de artículos pirotécnicos [112]), que sólo funcionarán conectados a la unidad electrónica. Esta normativa también certifica que los cartuchos pueden manejarse, montarse y transportarse de forma totalmente segura.
- Localización del recipiente que lo contiene.

Pueden distinguirse tres categorías según el método de activación del disparador del airbag:

- Disparador del airbag conectado al chasis de la motocicleta con una correa de unión. Es un dispositivo de activación mecánica. Cuando el ocupante es separado bruscamente del vehículo, se activa el disparador del airbag, el cual está directamente conectado a la correa de unión a la motocicleta (Figura 95).
- Disparador del airbag comunicado inalámbricamente con sensores de impacto, localizados en la zona delantera de la motocicleta (Figura 96). El sensor de impacto puede estar instalado en la horquilla y actúa en combinación con sensores de movimiento del motorista implementados en el chaleco.
- Disparador de airbag autónomo incorporado en la chaqueta o chaleco. Este sistema es independiente de la motocicleta. Esta es la tecnología incluida en los chalecos Street-Air y Tech-Air Street, desarrollada conjuntamente por BMW Motorrad y Alpinestars. En este caso, el conjunto del sistema está integrado en la joroba del protector de espalda (Figura 97), e incluye la unidad de control, dos recipientes de aire a presión y los sensores de detección del evento.

El algoritmo de cálculo trata de detectar si el motorista se desestabiliza o puede producirse un impacto inminente. El dispositivo elabora la respuesta en 30 -60 ms, y tiene un tiempo de inflado de unos 25 ms. La bolsa se llena en décimas de segundo, y cubre el torso, hombros, espalda y costados (Figura 98). El sistema dispone de una batería de alimentación, que requiere ser recargada.

Algunos de estos sistemas están disponibles como chalecos (Figura 97), que se pueden usar por encima o por debajo de la chaqueta, y otros están directamente integrados en la chaqueta (Figura 99).



Figura 95. Chaleco Airbag de correa Hit-Air MLV-CS.



Figura 96. Chaleco Airbag Helite Turtle 2 HI-VIS Electrónico + Sensor Horquilla SDU.



Figura 97. Protector de espalda de los chalecos Street-Air y Tech-Air Street (BMW Motorrad y Alpinestars).

94



Figura 98. Bolsa de aire integrada en los chalecos Street-Air y Tech-Air Street (BMW Motorrad y Alpinestars).



Figura 99. Chaqueta con airbag integrado modelo Dainese MISANO D-AIR® JACKET.

3.4. El futuro de los sistemas de protección

3.4.1. Proyecto SAFERIDER

El proyecto SAFERIDER ([15]) analizó el potencial de los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS, Advanced Driver Assistance Systems) y de los sistemas de información a bordo (IVIS, In-Vehicle Information Systems) para mejorar la seguridad y el confort del piloto.

Para el cumplimiento de este objetivo llevaron a cabo la integración de cuatro sistemas IVIS y otros tantos sistemas ADAS, según se muestra en la siguiente figura (Figura 100), para el desarrollo de un demostrador OBIS (On-Bike Information Systems).

Después de la realización de ensayos piloto con el prototipo demostrador, concluyeron que el dispositivo tenía buena aceptación por parte de los pilotos, especialmente la información que iba acompañada de dispositivos hápticos de aviso.

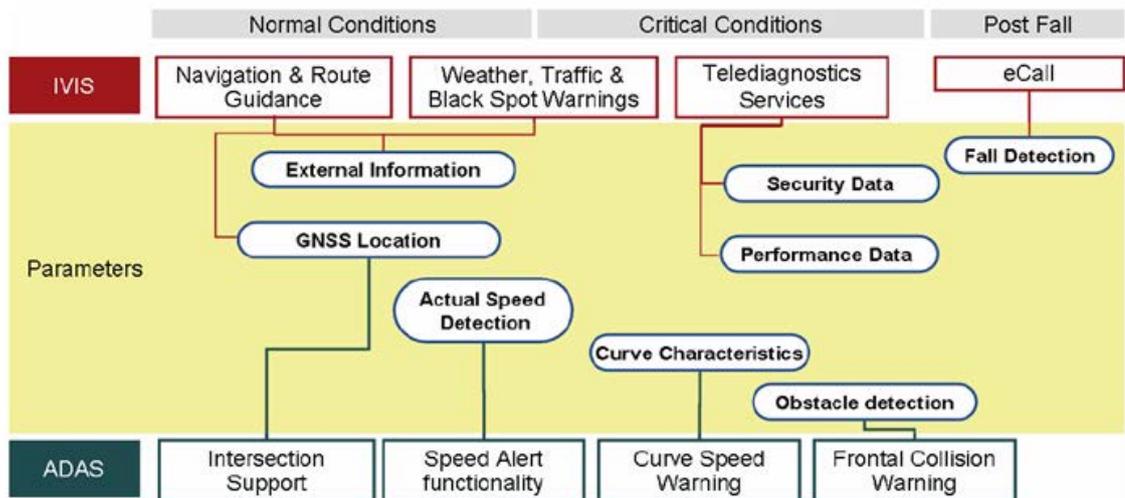


Figura 100. Arquitectura del demostrador desarrollado en el proyecto SAFERIDER ([15])

3.4.2. Connected Motorcycle Consortium (CMC)

El consorcio CMC constituye una organización sin ánimo de lucro de colaboración entre fabricantes, proveedores, investigadores y asociaciones, con el objetivo de alinear a la motocicleta con la movilidad conectada del futuro. Para ello, se están llevando a cabo acciones para promover y desarrollar los sistemas C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) a escala global.

Tomando en cuenta que la principal causa de ocurrencia de accidentes de motocicletas es pasar desapercibidas en el tráfico, este Consorcio identifica tres categorías de actuación en relación con estos sistemas ([14]):

- Ver y ser vistos por otros usuarios de la vía. Incluye aplicaciones de alerta a la colisión:
 - IMA (Intersection Movement Assist)
 - LTA (Left Turn Assist)
 - LCW/BSW (Lane Change Warning/Blind Spot Warning)
 - FCW (Forward Collision Warning)
 - DNPW (Do Not Pass Warning)
- Tomar consciencia de lo inesperado:
 - EEBL (Electronic Emergency Brake Light)
 - HLN (Hazardous Location Notification)
 - AEWV (Approaching Emergency Vehicle Warning)
 - AWW (Adverse Weather Warning)
 - RWW (Road Works Warning)
 - SVW (Stationary Vehicle Warning)
 - TJW (Traffic Jam Warning)
 - DCW/CSW (Dangerous Curve Warning/Curve Speed Warning)
 - WWD (Wrong Way Driving)
 - SSVW (Stop Sign Violation Warning)
 - TLVW (Traffic Light Violation Warning)
- Conducir con menos estrés:
 - GLOSA (Green Light Optimal Speed Advisory)
 - IVS (In-Vehicle Signage)
 - LMA (Lane Merge Assist)

Además de lo indicado en las categorías previas, este Consorcio promueve el desarrollo de sistemas Motorcycle Approach Indication and Motorcycle Approach Warning (MAI/MAW), para la integración en los sistemas Vehicle-to-Everything (V2X), de manera que cualquier conductor tenga información de la aproximación de una motocicleta. MAW es una denominación genérica que engloba a los sistemas LTA/IMA/BSW/FCW/DNPW, esto es, los sistemas incluidos en la categoría “Ver y ser vistos por otros usuarios de la vía”.

3.4.3. Sistema de frenada de emergencia autónoma para motocicletas (MAEB)

Los sistemas de frenada de emergencia autónoma (AEB) o sistemas avanzados de frenado de emergencia comparan la velocidad del vehículo en el que están embarcados con la velocidad de los objetos del entorno, y determinan el riesgo de una colisión inminente. En el caso de riesgo de

impacto, este sistema actúa: en una primera fase; avisando al conductor; y en una segunda fase, si el conductor no reduce la velocidad según sea requerida, frenando automáticamente para intentar evitar dicha colisión.

Estos sistemas han sido desarrollados para vehículos automóviles, y utilizan la fusión de información procedente de sensores Rádar/Lidar y de cámaras, para estimar los parámetros de actuación. Su implementación está considerada en los Reglamentos (UE) N° 661/2009 ([5]) y N° 2019/2144 ([6]), los cuales no aplican actualmente a las motocicletas.

Frente a lo anterior, y a pesar del notable potencial en relación con la evitación de accidentes con implicación de motocicletas, dichos sistemas no han sido todavía implementados comercialmente en estos vehículos.

4

Análisis de efectividad de los sistemas de seguridad

Durante el análisis de búsqueda de evidencias científicas de la efectividad de los sistemas de seguridad de motocicletas y motoristas considerados en el presente informe se han examinado las investigaciones desarrolladas en los siguientes proyectos y consorcios internacionales:

1. COST Action 327 (Motorcycle Safety Helmets) [62]. Duración: 1995 – 1999.
2. MAIDS project (Motorcycle Accidents In Depth Study) [19]. Duración: 1998 – 2000.
3. ERSO (European Road Safety Observatory) [8]. Duración: 2004 – 2021.
4. PROSPER project (Project for Research On Speed adaptation Policies on European Roads) [49]. Duración: 2002 – 2006.
5. APROSYS project (Advanced Protection Systems) [59]. Duración: 2004 – 2009.
6. COST Action 357 (Accident Prevention Options with Motorcycle Helmets) [55]. Duración: 2005 – 2009.
7. SIM project (Safety In Motion). Duración: 2006 – 2009.
8. PISa (Powered Two Wheeler Integrated safety) [40]. Duración: 2006 – 2010.
9. SAFERIDER project (Advanced telematics for enhancing the SAFETY and comfort of motorcycle RIDERS) [15]. Duración: 2008 – 2010.
10. eSUM Project (Making Urban Motorcycling Safer) [16]. Duración: 2009 – 2010.
11. 2-BE-SAFE project (2-wheeler BEhaviour and SAFETY) [17]. Duración: 2009 – 2011.
12. ROSA project (ROsa SAFety for the motorcyclists) [18]. Duración: 2010 – 2011.
13. RIDERSCAN project (European Scanning Tour for Motorcycle Safety) [9]. Duración: 2011 – 2014.
14. MOSAFIM Project (MOTORcyclists road SAFETY IMprovement through better behaviour of the equipment and first aid devices) [72]. Duración: 2012 – 2013.
15. HeERO1 y HeERO2 projects (Harmonised eCall European Pilot Project). Duración: 2011 – 2014.
16. ABRAM Project (Autonomous Braking for Motorcycles) [20]. Duración: 2013 – 2016.

17. SAFERWHEELS project (Study on Powered Two-Wheeler and Bicycle Accidents in the EU) [25]. Duración: 2014 – 2017.
18. MOTORIST project (MOTOrcycle Rider Integrated SafeTy) [21]. Duración: 2014 – 2018.
19. SAFE2WHEELERS COST Action TU1407 (Scientific and technical innovations for safer PTW) [26]. Duración: 2015 – 2019.
20. sAFE project (Aftermarket eCall For Europe). Duración: 2019 – 2020.
21. CMC Consortium (Connected Motorcycle Consortium) [14]. Duración: 2015 – 2021.
22. PIONEERS project (Protective Innovations of New Equipment for Enhanced Rider Safety) [60]. Duración: 2018 – 2021.

4.1. Sistemas de seguridad de motocicletas

4.1.1. Sistemas de protección primaria

4.1.1.1. Sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS)

El mantenimiento de la presión de inflado en los neumáticos recomendada por el fabricante resulta en:

- Mejora en los procesos de tracción y de maniobrabilidad.
- Conducción más confortable.
- Reducción del consumo.
- Extensión de la vida de los neumáticos.

Cuando se reduce la presión del neumático aumenta la huella de contacto neumático-calzada, provocando:

- Aumento de la temperatura de funcionamiento del neumático.
- Mayor riesgo de deslizamiento.
- Empeoramiento de los procesos de maniobrabilidad.
- Incremento del desgaste del mismo.
- Incremento del consumo.

Existe poca información acerca de la influencia de la pérdida de presión en los neumáticos de la motocicleta sobre la ocurrencia de accidentes de tráfico reales. En muchas ocasiones los neumáticos resultan dañados como consecuencia de la colisión, y no existe registro de la presión de los mismos en los instantes previos al impacto. Por ello, es difícil el análisis de la efectividad de los sis-

temas TPMS instalados en las motocicletas en relación con la evitación de los accidentes en que se ven implicados.

En el estudio en profundidad de 921 ciclomotores y motocicletas accidentados llevado a cabo en el proyecto europeo MAIDS (In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers [19]) se realizó un análisis en detalle de las causas y consecuencias presentes en dichos accidentes. Este proyecto estuvo liderado por ACEM (European Association of Motorcycle Manufacturers) y se evaluaron accidentes ocurridos en 5 países europeos. En relación con las causas de los mismos, se concluyó que el fallo en los neumáticos fue la causa de ocurrencia del 3.7% de los siniestros, resultado el fallo mecánico más habitual en la muestra analizada.

Diversos autores han evaluado, mediante modelos de simulación y ensayos reales, el efecto de la presión de los neumáticos de las motocicletas sobre su comportamiento dinámico. Algunos de ellos se describen a continuación.

M. Massaro et al. ([22]) estudiaron experimental y numéricamente el efecto de la presión de inflado de los neumáticos de motocicleta sobre su estabilidad, concretamente sobre el efecto “shimmy” (“wobble”) de oscilación en la rueda delantera, y el efecto “weave” de oscilación en la trasera. Estos autores concluyeron que la reducción de la presión empeoraba ambos efectos de inestabilidad a casi todas las velocidades de ensayo.

A. Bansal et al. ([23]) modelaron el comportamiento de una motocicleta con objeto de evaluar la influencia de la presión de los neumáticos sobre su comportamiento dinámico. Para el análisis de la maniobrabilidad, consideraron dos ensayos a distintas velocidades: slalom y cambio de carril. En ambos ensayos concluyeron que la reducción de la presión en los neumáticos empeoraba el tiempo de respuesta y la capacidad de balanceo, e incrementaba el esfuerzo requerido sobre la dirección.

Junto a esto, también evaluaron el efecto de la presión de inflado en maniobras de frenado en línea recta (conforme al Reglamento N° 78 [79]); en este caso y a diferencia de los ensayos de maniobrabilidad, los resultados mostraron deceleraciones de frenado superiores en el caso de utilización de presiones menores.

En línea con los resultados precedentes, L. Peck et al. ([24]) evaluaron el efecto de la presión de los neumáticos sobre los valores de deceleración, en maniobras de frenado a fondo con aplicación única del sistema de frenado trasero en motocicletas sin sistema ABS. Estos ensayos fueron realizados con un modelo Suzuki GSF1200S Bandit (neumáticos Michelin Pilot radial), en asfalto seco, y desde una velocidad inicial de 30 mph. Se emplearon dos presiones de inflado, 40 psi y 20 psi. Los resultados mostraron valores más elevados de deceleración en el caso de la menor presión de inflado.

En el marco del proyecto de investigación SAFERWHEELS (Study on Powered Two-Wheeler and Bicycle Accidents in the EU [25]) se analizó en profundidad una muestra de 385 accidentes con implicación de ciclomotores y motocicletas. A.P. Morris et al. concluyeron que el fallo en los neumáticos fue la causa de ocurrencia del 5% de los siniestros, resultado el fallo mecánico más habitual en la muestra analizada.

4.1.1.2. Sistema de frenado antibloqueo (ABS)

La efectividad del ABS varía según las características de la motocicleta (diferencias en potencia y tipo de frenos), y según la destreza del motorista.

Como se ha indicado en el Apartado 3.2.1.6, los objetivos del sistema ABS son prevenir la caída del motorista durante la maniobra de frenado y reducir la distancia de dicha maniobra. Debe tenerse en cuenta que el riesgo de fallecimiento o de resultar herido grave cuando se produce la caída del usuario de la motocicleta es dos veces mayor que cuando dicho usuario no se cae ([27]). En este mismo estudio, Baum et al. asumieron que el sistema ABS era efectivo en el 85% de los accidentes con caída del motorista.

Sporner y Kramlich ([28]) utilizaron una base de datos en profundidad con 610 accidentes, y evaluaron que en el 65% de todos los accidentes entre una motocicleta y otro vehículo, el motorista pudo realizar una maniobra de frenado antes del impacto. En el 19% de estos casos el motorista cayó al suelo antes de la colisión. Finalmente, concluyeron que el 55% de todos los accidentes podría haberse beneficiado de la instalación del sistema ABS en la motocicleta.

Un estudio llevado a cabo por el Austrian Road Safety Board ([29]) evaluó la influencia del sistema ABS en maniobras de frenado severas llevadas a cabo por motoristas. En este estudio se incluyeron tanto motoristas noveles como experimentados, obteniéndose las siguientes conclusiones: en motocicletas sin ABS, los conductores experimentados alcanzaron deceleraciones de 0.7 g's, frente a valores de 0.6 g's en conductores noveles con una formación previa de 6 horas; en motocicletas con ABS, ambos grupos alcanzan valores similares de 0.8 g's, tras recibir unas breves instrucciones de ejecución de la maniobra.

En 2003, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) en colaboración con el Transport Canada (TC) realizaron un proyecto de investigación sobre el frenado en motocicletas de las categorías L3e-A2/A3 ([30]), con el objetivo de evaluar la efectividad de los sistemas ABS y CBS, en distintas maniobras y condiciones de carga. La metodología aplicada se basó en: ensayos con seis motocicletas, sobre superficies seca y mojada, en frenadas en recta y en curva, y en condiciones de vacío y carga máxima.

Tras la finalización de los ensayos se pudo concluir que la instalación del ABS proporcionó una mejora general de la maniobra de frenado tanto en superficies seca como mojada, aunque se constató que dichas maniobras con ABS requerían también atención por parte del motorista ante posibles inestabilidades dinámicas.

Gwehenberger et al. realizaron en 2006 un estudio sobre una muestra de 200 accidentes graves con implicación de motocicletas ([31]). Para ello, se llevó a cabo la reconstrucción de todos ellos, evaluando cómo habría afectado la instalación de un sistema ABS a la ocurrencia de los mismos. Este análisis concluyó que entre el 8% y el 17% de todos los casos podrían haber sido evitados mediante la instalación de dicho sistema ABS.

M. Zimmermann y A. Georgi ([32]) analizaron, a petición del fabricante Bosch, una muestra de accidentes con implicación de motocicletas de la base de datos en profundidad GIDAS (German In-Depth Investigation Accident Study) Los autores concluyeron que al menos el 26% de los accidentes podrían haber sido evitados si las motocicletas hubieran estado dotadas de sistema ABS.

En el informe publicado por TRL ([33]) sobre evaluación del impacto de nuevas medidas aplicables a vehículos de la categoría L, se concluyó que un motorista promedio puede alcanzar deceleraciones en maniobras de frenado severas entre 0.6 – 0.7 g's con una motocicleta sin sistema ABS instalado, frente a valores superiores a 0.9 g's en el caso de motoristas experimentados. En el caso de motocicletas con ABS instalado, un motorista promedio podría conseguir valores máximos de deceleración muy próximos a los alcanzables por uno experimentado, con una mejora significativa de la confianza durante la ejecución de dicha maniobra.

Adicionalmente, en este informe de TRL se incluyó una estimación económica de los beneficios alcanzables gracias a la incorporación de los sistemas avanzados de frenado. Y se consideró, a partir del análisis del estado del arte, que: la efectividad del sistema ABS en relación con la reducción de usuarios de motocicletas fallecidos era del 18%, y la del CBS del 8%; y la efectividad del sistema ABS en relación con la reducción de usuarios de motocicletas heridos graves era del 10%.

En el estudio en profundidad de 921 ciclomotores y motocicletas accidentados llevado a cabo en el proyecto MAIDS (In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers, [19]) se realizó un análisis en detalle de las causas y consecuencias presentes en dichos accidentes. En relación con las causas de los mismos, se concluyó que se produjo la pérdida de control del motorista durante la maniobra previa de evitación de la colisión en el 32% de los casos. La causa principal de dicha pérdida estuvo relacionada con la ejecución de la maniobra de frenado (13.1% del total de los casos). Si se consideraban los casos con implicación de un único ciclomotor/motocicleta (145 casos), la ejecución de la maniobra de frenado constituyó la causa principal de la pérdida de control en el 17.3% de estos casos.

Eric R. Teoh evaluó en 2011 el efecto de la instalación del sistema ABS para la prevención de accidentes mortales ([34]). Los datos utilizados fueron extraídos de la Fatality Analysis Reporting System (FARS), NHTSA (2003 - 2008), y únicamente fueron considerados modelos de motocicletas que dispusieran del ABS como sistema opcional. El indicador empleado fue el número de accidentes mortales por cada 10000 vehículos registrados. El estudio concluyó que dicho indicador era un 37% inferior en el caso de modelos equipados con ABS frente al mismo modelo de motocicleta sin el dispositivo. El mismo autor publicó un nuevo estudio en 2013 ([35]) con datos actualizados extraídos de la Fatality Analysis Reporting System (FARS), NHTSA (2003 - 2011), concluyendo que el indicador era un 31% inferior en el caso de modelos equipados con ABS frente al mismo modelo de motocicleta sin el dispositivo.

El Highway Loss Data Institute ([36]) realizó un estudio para evaluar la influencia del ABS y el CBS instalados en motocicletas implicadas en accidentes, considerando los costes en que incurrió la compañía aseguradora como consecuencia del siniestro. En este análisis se incluyeron únicamente modelos de motocicletas en las que estos sistemas se ofertaran como opcionales, y se llevaron a cabo emparejamientos de modelos con reclamaciones en ambos casos, con y sin el sistema avanzado de frenado disponible.

La metodología utilizada se basó en la modelización de la frecuencia de las reclamaciones mediante una distribución de Poisson, y de la gravedad de las mismas mediante una distribución Gamma. Los costes totales fueron estimados a partir de ambas modelizaciones. Las conclusiones obtenidas indicaron que la instalación del ABS en motocicletas resultó en una disminución del 20.1% en la frecuencia de las reclamaciones; y una disminución del 20.3% en los costes totales.

En el marco del proyecto de la FIA “Light Motorcycle Safety” ([37]), en el que colaboró el RACC, se realizaron ensayos de frenada en línea recta con cinco motocicletas ligeras (categoría L3e-A1). El objetivo de este estudio fue ofrecer a legisladores y usuarios de vehículos de dos ruedas recomendaciones básicas sobre sistemas de frenada convencionales, combinados y con sistema ABS. Para ello, se llevaron a cabo 251 frenadas de pánico en distintas superficies (superficies de asfalto seco, parcialmente sucia y mojada), con dos pilotos diferentes. Durante dichos ensayos se tomaron como referencia los requerimientos normativos ([71], y [79]). Los resultados experimentales permitieron concluir que:

- Los valores máximos de deceleración en todas las superficies se alcanzaron en la motocicleta con los sistemas ABS/CBS instalados.
- La motocicleta con sistema convencional (sin ABS ni CBS) sólo consiguió deceleraciones del 60% en mojado, respecto al caso anterior:
- En todos los vehículos con sistemas de frenado con ABS, las diferencias específicas entre pilotos fueron muy pequeñas, lo cual demuestra que los sistemas ABS no sólo permiten un mejor rendimiento durante la frenada, sino una mejor reproducción de buenos rendimientos de frenada.
- Como recomendación del informe se propuso que, de forma transitoria, un sistema CBS correctamente configurado podría mejorar la frenada y efectividad de la maniobra de frenada considerablemente. Sin embargo, cuando se trata de la estabilidad de conducción, sólo el sistema ABS es capaz de impedir la pérdida del control sobre el vehículo y, posiblemente, la caída.

T. Lich et al. ([38]) realizaron, por encargo del fabricante Bosch, una investigación sobre accidentes con implicación de motocicletas en India, a partir de datos de la base Road Accident Sampling System for India (RASSI). Los autores concluyeron que el 33% de estos accidentes habrían sido evitados en el caso de disponer de sistema ABS, y un 16% adicional se habría beneficiado de una reducción significativa de la velocidad de colisión.

M. Rizzi et al. llevaron a cabo un estudio para evaluar la efectividad del ABS en motocicletas en relación con la reducción de accidentes reales ([39]). La metodología utilizada aplicó herramientas estadísticas de regresión logística (estimación del parámetro Odd Ratio, OR) y el método de exposición inducida. El análisis se aplicó a accidentes de España, Italia y Suecia, comparando los mismos modelos de motocicleta con y sin sistema ABS. La efectividad del sistema ABS para la reducción de accidentes resultó: 20% – 38% (intervalo de confianza del 95%) en España; 12% – 36% (intervalo de confianza del 95%) en Italia; y 16% – 52% (intervalo de confianza del 95%) en Suecia.

Asimismo, M. Rizzi et al. llevaron a cabo posteriormente otro análisis para analizar la efectividad combinada del ABS y CBS en la reducción de accidentes y de la gravedad de las lesiones en los mismos ([41]). Para ello, se evaluaron los registros hospitalarios de accidentes de tráfico de la base de datos sueca STRADA entre 2003 y 2012, y se estimaron los números de lesionados con incapacidad permanente superior al 1% (PMI+1). Este estudio permitió concluir que: el número de casos reportados a hospitales fue inferior en un 49% en el caso de motocicletas con sistemas ABS + CBS; el número de lesionados PMI+1 se redujo en un 50% en el caso de motocicletas con ABS, y en un 56% en el caso de motocicletas con ABS + CBS.

4.1.1.3. Sistema de frenado combinado (CBS)

El análisis de efectividad del sistema CBS se ha realizado habitualmente en la bibliografía en combinación con el sistema ABS, como ha sido descrito en el Apartado 4.1.1.2. Por ello, se extrae a continuación la evaluación específica en relación con dicho sistema CBS de los estudios incluidos en el apartado precedente.

En el informe de TRL ([33]) sobre evaluación del impacto de nuevas medidas aplicables a vehículos de la categoría L, se incluyó una estimación económica de los beneficios alcanzables gracias a la incorporación de los sistemas avanzados de frenado. Y se consideró, a partir del análisis del estado del arte, que la efectividad del sistema CBS en relación con la reducción de usuarios de motocicletas fallecidos era del 8%.

El Highway Loss Data Institute ([36]) realizó un estudio para evaluar la influencia del ABS y el CBS instalados en motocicletas implicadas en accidentes, considerando los costes en que incurrió la compañía aseguradora como consecuencia del siniestro. Tomando en cuenta la metodología descrita, las conclusiones obtenidas indicaron que la instalación del ABS + CBS en motocicletas resultó en una disminución del 31.3% en la frecuencia de las reclamaciones; y una disminución del 34.2% en los costes totales. Al comparar con la efectividad por la instalación del ABS únicamente, pudo concluirse que el sistema CBS redujo la frecuencia de las reclamaciones un 11.2% adicional, y disminuyó los costes totales de las mismas un 13.9% adicional.

Asimismo, en el marco del proyecto de la FIA "Light Motorcycle Safety" ([37]), en el que se realizaron ensayos de frenada en línea recta con motocicletas de la categoría L3e-A1, se concluyó que la instalación del ABS + CBS en estas motocicletas posibilitó alcanzar los valores máximos de deceleración en todas las superficies ensayadas.

C. van der Zweep et al. realizaron numerosos ensayos en pista con motocicletas en el marco de la Tarea 6 del proyecto PISa (Powered Two Wheeler Integrated safety) [40], y concluyeron que la instalación de sistemas CBS posibilitaba una reducción de la distancia media de detención del 18.5%.

M. Rizzi et al. llevaron a cabo posteriormente otro análisis para analizar la efectividad combinada del ABS y CBS en la reducción de accidentes y de la gravedad de las lesiones en los mismos ([41]). Este estudio permitió concluir que: el número de casos reportados a hospitales fue inferior en un 49% en el caso de motocicletas con sistemas ABS + CBS; y el número de lesionados PMI+I se redujo en un 56% en el caso de motocicletas con ABS + CBS, un 6% más efectivo que en el caso de instalar únicamente el sistema ABS.

4.1.1.4. Sistema de control de estabilidad (MSC)

En el marco del proyecto de investigación SAFERWHEELS (Study on Powered Two-Wheeler and Bicycle Accidents in the EU [25]) se analizó en profundidad una muestra de 385 accidentes con implicación de ciclomotores y motocicletas. A.P. Morris et al. concluyeron que en los accidentes con fallecidos y heridos graves y con implicación de un único vehículo, el 64% se produjo por pérdida de control durante la trazada de una curva.

Si se considera que el dispositivo MSC también incorpora la función antibloqueo en frenada ABS, ya se señaló en el Apartado 4.1.1.2 el estudio de M. Zimmermann y A. Georgi ([32]) quienes con-

cluyeron, a petición también del fabricante Bosch, que al menos el 26% de los accidentes podrían haber sido evitados si las motocicletas hubieran estado dotadas de sistema ABS. Adicionalmente, resultaría que el 31% de los accidentes en Alemania habrían sido evitados con la instalación de este sistema MSC.

T. Lich et al. ([42]) llevaron a cabo un estudio solicitado por el fabricante Bosch, con objeto de evaluar la efectividad de su sistema MSC (Motorcycle Stability Control). Para ello, emplearon una muestra de 2165 accidentes analizados en profundidad, procedentes de la base de datos GIDAS (German In-Depth Accident Study). Dadas las características de actuación del sistema MSC (descrito en el Apartado 3.2.1.10), únicamente fueron considerados accidentes en curva con implicación de motocicletas, los cuales suponían el 16% de todos los ocurridos en Alemania durante el período considerado (2001 - 2012). En estos casos, la respuesta inicial del motorista fue la aplicación esfuerzo de frenado, con las consecuencias de: caída o salida de la trazada por exceso de esfuerzo de frenado, o salida de la vía por defecto de dicho esfuerzo de frenado. Todos los casos fueron reconstruidos nuevamente considerando la instalación del dispositivo MSC en cada motocicleta implicada. Los autores concluyeron que el 5% de los accidentes analizados podrían haber sido evitados con la instalación de este dispositivo, considerando únicamente la contribución del mismo a la trazada de la curva.

4.1.1.5. Sistema asistente de velocidad inteligente (ISA)

La velocidad de circulación constituye una de las principales variables de influencia tanto en la ocurrencia de los accidentes como en la gravedad de los mismos. La probabilidad de ocurrencia de algunos tipos de accidentes está directamente relacionada con dicha velocidad. Asimismo, la desviación respecto a la velocidad promedio del flujo de tráfico también desempeña un papel relevante sobre dicha probabilidad. A velocidades elevadas de circulación, esta desviación también influye significativamente en la gravedad de dichas colisiones.

106

En el estudio en profundidad de 921 ciclomotores y motocicletas accidentados llevado a cabo en el proyecto MAIDS ([19]) se realizó un análisis en detalle de las causas y consecuencias presentes en dichos accidentes. En relación con las causas de los mismos, se concluyó que el 18% de los vehículos accidentados circulaban a una velocidad diferente a la del flujo de tráfico, y esta diferencia fue relevante para la ocurrencia del siniestro; este porcentaje ascendió al 21% en el caso de las motocicletas.

En el marco del proyecto de investigación SAFERWHEELS (Study on Powered Two-Wheeler and Bicycle Accidents in the EU [25]) se analizó en profundidad una muestra de 385 accidentes con implicación de ciclomotores y motocicletas. A.P. Morris et al. concluyeron que el exceso de velocidad respecto a la del flujo de tráfico y las condiciones del medio fue el principal factor desencadenante del accidente en el 22% de los siniestros.

El Committee for Guidance on Setting and Enforcing Speed Limits (TRB [43]) concluyó que el exceso de velocidad contribuye al 30% de los accidentes mortales.

Otros estudios, como los de Elvik ([44]) y Nilsson ([45]), mostraron que pequeñas variaciones en la velocidad podían provocar un gran efecto sobre el número y la gravedad de los accidentes. Estas investigaciones concluyeron que una disminución del 1% en la velocidad promedio inducía una reducción del 2% en el número de accidentes con víctimas, una disminución del 3% en el número

de accidentes con heridos graves y una reducción del 4% en el número de accidentes mortales. Y un incremento del 5% en la velocidad media provocaba un aumento del 20% en el número de accidentes mortales.

D. Otte llevó a cabo una investigación sobre la influencia de la velocidad de las motocicletas en la gravedad de las lesiones en accidentes ([46]). Para ello, analizó una muestra de 238 accidentes, procedentes de la base de datos en profundidad GIDAS. Durante el estudio, evaluó las lesiones en los motoristas en función de la distancia a la que éstos eran proyectados tras el impacto y de la velocidad en el momento del accidente. Finalmente concluyó que hay una relación de dependencia entre las lesiones muy graves y el incremento de la velocidad; no obstante, la influencia de dicha velocidad estaba muy condicionada por la configuración de la colisión, dándose el caso de lesionados graves a velocidades medias.

En el documento sobre el control de la velocidad, publicado por la OMS en 2017 ([47]), se indica que en los países de ingresos altos la velocidad contribuye a aproximadamente la tercera parte de las defunciones causadas por el tráfico. Por ejemplo, en el Reino Unido la velocidad es responsable del 28% de las colisiones mortales, mientras que las cifras para Australia y los Estados Unidos son 30% y 20%, respectivamente. En los países de ingresos bajos y medianos se calcula que la contribución de la velocidad se acerca más a la mitad de todas las muertes causadas por el tráfico (42% en Ghana y 50% en Sudáfrica).

En este documento se señala también que la velocidad es un factor que contribuye a la gravedad de todas las colisiones de tráfico. Un aumento de 1 km/h en la velocidad media de un vehículo provoca un aumento de 4% a 5% en las colisiones mortales. Si bien los que se trasladan en vehículos a velocidades elevadas tienen muchas más probabilidades de sufrir lesiones, tanto en las colisiones frontales como en las de impacto lateral, la relación entre la velocidad y la gravedad de las lesiones es especialmente determinante para los usuarios vulnerables de las vías, como los peatones, los ciclistas y los motociclistas.

Por todo ello, la OMS propuso en dicho documento un conjunto de medidas integradas para el control de la velocidad, que llevaran a los usuarios de las vías a circular a una velocidad segura. Una de ellas fue lograr que los dispositivos que nos brinda la tecnología se convirtieran en parte integrante de los vehículos. Y en concreto, se hizo referencia expresa a los sistemas inteligentes de asistencia de la velocidad (ISA).

Como consecuencia de lo anterior, la OMS incluyó en su documento "Salve VIDAS – Paquete de medidas técnicas sobre seguridad vial" ([48]) una intervención dirigida a exigir a los fabricantes de automóviles que introduzcan nuevas tecnologías, como sistemas de adaptación inteligente de la velocidad, para ayudar a los conductores a respetar los límites de velocidad.

En el marco del proyecto europeo PROSPER (Project for Research On Speed adaptation Policies on European Roads), los investigadores llevaron a cabo una evaluación del efecto sobre la seguridad vial de los sistemas de limitación de la velocidad. O. Carsten, F. Tate y R. Liu ([49]) estimaron que en un escenario con sistemas ISA voluntarios, podrían alcanzarse reducciones del número de fallecidos entre el 19% y el 28%, según los países considerados en el proyecto (Bélgica, Reino Unido, Francia, Holanda, España y Suecia); y en el caso de un escenario con sistemas ISA obligatorios, la disminución de fallecidos en accidentes de tráfico oscilaría entre el 26% y el 50%, en función de los países de aplicación.

F. Lai, O. Carsten y F. Tate ([50]) llevaron a cabo una extensa investigación en el marco del proyecto UK Intelligent Speed Adaptation, con el objetivo de estimar el impacto de distintos sistemas ISA (sistemas informativos, de alerta y de intervención), y evaluar su viabilidad en términos de la relación coste-beneficio. Los autores propusieron dos escenarios de penetración, uno de adquisición voluntaria por el propietario y otro de exigencia normativa.

En este último escenario, predijeron que estos sistemas posibilitarían la reducción del 30% de los accidentes mortales y el 25% de los accidentes con heridos graves, a lo largo de un período de 60 años. Como continuación de este trabajo, O. Carsten ([51]) publicó resultados adicionales, desagregando estos valores según el sistema ISA considerado, según se muestra en la siguiente tabla (Tabla 4).

Reducción (%)	Sistema ISA informativo	Sistema ISA de alerta	Sistema ISA de intervención
Accidentes mortales	5%	21%	46%
Accidentes con heridos graves	3%	14%	34%

Tabla 4. Resultados de reducción estimada de accidentes según el tipo de sistema ISA considerado (O. Carsten [51]).

The University of Leeds y MIRA Ltd realizaron un proyecto para evaluar el comportamiento de los sistemas ISA en motocicletas y su aceptación por parte de los motoristas ([52]). Para ello, se llevaron a cabo pruebas reales en pista de ensayos, incorporando en los vehículos dos dispositivos ISA, uno informativo y otro de alerta, y participando un total de 33 motoristas con experiencia.

Tras la finalización de los ensayos, se concluyó que los sistemas eran evaluados positivamente desde el punto de vista de los beneficios para la seguridad, sobre todo el sistema de alerta, y especialmente en el caso de su posible implementación en motocicletas conducidas por conductores noveles. Frente a lo anterior, los motoristas que participaron en los ensayos mostraron un rechazo parcial a estos dispositivos dado que les restaban libertad en la conducción; se hizo hincapié en que las características de conducción y estabilidad de una motocicleta son muy diferentes a las de un vehículo automóvil, por lo que estos sistemas deberían tener un comportamiento adecuado a estas diferencias. Finalmente, también se recogió la necesidad de llevar a cabo ensayos posteriores con una mejor integración de los sistemas ISA en las motocicletas de ensayo.

Estos resultados están alineados con algunos de los comentarios desfavorables acerca de los sistemas ISA por parte de distintas asociaciones de motoristas, los cuales cuestionan la posibilidad de utilizar sistemas de intervención ISA ante el riesgo de pérdida de estabilidad de la motocicleta al reducir la velocidad de la misma. Frente a esto, los sistemas ISA informativos tendrían una mejor aceptación.

Algunos de los aspectos pendientes de resolver en relación con estos sistemas tienen que ver con el diseño del dispositivo HMI. En esta línea, el Institute for Transport Studies (University of Leeds) desarrolló recientemente un estudio dirigido a evaluar la adecuación de distintos diseños de dichos dispositivos HMI en conductores ([53]), tomando en consideración que si éstos no eran aceptados

por el usuario, éste tendería a rechazar la información recibida, perdiendo el sistema ISA la efectividad esperada para la mejora de la seguridad vial.

Los ensayos se realizaron en la cabina de un vehículo Jaguar S-Type, instalado dentro de un simulador de conducción. Se propusieron cinco diseños de dispositivos HMI:

- Avisador acústico.
- Pedal de acelerador háptico con retroalimentación de fuerza. Cuando se superaba la velocidad límite, se incrementaba la fuerza requerida por el conductor para su accionamiento. En cualquier caso, dicho pedal continuaba activo por encima de esta velocidad limitada.
- Pedal de acelerador háptico con vibración. El pedal comienza a vibrar cuando se supera la velocidad límite.
- Control de velocidad + pedal de acelerador háptico con vibración. El pedal del acelerador queda inactivo cuando se supera la velocidad límite, y comienza a vibrar como en el diseño anterior. En caso requerido, se puede desactivar el control de velocidad mediante un accionamiento a fondo sobre dicho pedal.
- Control de velocidad. Funciona como en el diseño anterior, pero sin incorporar función de vibración.

Los investigadores concluyeron que el pedal háptico con vibración fue el más efectivo, aunque resultó el peor valorado por parte de los conductores. Otro de los dispositivos peor valorado fue el avisador acústico, probablemente porque transmitía una situación de estrés e inseguridad hacia los pasajeros. Frente a los anteriores, el mejor valorado resultó el diseño de control de velocidad. A partir de estos resultados, los investigadores resaltaron la importancia de que este tipo de sistemas tenga una aceptación óptima por parte de los usuarios, de manera que se consiga el objetivo básico de cumplimiento de los límites de velocidad.

4.1.2. Sistemas de protección secundaria

4.1.2.1. Airbag

Los investigadores J. Happian-Smith y B. P. Chinn ([54]) llevaron a cabo en 1990 ensayos de validación de modelos matemáticos de funcionamiento de airbags en motocicletas. Para ello, desarrollaron e instalaron en tres motocicletas otros tantos prototipos de dichos airbags. Dichos autores concluyeron que airbags de 100 litros de capacidad montados sobre el depósito de combustible resultaban adecuados para la retención de un motorista en una colisión frontal hasta 48 km/h. Además, indicaron que era posible optimizar la forma de dicha bolsa de aire con objeto de mejorar la trayectoria de vuelo pos-colisión del motorista, en caso de velocidades de impacto superiores a 48 km/h. Posteriormente, se continuaron trabajos de desarrollo en colaboración entre TRL (Transport Research Laboratory) y Honda.

4.2. Sistemas de seguridad de motoristas

4.2.1. Sistemas de protección primaria

4.2.1.1. Casco y ropa de protección

El casco constituye uno de los elementos del motorista diseñado para incrementar el confort de éste y, por lo tanto, reducir la fatiga durante la conducción, lo cual constituye un factor clave para la prevención de los accidentes.

Bogerd C.P. et al. ([55]), en el marco de la Acción COST 357, evaluaron la influencia del casco en relación con las condiciones térmicas, acústicas y de visibilidad del motorista. Para ello llevaron a cabo un seguimiento de motoristas implicados y no implicados en accidentes de tráfico, los cuales concluyeron que el principal factor de falta de confort fue el ruido del casco (registrado en más del 30% de los casos). Los principales resultados de este estudio se recogen en la tabla siguiente, según el tipo de casco utilizado (Tabla 5).

Type of helmet	Helmet sensation					
	Helmet not comfortable	Problems with hearing	Narrow field of vision	Helmet too noisy	Headaches after a long trip	Chin-stap not comfortable
Integral (n=264)	8,3%	16,2%	22,1%	39,5%	12,3%	13,0%
Jet (n=215)	7,0%	8,9%	7,6%	21,0%	9,9%	15,9%
Motocross (n=12)	0,0%	0,0%	16,7%	41,7%	8,3%	8,3%
With retractable chin-bar (n=86)	9,3%	12,8%	29,1%	47,7%	20,0%	16,3%
Total (n=577)	7,8%	12,6%	17,7%	33,9%	12,5%	14,5%

Tabla 5. Resultados de análisis de parámetros subjetivos relacionados con el uso del casco según su tipo (Bogerd C.P. et al. [55]).

Por otro lado, la visibilidad del motorista por otros usuarios de la vía desempeña también un papel muy relevante en la ocurrencia de accidentes con implicación de motocicletas.

S.Wells et al. ([56]) desarrollaron una investigación para evaluar si el riesgo de lesión en accidentes con implicación de una motocicleta estaba relacionado con la visibilidad del motorista por parte del vehículo contrario. La muestra analizada correspondió a accidentes ocurridos en la región de Auckland (Nueva Zelanda), entre 1993 y 1996. Se incluyeron 463 motoristas accidentados y 1233 motoristas no accidentados (grupo de control). La mayoría de los accidentes considerados fueron

urbanos (66%). Debe señalarse que, en el territorio de estudio, no era obligatorio el uso de la luz diurna de la motocicleta durante el período abarcado.

Mediante entrevistas, se identificaron y clasificaron los colores del casco y de la ropa de protección utilizada, así como el uso de elementos reflectantes. El análisis de significación se llevó a cabo mediante el empleo de herramientas estadísticas de regresión logística (estimación del parámetro Odd Ratio, OR). Aproximadamente el 20% de los motoristas no accidentados hacían uso de algún elemento reflectante en la ropa de protección; éstos presentaron un riesgo de lesión en accidente un 37% inferior a aquellos que no llevaban ningún dispositivo reflectante en la ropa. En relación con el casco, se identificaron tres colores principales (negro, 40%; blanco, 31%; rojo, 14%); aquellos que hacían uso de un casco blanco presentaron un riesgo de lesión un 24% inferior a aquellos que usaban uno de color negro.

Pnina Gershon et al. ([57]) realizar un estudio experimental en laboratorio con el objetivo de evaluar la influencia de la visibilidad de las motocicletas sobre la capacidad de ser detectadas por observadores alertados y no alertados previamente. Durante los experimentos fueron consideradas diversas variables de influencia, como el color de la ropa de protección y casco del motorista, el tipo de entorno urbano/interurbano y la distancia de visibilidad. La metodología de ensayo se basó en la preparación de experimentos de identificación de motocicletas sobre imágenes, con distintos escenarios de circulación urbana/interurbana, distancia variable al objeto, y distinta densidad y composición del flujo de tráfico.

Las opciones de ropa de protección y casco fueron: casco y ropa negros; ropa blanca y casco con colores brillantes; chaleco reflectante y casco con colores brillantes. Se realizaron pruebas con más de 60 observadores alertados y no alertados de la presencia de las motocicletas. Finalmente, los autores concluyeron que el uso de chaleco reflectante y casco con colores brillantes fue efectivo en la mejora de la identificación de motocicletas a larga distancia en entornos urbanos, con gran complejidad de colores en el flujo de tráfico.

4.2.2. Sistemas de protección secundaria

La efectividad de los sistemas de protección secundaria (pasiva) para motoristas (entre ellos, los equipos de protección individual del motorista incluidos dentro del Reglamento (UE) 2016/425 ([6])) está relacionada con la frecuencia y gravedad de las lesiones, según las distintas zonas del cuerpo, que se producen en motoristas accidentados.

En el presente informe se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de distintos estudios relacionados con el análisis en profundidad de accidentes de tráfico con motocicletas implicadas. A la vista de dicha revisión debe destacarse la dificultad para comparar resultados entre todos ellos debido a las diferencias significativas en: los criterios de selección de casos de cada base de datos, el número de casos disponibles en las mismas, el número y definición de las variables recopiladas por caso, el método de codificación de las lesiones, o la complejidad de las colisiones con implicación de motocicletas. No obstante, existe un consenso mayoritario en que dichos sistemas protegen adecuadamente en el caso de lesiones moderadas ($AIS \leq 2$, abrasiones, quemaduras), aunque no suficientemente en el caso de lesiones graves ([71]), especialmente en lesiones con fractura.

El laboratorio UMRESTTE (Unité Mixte de Recherche Épidémiologique et de Surveillance Transport Travail Environnement), perteneciente al IFSTTAR (l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux) realizó en 2008 un estudio para evaluar la influencia del uso del casco sobre las lesiones de motoristas y pasajeros accidentados (Moskal et al., 2008 [58]). Para ello se emplearon datos del sistema de registro de accidentes de tráfico del Departamento de Rhône (Francia) entre 1996 y 2005, que incluyó a todos los lesionados que habían requerido cuidados hospitalarios dentro de esta región, con o sin ingreso, con al menos alguna lesión codificada con AIS \geq 1. La muestra final considerada incluyó a ocupantes (motoristas y pasajeros) de ciclomotores y motocicletas, con información disponible sobre el uso del casco, y con al menos una lesión en una región corporal distinta de cabeza, cara, cuello y vértebras cervicales. El número final de víctimas incluidas fue de 13323 usuarios. La distribución de las lesiones (totales, y con AIS >2) por región corporal en los motoristas y pasajeros, así como la distribución de los motoristas y pasajeros según sus lesiones por región corporal, son mostradas en las siguientes figuras (Figura 101 y Figura 102).

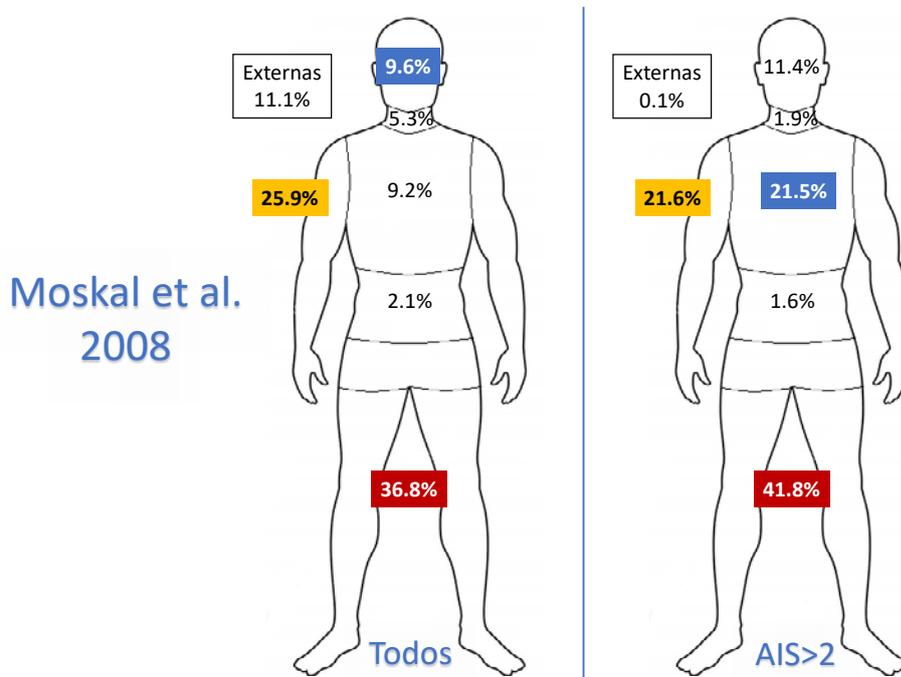


Figura 101. Distribución de las lesiones (totales, con AIS >2) por región corporal en los motoristas y pasajeros. Estudio de Moskal et al., 2008 ([58]).

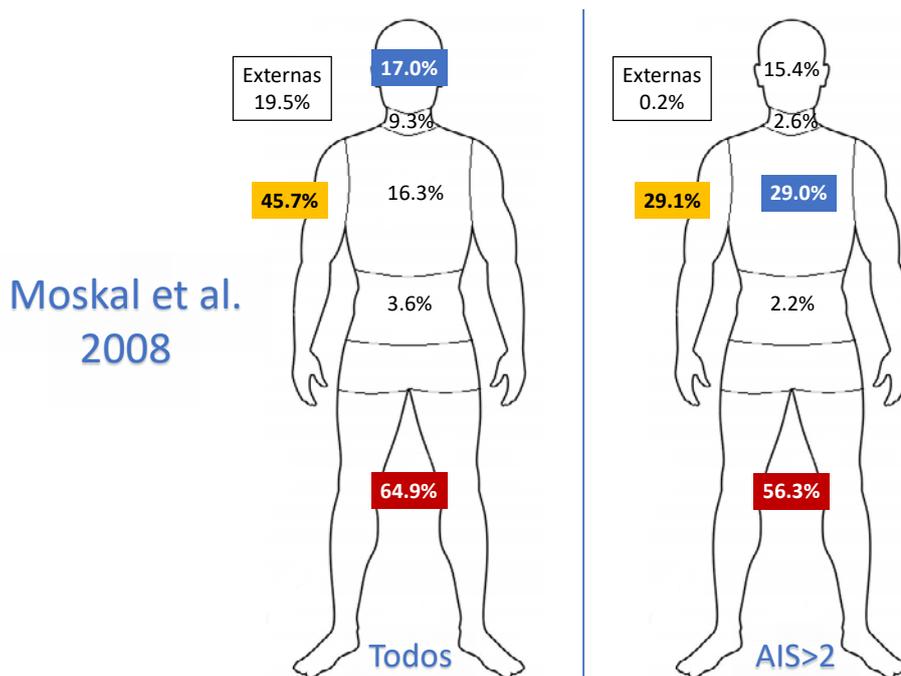


Figura 102. Distribución de los motoristas y pasajeros según sus lesiones (totales, con AIS>2) por región corporal. Estudio de Moskal et al., 2008 ([58]).

Las regiones corporales consideradas fueron: cabeza + cara; cuello + vértebras cervicales; tórax + vértebras torácicas y lumbares; abdomen; extremidades superiores; extremidades inferiores; y lesiones externas. Las regiones coloreadas en rojo, amarillo y azul se corresponden con los porcentajes más elevados en orden 1º, 2º y 3º, respectivamente.

Las figuras precedentes muestran que el 17.0% de todos los motoristas y pasajeros presentan lesiones en cabeza/cara. Este porcentaje se reduce (15.4%) al consideran los casos de mayor gravedad (AIS>2). Frente a esto, se incrementa considerablemente la presencia de lesiones en tórax/ vértebras torácicas y lumbares al tomar en cuenta los casos de mayor gravedad, desde 16.3% hasta 29.0% en lesiones con AIS>2. Las lesiones en extremidades inferiores y superiores son las más frecuentes entre las víctimas, especialmente en el conjunto total de casos (64.9% y 45.7%, respectivamente).

En el proyecto MAIDS (In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers [19]) se analizó una muestra de 921 motocicletas implicadas en accidentes de tráfico. Las regiones de estudio fueron: Barcelona (España); Rotterdam, Delft y The Hague (Holanda); Pavia (Italia); Essonne (Francia); y Baja Sajonia (Alemania). Se incluyeron como categorías de vehículos: ciclomotores (43.2%) y motocicletas (56.8%). La gravedad de las lesiones de los motoristas se distribuyó como sigue: mortales (11.2%) y no mortales (88.8%). La distribución de las lesiones totales por región corporal en los motoristas es mostrada en la siguiente figura (Figura 103).

Las regiones corporales consideradas fueron: cabeza + cara; cuello; columna vertebral; tórax; abdomen; pelvis; extremidades superiores y extremidades inferiores. Las regiones coloreadas en rojo, amarillo y azul se corresponden con los porcentajes más elevados en orden 1º, 2º y 3º, respectivamente.

Esta figura muestra que las lesiones en extremidades inferiores y superiores son las más frecuentes entre las víctimas (31.8% y 24.3%, respectivamente). Estos valores son similares a los mostrados en la Figura 101. Sigue en importancia las lesiones en la cabeza y cara (18.4%).

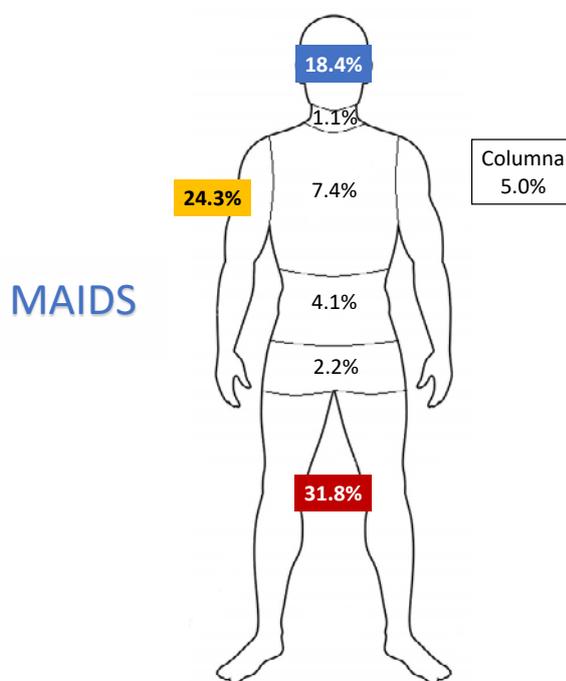


Figura 103. Distribución de las lesiones con AIS > 1 en los motoristas. Proyecto MAIDS ([19]).

Dentro del proyecto APROSYS (Advanced Protection Systems [59]), dirigido a la mejora de la seguridad pasiva de los usuarios de la vía, se llevó a cabo un análisis de los accidentes con implicación de motocicletas. Para ello, fueron utilizados accidentes de las bases de datos de DEKRA (German Motor Vehicle Inspection Association), de GIDAS (anualidad del 2002), de la acción COST 327 ([62]) y del proyecto MAIDS ([19]), evaluando las lesiones y sus mecanismos de generación, en función de la velocidad de colisión. Los resultados indicaron que, para velocidades de ocurrencia inferiores a 35 km/h, las lesiones graves ($AIS \geq 3$) se produjeron mayoritariamente en la cabeza; para velocidades superiores, dichas lesiones graves también aparecían en otras regiones corporales, siendo particularmente destacables la columna y el cuello. El mecanismo principal de generación de las lesiones fue el impacto contra la calzada.

En el proyecto PIONEERS (Protective Innovations of New Equipment for Enhanced Rider Safety, [60]) se analizó una muestra de 1000 motocicletas implicadas en accidentes de tráfico. Las regiones de estudio fueron Hanover y Dresden (Alemania) (base de datos GIDAS). Se incluyeron como categorías de vehículos: ciclomotores (29.5%) y motocicletas (70.5%). La distribución de las lesiones totales por región corporal en los motoristas es mostrada en la siguiente figura (Figura 104).

Las regiones corporales consideradas fueron: cabeza + cara; cuello; tórax; abdomen; pelvis; extremidades superiores y extremidades inferiores. Las regiones coloreadas en rojo, amarillo y azul se corresponden con los porcentajes más elevados en orden 1º, 2º y 3º, respectivamente.

Esta figura muestra que las lesiones en extremidades inferiores y superiores vuelven a ser las más frecuentes entre las víctimas (37% y 35%, respectivamente). Estos valores son similares a los mostrados en la Figura 101. y Figura 103. Sigue en importancia las lesiones en el tórax (19%).

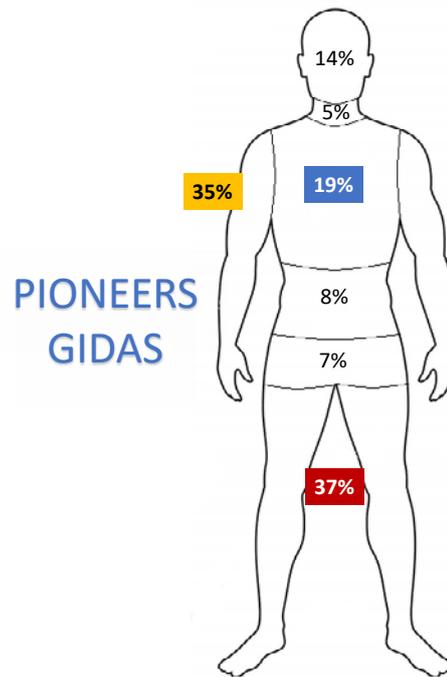


Figura 104. Distribución de las lesiones con AIS > 1 en los motoristas. Proyecto PIONEERS. Base de datos GIDAS ([60]).

4.2.2.1. Casco

La efectividad del casco para la prevención de lesiones en la cabeza ha quedado documentada en diversos estudios en las últimas décadas. Respecto a los efectos del mismo sobre las lesiones en cara, cuello y vértebras cervicales, las evidencias epidemiológicas no han sido tan concluyentes.

El estudio realizado en 2008 por el laboratorio UMRESTTE (Moskal et al., 2008, [58]) tuvo como objetivo cuantificar los efectos del uso del casco por parte de motoristas y pasajeros accidentados sobre las lesiones en cabeza, cara, cuello y vértebras cervicales. La metodología utilizada se basó en la modelización del riesgo de ocurrencia de lesiones en cada región corporal (variable explicada) a partir de un conjunto de variables explicativas, mediante regresión logística. Una de las variables explicativas considerada fue el uso del casco, obteniéndose el parámetro Odd Ratio (OR) como medida de asociación. Los resultados confirmaron que el uso del casco reducía significativamente el riesgo de ocurrencia de lesiones en cabeza y cara, sin incrementar el riesgo de lesiones en cuello

y vértebras cervicales. Cuando no se hace uso de dicho casco, la probabilidad de ocurrencia de lesiones en la cabeza y cara es 2.4 veces (entre 2.0 y 2.9, con un intervalo de confianza del 95%) y 3.0 veces (entre 2.5 y 3.7, con un intervalo de confianza del 95%) superior al caso de uso de casco, respectivamente, en la muestra analizada.

J. König et al. llevaron a cabo un análisis de los accidentes con implicación de motocicletas (proyecto APROSYS (Advanced Protection Systems [59])). utilizando casos de las bases de datos de DEKRA (German Motor Vehicle Inspection Association), de GIDAS (anualidad del 2002), de la acción COST 327 ([62]) y del proyecto MAIDS ([19]), evaluando las lesiones y sus mecanismos de generación, en función de la velocidad de colisión. Los resultados mostraron que, para velocidades de ocurrencia inferiores a 35 km/h, el uso del casco fue totalmente efectivo para la prevención de las lesiones graves en la cabeza (AIS \geq 3).

B. Chinn et al. ([62]) desarrollaron el proyecto COST 327 (Motorcycle Safety Helmets), en el que crearon una base de 253 accidentes con implicación de motocicletas analizados en profundidad. Tras su estudio, concluyeron que un incremento del 30% en la capacidad de absorción de energía del casco reduciría un 50% de las lesiones críticas con AIS 5/6, que pasarían a lesiones moderadas con AIS 1/2. Este es uno de los objetivos de la próxima revisión 06 del Reglamento CEPE/ONU 22R05, en el que se incluyen nuevos ensayos con mayor energía de impacto.

También determinaron que al considerar lesiones en la cabeza con AIS \geq 2, el 60% fueron causadas por movimientos rotacionales. Un ensayo específico de rotación ha sido asimismo incorporado en dicha revisión 06 del Reglamento. En relación con las lesiones en el cuello, concluyeron que las lesiones graves en el mismo estaban directamente asociadas con lesiones críticas en la cabeza; dispositivos con el Neck Brace podría ser de utilidad en estos casos.

Un meta-análisis de 61 publicaciones científicas (Liu et al., 2008 [63]) analizó los efectos del uso del casco por los usuarios de vehículos de dos ruedas. Tras la síntesis de los estudios tomados en consideración, resultó que: 30 estudios lo relacionaban con el riesgo de fallecimiento; 36, con las lesiones en la cabeza; 16, con las lesiones en el cuello; 10, con las lesiones en la cara; 8, con lesiones combinadas en cabeza y/o cuello; y 7 estudios evaluaban distintos tipos de cascos en relación con las lesiones en cabeza, cuello y cara. El listado de publicaciones revisadas se muestra en la siguiente tabla (Tabla 6). La mayoría de ellos eran estudios observacionales de corte transversal, en los que se examinaba la ocurrencia de una o más consecuencias (fallecimiento, lesiones en cabeza, cara o cuello) en relación con el uso del casco. En la mayoría de los estudios la metodología utilizada se basó en la modelización del riesgo de fallecimiento o de ocurrencia de lesiones en cada región corporal (variable explicada) a partir de un conjunto de variables explicativas, mediante el empleo de herramientas estadísticas de regresión logística (estimación del parámetro Odd Ratio, OR), o de regresión de Poisson (estimación del parámetro Risk Ratio, RR). A pesar de la heterogeneidad de resultados entre los distintos estudios, se destacan a continuación algunos de los principales resultados:

- Cuando se hacía uso del casco el riesgo de fallecimiento se reducía en un 42%.
- Cuando se hacía uso del casco el riesgo de ocurrencia de lesiones en la cabeza se reducía en un 69%.
- No se encontraron evidencias concluyentes en relación con el efecto del uso del casco sobre el riesgo de ocurrencia de lesiones en cara o cuello.

1. Anderson CL KJ. The changing effect of motorcycle helmet use on mortality: comparisons of drivers and passengers on the same motorcycle. 40th Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine. Vancouver, British Columbia, Canada, 1996:427-42. [MEDLINE: 43350]
2. Anonymous. Head injuries associated with motorcycle use-Wisconsin, 1991. *MMWR - Morbidity & Mortality Weekly Report*. 1994;43(23):423, 429-31.
3. Bachulis BL, Sangster W, Gorrell GW, Long WB. Patterns of injury in helmeted and nonhelmeted motorcyclists. *American Journal of Surgery* 1988; 155:708-11.
4. Brandt MM, Ahms KS, Corpron CA, Franklin GA, Wahl WL. Hospital cost is reduced by motorcycle helmet use. *Journal of Trauma-Injury Infection and Critical Care* 2002; 53(3):469-71.
5. Cannell H, King JB, Winch RD. Head and facial injuries after low-speed motor-cycle accidents. *British Journal of Oral Surgery*. 1982;20(3):183-91.
6. Carr WP, Brandt D, Swanson K. Injury patterns and helmet effectiveness among hospitalized motorcyclists. *Minnesota Medicine* 1981;64(9):521-7.
7. Chang CJ. A cross-classification analysis of the effectiveness of safety helmets in motorcycle accident injuries. *Institute of Transportation Engineers Journal* 1981; Sept:17-25.
8. Christian WJ, Carroll M, Meyer K, Vitaz TW, Franklin GA. Motorcycle helmets and head injuries in Kentucky, 1995-2000. *Journal of the Kentucky Medical Association*. 2003;101(1):21-6.
9. Conrad P, Bradshaw YS, Lamsudin R, Kasnyah N, Costello C. Helmets, injuries and cultural definitions: Motorcycle injury in urban Indonesia. *Accident Analysis and Prevention* 1996;28(2):193-200.
10. Copes WT, Dickman FB, Champion HR, Sacco WJ. Motorcycle injuries: A major trauma outcome study (MTOS) Perspective. Proceedings of the 35th annual conference of the association for the advancement of automotive medicine; 1991 Oct 7-9; Toronto, Canada. 1991:269-84. [MEDLINE: 47670; 0892-6484]
11. Deutermann W. Motorcycle helmet effectiveness revisited. NHTSA Technical Report 2004; Vol. HS-809 715.
12. Diemath HE. Head injuries due to motorcycle accidents: crash helmets and alcoholism. *Neurosurgical Review*. 1989; 12(Suppl 1):458-64.
13. Ding SL, Pai L, Wang JD, Chen KT. Head injuries in traffic accidents with emphasis on the comparisons between motorcycle-helmet users and non-users. *Journal of the Formosan Medical Association*. 1994;93(Suppl 1):S42-8.
14. Eastridge B, Shafi S, Minei J, Culica D, McConnel C, Gentilello L. Economic impact of motorcycle helmets: from impact to discharge. *Journal of Trauma, Injury, Infection, and Critical Care* 2006;60:978-984.
15. Evans L, Frick MC. Helmet Effectiveness in Preventing Motorcycle Driver and Passenger Fatalities. *Accident Analysis and Prevention* 1988;20(6):447-58.
16. Fledkamp G, Prall WD, Buehler G, Junghanns K. Motorcycle accidents; epidemiology, clinical aspects and protective measures, a followup and prospective study. *Unfallheilkunde* 1977;80(1):1-19.
17. Gabella B, Reiner KL, Hoffman RE, Cook M, Stallones L. Relationship of helmet use and head injuries among motorcycle crash victims in El Paso County, Colorado, 1989-1990. *Accident Analysis & Prevention*. 1995;27(3): 363-9.
18. Goldstein JP. The Effect of Motorcycle Helmet Use on the Probability of Fatality and the Severity of Head and Neck Injuries - a Latent Variable Framework. *Evaluation Review* 1986;10(3):355-75.
19. Goodnow RK. Injury severity, medical costs and associated factors for helmeted and unhelmeted motorcyclist crash cases transported to hospitals in Amarillo, Austin, CorpusChristi, and San Antonio, Texas. Proceedings of the International Motorcycle safety conference. Orlando, Florida, 1990; Vol. 1.
20. Gopalakrishna G, Peek-Asa C, Kraus JF. Epidemiologic features of facial injuries among motorcyclists. *Annals of Emergency Medicine* 1998;32(4):425-30.
21. Heilman DR, Weisbuch JB, Blair RW. Motorcycle-related trauma and helmet usage in North Dakota. *Annals of Emergency Medicine* 1982; 11(12):659-64.
22. Hundley J, Kilgo P, Miller P, Chang M, Hensberry R, Meredith W, Hoth J. Non-helmeted motorcyclists: a burden to society? A study using the National Trauma Data Bank. *Journal of Trauma, Injury, Infection, and Critical Care* 2004;57:944-9.

23. Hurt H, Ouellet JV, Wagar IJ. Effectiveness of motorcycle safety helmets and protective clothing. American Association for Automotive Medicine annual conference. San Francisco: University of Southern California, Traffic safety center, 1981:223–35.
24. Javouhey E, Guerin A, Chiron M. Incidence and risk factors of severe traumatic brain injury resulting from road accidents: A population-based study. *Accident Analysis and Prevention* 2006; 38:225–33.
25. Johnson RM, McCarthy MC, Miller SF, Peoples JB. Craniofacial trauma in injured motorcyclists: the impact of helmet usage. *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care*. 1995;38(6):876–8.
26. Johnson S, Walker J. The crash outcome data evaluation system (CODES). NHTSA Technical Report. Washington DC: Research and Development, National Highway Traffic Safety Administration; 1996 Jan. Report No: DOT HS 808 338 1996. [MEDLINE: 46110; : Report Number: HS–808 338]
27. Kelly P, Sanson T, Strange G, Orsay E. A prospective study of the impact of helmet usage on motorcycle trauma. *Annals of Emergency Medicine*. 1991;20(8):852–6.
28. Keng S. Helmet use and motorcycle fatalities in Taiwan. *Accident Analysis and Prevention* 2005; 37:349–55.
29. Krantz KP. Head and neck injuries to motorcycle and moped riders with special regard to the effect of protective helmets. *Injury* 1985; 16:253–8.
30. Kraus JF, Riggins RS, Franti CE. Some epidemiologic features of motorcycle collision injuries. II. Factors associated with severity of injuries. *American Journal of Epidemiology*. 1975; 102(1):99–109.
31. Kraus JF, Peek C, Shen H, Williams A. Motorcycle crashes: injuries, rider, crash and vehicle characteristics associated with helmet use. *Journal of Traffic Medicine* 1995;23(1): 29–35.
32. Kraus JF, Peek C. The impact of two related prevention strategies on head injury reduction among nonfatally injured motorcycle riders, California, 1991–1993. *Journal of Neurotrauma* 1995;12(5):873–81.
33. LaTorre G, Bertazzoni G, Zotta D, van Beeck E, Ricciardi G. Epidemiology of accidents among users of two-wheeled motor vehicles. A surveillance study in two Italian cities. *European Journal of Public Health* 2002;12(2):99–103.
34. Lin MR, Hwang HF, Kuo NW. Crash severity, injury patterns, and helmet use in adolescent motorcycle riders. *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care* 2001;50 (1):24–30.
35. Lloyd LE, Lauderdale M, Betz TG. Motorcycle deaths and injuries in Texas: helmets make a difference. *Texas Medicine* 1987;83(4):30–3.
36. Luna GK, Copass MK, Oreskovich MR, Carrico CJ. The Role of Helmets in Reducing Head-Injuries from Motorcycle Accidents - a Political or Medical Issue. *Western Journal of Medicine* 1981;135(2):89–92.
37. May C, Morabito D. Motorcycle helmet use, incidence of head injury, and cost of hospitalization. *Journal of Emergency Nursing*. 1989;15(5):389–92.
38. Murdock MA, Waxman K. Helmet use improves outcomes after motorcycle accidents. *Western Journal of Medicine*. 1991;155(4):370–2.
39. Nakahara S, Chadbunchachai W, Ichikawa M, Tipsuntornsak N, Wakai S. Temporal distribution of motorcyclist injuries and risk of fatalities in relation to age, helmet use, and riding while intoxicated in Khon Kaen, Thailand. *Accident Analysis and Prevention* 2005;37: 833–42.
40. Norvell DC, Cummings P. Association of helmet use with death in motorcycle crashes: A matched-pair cohort study. *American Journal of Epidemiology* 2002;156(5):483–7.
41. O'Connor P, Kloeden C, McLean A. Do full-face helmets offer greater protection against cervical spinal cord injury than open-face helmets?. *Traffic Injury Prevention* 2002;3: 247–50. [MEDLINE: 43840; : 1538–9588]
42. O'Connor P. Motorcycle helmets and spinal cord injury: helmet usage and type. *Traffic Injury Prevention* 2005;6: 60–6.
43. Offner PJ, Rivara FP, Maier RV. The Impact of Motorcycle Helmet Use. *Journal of Trauma-Injury Infection and Critical Care* 1992;32(5):636–42.
44. Orsay EM, Muelleman RL, Peterson TD, Jurisic DH, Kosasih JB, Levy P. Motorcycle helmets and spinal injuries: dispelling the myth. *Annals of Emergency Medicine*. 1994; 23(4):802–6.
45. Orsay E, Holden JA, Williams J, Lumpkin JR. Motorcycle trauma in the state of Illinois: analysis of the Illinois Department of Public Health Trauma Registry. *Annals of Emergency Medicine* 1995;26(4):455–60.

46. Petridou E, Skalkidou A, Ioannou N, Trichopoulos D. Fatalities from non-use of seat belts and helmets in Greece: A nationwide appraisal. *Accident Analysis and Prevention* 1998;30(1):87–91.
47. Phuenpathom N, Sriplung H, Paisarnsilapa S. Effectiveness of the motorcycle helmet in head injury prevention. *Asian Journal of Surgery* 2001;24(1):11–5.
48. Romano P, McLoughlin E. Helmet use and fatal motorcycle injuries in California, 1987–1988. *Journal of Head Trauma Rehabilitation* 1991;6(2):21–37.
49. Rowland J, Rivara F, Salzberg P, Soderberg R, Maier R, Koepsell T. Motorcycle helmet use and injury outcome and hospitalization costs from crashes in Washington State. *American Journal of Public Health* 1996;86(1):41–5.
50. Rutledge R, Stutts J. The association of helmet use with the outcome of motorcycle crash injury when controlling for crash/injury severity. *Accident Analysis & Prevention*. 1993; 25(3):347–53.
51. Sarkar S, Peek C, Kraus JF. Fatal Injuries in Motorcycle Riders According to Helmet Use. *Journal of Trauma-Injury Infection and Critical Care* 1995;38(2):242–5.
52. Sauter C, Zhu S, Allen S, Hargarten S, Layde P. Increased risk of death or disability in unhelmeted Wisconsin motorcyclists. *Wisconsin Medical Journal* 2005;104(2): 39–44.
53. Shankar BS, Ramzy AI, Soderstrom CA, Dischinger PC, Clark CC. Helmet Use, Patterns of Injury, Medical Outcome, and Costs among Motorcycle Drivers in Maryland. *Accident, Analysis and Prevention* 1992;24(4): 385–96.
54. Shibata A, Fukuda K. Risk factors of fatality in motor vehicle traffic accidents. *Accident Analysis and Prevention* 1994;26(3):391–7. [MEDLINE: 46680; 0001–4575]
55. Sood S. Survey of factors influencing injury among riders involved in motorized two-wheeler accidents in India: a prospective study of 302 cases. *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care*. 1988;28(4):530–4.
56. Tsai YJ, Wang JD, Huang WF. Case-control study of the effectiveness of different types of helmets for the prevention of head injuries among motorcycle riders in Taipei, Taiwan. [comment]. *American Journal of Epidemiology* 1995; 142(9):974–81.
57. Van Camp LA, Vanderschot PM, Sabbe MB, Delooz HH, Goffin J, Broos PL. The effect of helmets on the incidence and severity of head and cervical spine injuries in motorcycle and moped accident victims: a prospective analysis based on emergency department and trauma centre data. *European Journal of Emergency Medicine*. 1998;5(2):207–11.
58. Vaughan RG. Motor cycle helmets and facial injuries. *Medical Journal of Australia*. 1977;1(5):125–7.
59. Wagle VG, Perkins C, Vallera A. Is Helmet Use Beneficial to Motorcyclists. *Journal of Trauma-Injury Infection and Critical Care* 1993;34(1):120–2.
60. Weiss AA. The Effects of Helmet Use on the Severity of Head-Injuries in Motorcycle Accidents. *Journal of the American Statistical Association* 1992;87(417):48–56.
61. Wilson D. The effectiveness of motorcycle helmets in preventing fatalities. NHTSA Technical Report. Washington DC: Research and Development, National Highway Traffic Safety Administration; 1989 Mar. Report No: DOT HS 807 416.

Tabla 6. Listado de publicaciones científicas evaluadas en el meta-análisis de Liu et al. [63].

Elvik et al., en su manual de medidas sobre seguridad vial ([64]), concluyeron que la probabilidad de resultar herido en un accidente siendo motorista se reducía en un 25% con el uso del casco. También incluyeron un análisis coste-beneficio relacionado con el uso de dicho casco, resultando una relación beneficio-coste muy favorable de 17.2. Además, si se tenían en cuenta únicamente lesiones en la cabeza, el uso del casco las disminuiría en: un 44% en el caso de motoristas fallecidos, y en un 49% en el caso de heridos graves.

El World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (ECE/TRANS/WP.29), publicó en 2016 un estudio en relación con el efecto del uso del casco sobre la seguridad de los usuarios de motocicletas a nivel mundial ([65]). Uno de los análisis incluidos consistió en la estimación de la disminución del número de fallecidos y heridos graves mediante el uso del casco. Se emplearon datos del año 2009 para realizar proyecciones hasta los años 2015 y 2020. Dichas proyecciones fueron aplicadas a cuatro grupos de países:

- Países con ingresos bajos (PIB per capita < US\$ 1005): India, Kyrgyzstan, Uganda, VietNam.
- Países con ingresos medios-bajos (US\$ 1006 < PIB per capita < US\$ 3975): Indonesia, Moldova, the Philippines, Ukraine.
- Países con ingresos medios-altos (US\$ 3976 < PIB per capita < US \$ 12275): Azerbaijan, Belarus, Brazil, Bulgaria, Kazakhstan, Macedonia (FYO), Malaysia, Poland, the Russian Federation, Romania, Thailand, Turkey.
- Países con ingresos altos (US\$ 12276 < PIB per capita): Austria, Belgium, Canada, Croatia, Cyprus, the Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Hungary, Ireland, Israel, Italy, Latvia, Netherlands, Norway, Portugal, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, the United Kingdom, the United States of America.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras (Figura 105 y Figura 106).

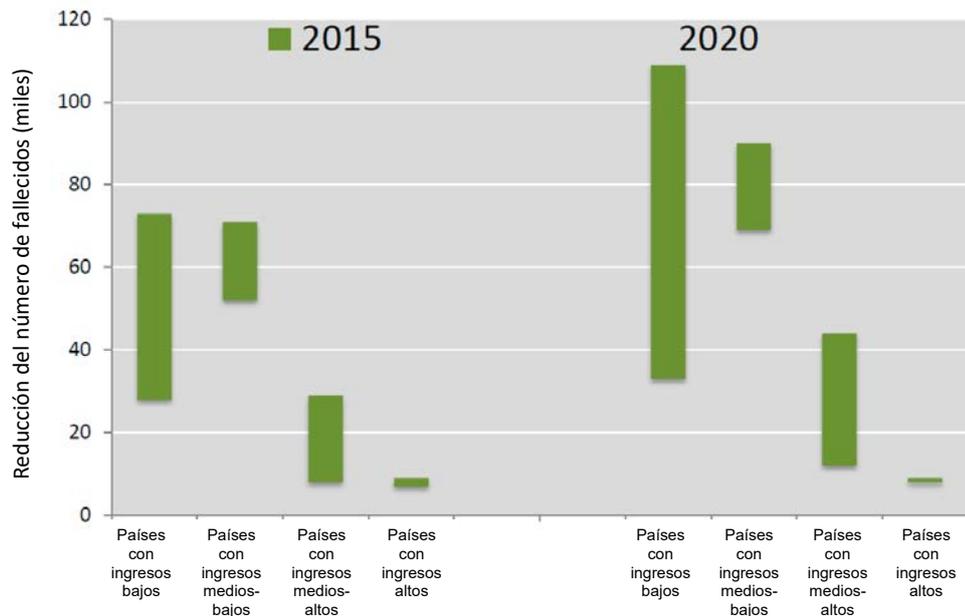


Figura 105. Rango estimado de disminución del número de fallecidos mediante el uso del casco ([65]).

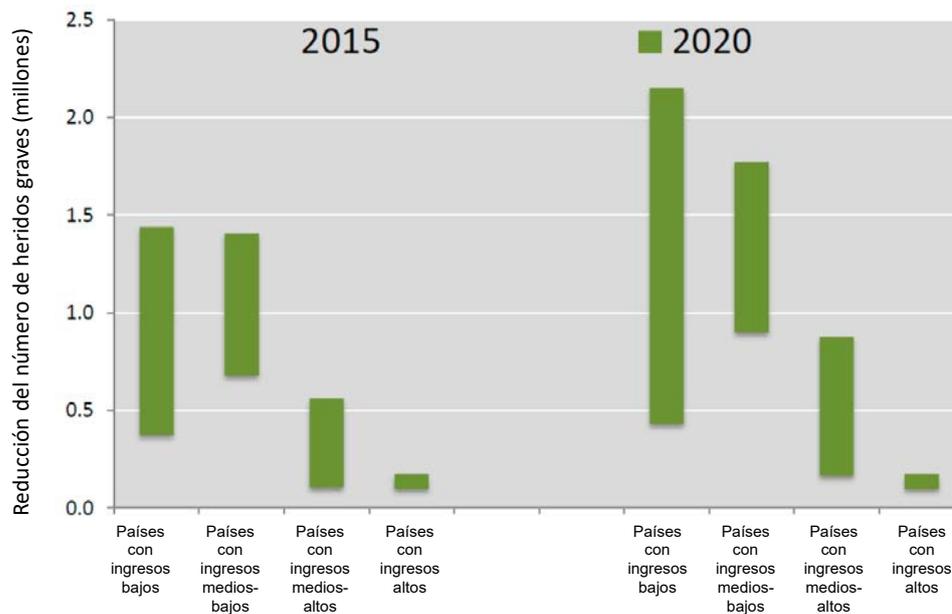


Figura 106. Rango estimado de disminución del número de heridos graves mediante el uso del casco ([65]).

Las estimaciones anteriores permitieron concluir que únicamente en 2020, podrían evitarse entre 122000 y 250000 fallecidos y entre 1.6 y 5 millones de heridos graves, mediante el uso de un casco adecuado; y en el período 2008 – 2020 se evitarían un número promedio de 1.4 millones de usuarios de motocicletas fallecidos.

Como ha sido descrito en el Apartado 3.3.2.1, en el ámbito de la protección de las lesiones en la cabeza, se han desarrollado algunos dispositivos adicionales al casco como es el MIPS (Multi-directional Impact Protection System). Emily Bliven et al. ([66]) realizaron una investigación para evaluar la eficacia de cascos de ciclismo, con distintos dispositivos adicionales, en ensayos de impacto oblicuo con cabeza de impacto. En estos ensayos se evaluó la influencia del dispositivo MIPS acoplado a un casco convencional, en ensayos de impacto a 4.8 m/s y ángulos de borde de 30°, 45°, y 60°, así como en un ensayo a 6.2 m/s y ángulo de 45°. Los resultados mostraron que el dispositivo MIPS posibilitaba una reducción, en el ensayo a baja velocidad y ángulo de 60°, del: 44% de la aceleración rotacional; 67% de la velocidad de rotación; y 91% de la probabilidad de lesión AIS 2 en cabeza.

4.2.2.2. Chaquetas y pantalones

La efectividad de la ropa de protección para motoristas (chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas) ha sido evaluada en distintos estudios, como se describe a continuación.

E. Schuller et al. ([67]) realizaron un estudio prospectivo de accidentes con implicación de motocicletas en el área de Munich (Alemania). La metodología se basó en el análisis de 67 motoristas accidentados los cuales fueron entrevistados tras la ocurrencia del siniestro; y, tras un período de convalecencia de sus lesiones de 18 a 24 meses, se llevaron a cabo nuevas entrevistas para evaluar

el tratamiento médico requerido, así como las secuelas de dichos accidentes. Los autores concluyeron que los motoristas que hacían uso de ropa de protección, en comparación con los que no hacían uso de dicha ropa, presentaron: un período de permanencia en el hospital 15 días inferior; un período de baja laboral 45 días inferior; y una incidencia de lesiones permanentes un 60% menor.

J. König et al. llevaron a cabo un análisis de los accidentes con implicación de motocicletas (proyecto APROSYS (Advanced Protection Systems [59])). utilizando casos de las bases de datos de DEKRA (German Motor Vehicle Inspection Association), de GIDAS (anualidad del 2002), de la acción COST 327 ([62]) y del proyecto MAIDS ([19]), evaluando las lesiones y sus mecanismos de generación, en función de la velocidad de colisión. Los resultados mostraron que el uso de ropa de protección fue efectivo para la reducción del número y de la gravedad de las lesiones en la columna, independientemente de la velocidad de colisión.

Elvik et al., en su manual de medidas sobre seguridad vial ([64]), concluyeron que la probabilidad de resultar herido en un accidente siendo motorista se reducía en un 30% con el uso de ropa de protección. Además, el uso de chaquetas y pantalones podía disminuir las lesiones en extremidades superiores e inferiores en un 33%.

L. de Rome et al. ([68]) llevaron a cabo un estudio observacional de corte transversal sobre una muestra de 212 motoristas accidentados, ocurridos dentro del Australian Capital Territory (ACT), realizando entrevistas a todos ellos tras el siniestro. La mayoría de los implicados tuvo lesiones menores (74% con lesiones AIS I).

La metodología de análisis utilizada se basó en la modelización del riesgo de ocurrencia de lesiones en cada región corporal (variable explicada) a partir de un conjunto de variables explicativas (edad, género, tipo de motocicleta, tipo de colisión), mediante el empleo de herramientas estadísticas de regresión de Poisson (estimación del parámetro Risk Ratio, RR). Este parámetro RR representaba el beneficio de cada prenda de protección en la reducción del riesgo de lesión en cada región corporal.

Concluyeron que: el uso de chaquetas con protectores (no se especificaba el nivel de protección) redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en la zona superior del tronco en un 23%, respecto al caso de no uso de chaqueta de protección; y el uso de pantalones con protectores (no se especificaba el nivel de protección) redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en las extremidades inferiores en un 39%, respecto al caso de no uso de pantalones de protección.

Si se excluían las lesiones por magulladuras leves: las chaquetas con protectores redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en la zona superior del tronco en un 33 %, y redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en dicha zona en un 63%; los pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en la zona inferior del tronco en un 34%, y redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en dicha zona en un 59%; y dichos pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en las extremidades inferiores en un 47%, y redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en dicha zona en un 91%.

La distribución de lesiones en motoristas implicados en accidentes de tráfico, según las cuatro zonas de riesgo identificadas en la norma UNE-EN 13595 (Apartado 5.2.2.2, AEN/CTN 147, 2002, Zonas 1 a 4, Figura 123), fue analizada en el trabajo de L. de Rome (De Rome et al., 2014 [69]). Para

ello fueron clasificados las lesiones y los daños en la ropa de protección de 117 motoristas implicados en accidentes mediante la definición de tres niveles de protección: uso de ropa con protección al impacto; uso de ropa sin protección al mismo; y no uso de ropa de protección. Los datos fueron recogidos entre 2008 y 2009 en el Australian Capital Territory (ACT), documentándose 779 puntos de daños de impacto sobre la ropa de protección y otras 432 lesiones no directamente relacionadas con daños en la ropa. La distribución de las zonas de impacto/lesión se correspondían con las propuestas en la norma UNE-EN 13595 considerada, con una proporción decreciente de lesiones desde el 43.9% en la Zona 1 (mayor riesgo), 18.0% en la Zona 2, 16.7% en la Zona 3 y 11.5% en la Zona 4 (menor riesgo).

Junto a esto, el uso de ropa de protección mostró una influencia significativa sobre la ocurrencia de lesiones, con un incremento significativo de la gravedad de las mismas en los puntos de impacto desprotegidos. Destacaron las evidencias de la disminución de las heridas abiertas y contusiones en las Zonas 1 y 2 debido al uso de ropa de protección.

De este modo, el riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión en zonas desprotegidas fue 2.69 veces superior respecto a las zonas protegidas. En el caso de heridas abiertas, el riesgo fue 3.34 veces mayor; y 1.45 veces superior en el caso de contusiones o quemaduras. En la Zona 1, el riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión fue 10.86 veces superior en el caso de no uso de ropa de protección, en comparación con el uso de ropa con protectores; y dicho riesgo, en el caso de heridas abiertas en dicha zona, fue 5.38 superior en el caso de no uso de ropa de protección.

En la Zona 2, el riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión fue 2.19 veces superior en el caso de no uso de ropa de protección, en comparación con el uso de ropa de protección; y dicho riesgo, en el caso de heridas abiertas en dicha zona, fue 2.20 superior en el caso de no uso de ropa de protección.

Frente a lo anterior, este estudio también identificó en la muestra de individuos analizada un elevado porcentaje de fracturas en las Zonas 3 y 4 (respecto a las Zonas 1 y 2), lo cual conllevaría una revisión de la protección frente al impacto en las zonas clasificadas por la norma UNE-EN 13595 como de bajo riesgo. Asimismo, no se observó con claridad el beneficio potencial frente al impacto de la ropa de protección en las zonas de columna vertebral y torso. Finalmente, se destacó como limitación del estudio la imposibilidad de evaluar lesiones causadas por la transmisión de impactos, tales como fuerzas torsionales u ondas de choque, a otras áreas corporales del motorista no directamente implicadas en el impacto.

4.2.2.3. Protectores

L. de Rome et al. ([68]) llevaron a cabo un estudio observacional de corte transversal sobre una muestra de 212 motoristas accidentados, ocurridos dentro del Australian Capital Territory (ACT), realizando entrevistas a todos ellos tras el siniestro. La mayoría de los implicados tuvo lesiones menores (74% con lesiones AIS 1). La metodología de análisis utilizada se basó en la modelización del riesgo de ocurrencia de lesiones en cada región corporal (variable explicada) a partir de un conjunto de variables explicativas (edad, género, tipo de motocicleta, tipo de colisión), mediante el empleo de herramientas estadísticas de regresión de Poisson (estimación del parámetro Risk Ratio, RR). Este parámetro RR representaba el beneficio de cada prenda de protección en la reducción del riesgo de lesión en cada región corporal.

Estos autores concluyeron que, si se excluían las lesiones por magulladuras leves: las chaquetas con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en la zona superior del tronco en un 5%, respecto al caso de uso de chaqueta sin protectores; los pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en la zona inferior del tronco en un 21%, respecto al caso de uso de pantalones sin protectores; y dichos pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en las extremidades inferiores en un 54%, respecto al caso de uso de pantalones sin protectores.

En un estudio posterior, L. de Rome et al. ([69]) analizaron las lesiones en motoristas implicados en accidentes de tráfico, según las cuatro zonas de riesgo identificadas en la norma UNE-EN 13595 (Zonas 1 a 4, Figura 123). Para ello fueron clasificados las lesiones y los daños en la ropa de protección de 117 motoristas implicados en accidentes mediante la definición de tres niveles de protección: uso de ropa con protectores; uso de ropa sin protectores; y no uso de ropa de protección. Los datos fueron recogidos entre 2008 y 2009 en el Australian Capital Territory (ACT), documentándose 779 puntos de daños de impacto sobre la ropa de protección y otras 432 lesiones no directamente relacionadas con daños en la ropa. Los resultados mostraron que el riesgo de ocurrencia de heridas abiertas en Zona 1 fue 2.5 veces superior en el caso de uso de ropa sin protectores, en comparación con el uso de ropa con protectores; en el caso de contusiones en esta zona, el riesgo fue 2.27 veces superior en el caso de uso de ropa sin protectores.

M. Giustini et al. ([70]) realizaron un estudio observacional de corte transversal en Italia con el objetivo de evaluar la efectividad de los protectores de espalda en relación con la reducción del número y gravedad de las lesiones en la columna, en colaboración con la policía de tráfico nacional, recogiendo información de 2319 motoristas implicados en accidentes de tráfico (79% de motocicletas, 21% de ciclomotores). Durante el estudio fueron considerados tres niveles de protección: sistemas de alta protección, incluyendo protectores rígidos y/o airbag de motorista; sistemas de baja protección, en caso de uso de ropa de protección sin protectores; y sin protección, cuando no se utilizaba ninguno de los sistemas precedentes. Los resultados mostraron que el riesgo de ocurrencia de lesiones en la columna fue 2.7 veces superior en el caso de uso de sistemas de baja protección/sin protección, en comparación con el uso de sistemas de alta protección.

4.2.2.4. Guantes

En el estudio en profundidad de 921 ciclomotores y motocicletas accidentados llevado a cabo en el proyecto MAIDS (In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers, [19]) se realizó un análisis en detalle de las causas y consecuencias presentes en dichos accidentes. En relación con la efectividad de los guantes, se concluyó que el uso de los mismos en los motoristas redujo o evitó las lesiones con AIS 1 en las manos (gravedad menor) en un 44%; y un 25% en el caso de los pasajeros. Además, los investigadores indicaron que este valor podía estar subestimado, dado que en algunas ocasiones las lesiones por abrasión en las manos no se identifican frente a otras lesiones más graves en otras regiones corporales.

Elvik et al., en su manual de medidas sobre seguridad vial ([64]), concluyeron que el uso de guantes podría reducir en un 50% las lesiones en las manos como consecuencia de un accidente.

L. de Rome et al. ([68]) llevaron a cabo un estudio observacional de corte transversal sobre una muestra de 212 motoristas accidentados, ocurridos dentro del Australian Capital Territory (ACT), realizando entrevistas a todos ellos tras el siniestro. La mayoría de los implicados tuvo lesiones

menores (74% con lesiones AIS I). La metodología de análisis utilizada se basó en la modelización del riesgo de ocurrencia de lesiones en cada región corporal (variable explicada) a partir de un conjunto de variables explicativas (edad, género, tipo de motocicleta, tipo de colisión), mediante el empleo de herramientas estadísticas de regresión de Poisson (estimación del parámetro Risk Ratio, RR). Este parámetro RR representaba el beneficio de cada prenda de protección en la reducción del riesgo de lesión en cada región corporal. Concluyeron que el uso de guantes de protección reforzados (no se especificaba el nivel de protección) redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en las manos y las muñecas en un 45%, respecto al caso de no uso de guantes. Y si se excluían las lesiones por magulladuras leves: los guantes de protección reforzados redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en manos/muñecas en un 62%, y los guantes no reforzados las redujeron en un 40%; asimismo, los guantes reforzados redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en manos/muñecas en un 73%, y los guantes no reforzados las redujeron en un 70%.

4.2.2.5. Botas

Elvik et al., en su manual de medidas sobre seguridad vial ([64]), concluyeron que el uso de botas de protección podría reducir en un 33% las lesiones en los pies como consecuencia de un accidente.

Como ha sido descrito en el apartado precedente L. de Rome et al. ([68]) llevaron a cabo un estudio observacional de corte transversal sobre una muestra de 212 motoristas accidentados, ocurridos dentro del Australian Capital Territory (ACT). Los autores concluyeron que el uso de botas de motorista reforzadas (no se especificaba el nivel de protección) redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en pies y tobillos en un 45%, respecto al caso de uso de calzado convencional.

4.2.2.6. Airbag

T. Serre et al. ([71]) llevaron a cabo un estudio para estimar el nivel de protección proporcionado por los airbags de chaqueta de motorista en lesiones de tórax. Para ello utilizaron datos de accidentes reales de motoristas que hacían uso de dicho airbag en el momento del accidente. Posteriormente, en algunos de los casos realizaron una reconstrucción completa mediante el software Madymo, considerando el motorista, la motocicleta y el objeto de impacto. La segunda parte de la investigación consistió en la realización de ensayos en laboratorio con cadáveres (instrumentados con 5 acelerómetros tri-axiales), reproduciendo un impacto frontal a 40 km/h contra otro vehículo, y utilizando 4 modelos de motocicleta y 4 modelos de airbag de chaqueta de distintos fabricantes (2 airbags de correa y 2 airbags de comunicación inalámbrica). Con objeto de caracterizar el funcionamiento de los airbags, durante los ensayos fueron medidos: tiempos de retardo del disparador y de inflado de la bolsa, presión en la bolsa, y aceleraciones del motorista. También se llevaron a cabo autopsias posteriores al impacto. Los autores concluyeron que, tanto desde el punto de vista de los accidentes reales como desde los resultados de los ensayos en laboratorio, los airbags analizados protegieron convenientemente el tórax de los motoristas hasta velocidades de 40 km/h, que fue el límite considerado en esta investigación.

El análisis de accidentes en profundidad con implicación de motocicletas realizado por A. Molinero et al. en el proyecto MOSAFIM ([72]) concluyó que el tórax es la región corporal que presenta el

valor máximo de AIS más frecuentemente, en el caso de los accidentes con fallecidos y herido graves. En dichos accidentes graves, las lesiones torácicas suelen tener un MAIS ≥ 3 y son las principales causas de fallecimiento tras las lesiones en la cabeza; y un 30% de dichas lesiones torácicas tienen un MAIS ≥ 4 . Debido a ello, el airbag de motorista presenta un gran potencial para incrementar el índice de supervivencia de los mismos.

Lionel Thollon et al. ([73]) realizaron una investigación basada en la modelización matemática de motoristas con y sin airbag de chaleco, con el objetivo de evaluar la influencia de este dispositivo sobre el riesgo de lesiones por fractura en costillas, como consecuencia de accidentes con implicación de motocicletas. El modelo matemático HUMOS utilizado se validó mediante un conjunto de ensayos de péndulo en laboratorio sobre cadáveres. Los ensayos se realizaron con impactos del péndulo en dirección normal y lateral respecto del tórax, y con distintas velocidades de impacto.

Tras los ensayos descritos, los modelos matemáticos permitieron concluir que el dispositivo airbag redujo significativamente la deflexión del esternón y la gravedad de los daños, desde lesiones AIS 5 sin airbag hasta lesiones AIS 2 en el caso de uso del sistema de seguridad pasiva descrito.

El departamento de Seguridad Vial del RACE ([74]) realizó un estudio para evaluar la eficiencia de distintos dispositivos de seguridad pasiva del motorista, y entre ellos el airbag. Durante dicha investigación ejecutaron ensayos en laboratorio de colisiones a vehículo completo motocicleta-turismo (según norma ISO 13232-1: 2005 [75]), así como ensayos de carga torácica y de carga sobre la espalda del maniquí de ensayo (un maniquí Híbrido III percentil 50%). Los autores concluyeron que mediante el uso del airbag en el maniquí se alcanzaban niveles elevados de protección: el nivel de carga sobre la espalda descendía hasta un 80%, y la deformación torácica se reducía en casi un 25%.

4.3. Resultados

Durante el Apartado 4 del presente informe técnico se ha llevado a cabo un análisis de la efectividad de los principales sistemas de seguridad embarcados en las motocicletas y de aquellos que se añaden al equipamiento del motorista desde el punto de vista de la reducción de accidentes y de la disminución de las lesiones de los ocupantes accidentados, a partir de la recopilación de la bibliografía científica disponible. Junto a esto, se han examinado las investigaciones desarrolladas en más de 20 proyectos y consorcios internacionales, ejecutados durante los últimos 25 años. Dicho análisis ha proporcionado los siguientes resultados.

MOTOCICLETA. SEGURIDAD DE LOS NEUMÁTICOS

- Diversos estudios teórico-experimentales han concluido que la disminución de la presión en los neumáticos de la motocicleta respecto a la nominal empeora las condiciones de estabilidad de la misma.

No obstante, habitualmente desaparecen las evidencias posteriores a la colisión acerca de la influencia de la pérdida de presión en los neumáticos como causa de ocurrencia de accidentes de tráfico. Por ello, resulta muy difícil el análisis de la efectividad de los sistemas de control de la presión de los neumáticos (TPMS) en relación con la evitación de dichos accidentes.

A pesar de ello, algunos estudios han concluido que el mal estado de mantenimiento de los neumáticos previo a la colisión constituyó el fallo mecánico causante del accidente más habitual, por lo que el control en tiempo real de su presión constituye una medida de prevención relevante. Adicionalmente, la eficacia de los sistemas electrónicos de ayuda embarcados en las motocicletas está condicionada en gran medida por el estado de mantenimiento de dichos neumáticos.

MOTOCICLETA. SEGURIDAD DURANTE LA FRENADA

- Un elevado número de las muertes de motociclistas se producen como consecuencia de salidas de calzada, y muchos de estos accidentes podrían haberse evitado si tecnologías como los sistemas de frenado antibloqueo o sistemas de control de tracción hubiesen sido implementados en las motocicletas ([19]). Además, debe tenerse en cuenta que el riesgo de fallecimiento o de resultar herido grave cuando se produce la caída del ocupante de la motocicleta es dos veces mayor que cuando dicho ocupante no se cae ([22]).
- El sistema de frenado antibloqueo ABS, el cual actúa en situaciones de emergencia, ha mostrado su eficacia en ensayos experimentales de frenada en línea recta, tanto en superficies secas como mojadas, reduciendo la distancia de frenado y contribuyendo significativamente a la estabilidad de la motocicleta durante la ejecución de una maniobra de frenado severa.

Diversos estudios basados en pruebas reales de frenado ([19], [29], [33], [37]) han permitido estimar que para un motorista promedio, y especialmente si es novel, no es fácil alcanzar valores superiores al 60% del potencial máximo de frenada de la motocicleta sin disponer de sistemas avanzados de frenado (sistema de frenado antibloqueo, sistema de frenado combinado o ambos). En el caso de motocicletas con sistema ABS instalado, un motorista promedio e incluso uno novel con formación previa podrían conseguir valores máximos de deceleración próximos a los alcanzables por uno experimentado, con una mejora significativa de la confianza durante la ejecución de dicha maniobra.

Numerosas publicaciones científicas han llevado a cabo diversos análisis de la efectividad de este sistema ABS en accidentes reales, con estimaciones de la reducción del número de accidentes que podrían evitarse si todas las motocicletas implicadas llevaran embarcado este sistema de ayuda a la frenada ([27], [28], [30], [31], [32], [33], [35], [36], [38], [39], [41]). Los resultados son muy variables, dependiendo del tamaño de las muestras analizadas, configuración de los accidentes o zona de ocurrencia del siniestro. A pesar de ello, puede definirse un rango de accidentes entre el 20% y el 30% que podrían haberse evitado en caso de que la motocicleta implicada hubiera tenido embarcado un sistema de frenado antibloqueo.

- El análisis de efectividad del sistema de frenado combinado CBS se ha realizado habitualmente en combinación con el sistema ABS precedente. Dicho sistema CBS ha mostrado su eficacia en ensayos experimentales de frenada en línea recta, como los llevados a cabo en el marco del proyecto PISa (Powered Two Wheeler Integrated safety) [40], posibilitando una reducción de la distancia media de detención del 18%.

Diversas publicaciones científicas han llevado a cabo diversos análisis de la efectividad de este sistema CBS en accidentes reales, con estimaciones de la reducción del número de accidentes que podrían evitarse si todas las motocicletas implicadas llevaran embarcado este sistema de

ayuda a la frenada ([33], [36], [41]). Como sucedía en el sistema ABS, los resultados son muy variables, aunque puede definirse un rango de accidentes entre el 8% y el 10% que podrían haberse evitado en caso de que la motocicleta implicada hubiera tenido embarcado un sistema de frenado combinado CBS.

MOTOCICLETA. SISTEMA DE CONTROL DE ESTABILIDAD

- Algunos autores ([25]) concluyeron que en los accidentes con fallecidos y heridos graves y con implicación de una única motocicleta, el 64% se produjo por pérdida de control durante la trazada de una curva. A partir de estos resultados otros autores ([32]) concluyeron que el 31% de los accidentes en Alemania habrían sido evitados con la instalación de un sistema de control de estabilidad y sistema de frenado antibloqueo integrado.
- En el estudio [42] sus autores concluyeron que el 5% de los accidentes analizados podrían haber sido evitados con la instalación adicional del sistema de control de estabilidad, considerando únicamente la contribución del mismo a la trazada de la curva.

MOTOCICLETA. SISTEMA ASISTENTE DE VELOCIDAD INTELIGENTE

- La velocidad de circulación constituye una de las principales variables de influencia tanto en la ocurrencia de los accidentes como en la gravedad de los mismos. La probabilidad de ocurrencia de algunos tipos de accidentes está directamente relacionada con dicha velocidad. Asimismo, la desviación respecto a la velocidad promedio del flujo de tráfico también desempeña un papel relevante sobre dicha probabilidad.
- En el estudio [17] se concluyó que el 21% de las motocicletas accidentadas circulaban a una velocidad diferente a la del flujo de tráfico, y esta diferencia fue relevante para la ocurrencia del siniestro. En esta línea, los autores del estudio [25] concluyeron que el exceso de velocidad respecto a la del flujo de tráfico y las condiciones del medio fue el principal factor desencadenante del accidente en el 22% de los siniestros.
- Otros estudios ([44] y [45]) concluyeron que una disminución del 1% en la velocidad promedio inducía una reducción del 2% en el número de accidentes con víctimas, una disminución del 3% en el número de accidentes con heridos graves y una reducción del 4% en el número de accidentes mortales. Y un incremento del 5% en la velocidad media provocaba un aumento del 20% en el número de accidentes mortales.
- Los autores del estudio [49] estimaron que en un escenario con sistemas ISA voluntarios, podrían alcanzarse reducciones del número de fallecidos entre el 19% y el 28%, según los países considerados en el proyecto (Bélgica, Reino Unido, Francia, Holanda, España y Suecia); y en el caso de un escenario con sistemas ISA obligatorios, la disminución de fallecidos en accidentes de tráfico oscilaría entre el 26% y el 50%, en función de los países de aplicación.
- Los autores del estudio [52] evaluaron el comportamiento de los sistemas ISA en motocicletas y su aceptación por parte de los motoristas. Se concluyó que los sistemas eran evaluados positivamente desde el punto de vista de los beneficios para la seguridad, sobre todo el sistema de alerta, y especialmente en el caso de su posible implementación en motocicletas conducidas por conductores noveles. Frente a lo anterior, los motoristas que participaron en los

ensayos mostraron un rechazo parcial a estos dispositivos. Estos resultados están alineados con algunos de los comentarios desfavorables acerca de los sistemas ISA por parte de distintas asociaciones de motoristas, los cuales cuestionan la posibilidad de utilizar sistemas de intervención ISA ante el riesgo de pérdida de estabilidad de la motocicleta al reducir la velocidad de la misma. Frente a esto, los sistemas ISA informativos tendrían una mejor aceptación.

- Algunos de los aspectos pendientes de resolver en relación con estos sistemas tienen que ver con el diseño del dispositivo HMI. Los investigadores del estudio [53], tomando en consideración que si éstos no eran aceptados por el usuario, éste tendería a rechazar la información recibida, concluyeron que el pedal háptico con vibración fue el más efectivo, aunque resultó el peor valorado por parte de los conductores. Otro de los dispositivos peor valorado fue el avisador acústico, probablemente porque transmitía una situación de estrés e inseguridad hacia los pasajeros. Frente a los anteriores, el mejor valorado resultó el diseño de control de velocidad.

MOTORISTA. VISIBILIDAD DE CASCO Y ROPA DE PROTECCIÓN

- El **casco** constituye uno de los elementos del motorista diseñado para incrementar el **comfort** de éste y, por lo tanto, reducir la fatiga durante la conducción, lo cual constituye un factor clave para la prevención de los accidentes. Alguno de los estudios consultados ([55]) concluyeron que el principal factor de falta de confort fue el ruido del casco (registrado en más del 30% de los casos).
- La **visibilidad del motorista por otros usuarios** de la vía desempeña también un papel muy relevante en la ocurrencia de accidentes con implicación de motocicletas. Algún estudio ([56]) ha mostrado que los motoristas que hacían uso de algún elemento reflectante en la ropa de protección presentaron un riesgo de lesión en accidente un 37% inferior a aquellos que no llevaban ningún dispositivo reflectante en la ropa. En relación con el color del casco, aquellos que hacían uso de un casco blanco presentaron un riesgo de lesión un 24% inferior a aquellos que usaban uno de color negro.

Otros autores ([57]) concluyeron, mediante estudios experimentales en laboratorio, que el uso de chaleco reflectante y casco con colores brillantes fue efectivo en la mejora de la identificación de motocicletas a larga distancia en entornos urbanos, con gran complejidad de colores en el flujo de tráfico.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR EL CASCO

- La efectividad del casco para la prevención de lesiones en la cabeza ha quedado documentada en diversos estudios en las últimas décadas. Algunos autores ([58]) concluyeron que cuando no se hacía uso del casco se incrementaba significativamente el riesgo de ocurrencia de lesiones en cabeza (2.4 veces superior) y cara (3.0 veces superior), respecto al caso de uso de casco.
- Otros ([62]) estimaron que un incremento del 30% en la capacidad de absorción de energía del casco reduciría un 50% de las lesiones críticas con AIS 5/6, que pasarían a lesiones moderadas con AIS 1/2. Este ha sido uno de los objetivos de la próxima revisión 06 del Reglamen-

to CEPE/ONU 22R05. También se determinó que al considerar lesiones en la cabeza con AIS ≥ 2 , el 60% fueron causadas por movimientos rotacionales. Un ensayo específico de rotación ha sido asimismo incorporado en dicha revisión 06 del Reglamento. En relación con las lesiones en el cuello, concluyeron que las lesiones graves en el mismo estaban asociadas con lesiones críticas en la cabeza; dispositivos con el Neck Brace podría ser de utilidad en estos casos.

- En relación con el riesgo de ocurrencia de lesiones, los autores del estudio [63] concluyeron que cuando se hacía uso del casco el riesgo de fallecimiento se reducía en un 42% y el riesgo de ocurrencia de lesiones en la cabeza se reduce en un 69%.
- En esta misma línea, otros autores ([64]), concluyeron que la probabilidad de resultar herido en un accidente siendo motorista se reducía en un 25% con el uso del casco. Además, si se tenían en cuenta únicamente lesiones en la cabeza, el uso del casco las disminuiría en: un 44% en el caso de motoristas fallecidos, y en un 49% en el caso de heridos graves.
- En relación con dispositivos de seguridad adicionales al casco como es el MIPS (Multi-directional Impact Protection System), algunos autores ([66]) concluyeron que éste posibilitaba una reducción del 91% de la probabilidad de lesión AIS 2 en cabeza.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR CHAQUETAS Y PANTALONES

- La efectividad de la ropa de protección para motoristas (chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas) ha sido evaluada en distintos estudios. Algunos autores ([67]) concluyeron que los motoristas que hacían uso de ropa de protección, en comparación con los que no hacían uso de dicha ropa, presentaron: un período de permanencia en el hospital 15 días inferior; un período de baja laboral 45 días inferior; y una incidencia de lesiones permanentes un 60% menor.
- Otros ([64]) estimaron que la probabilidad de resultar herido en un accidente siendo motorista se reducía en un 30% con el uso de ropa de protección. Además, el uso de chaquetas y pantalones podía disminuir las lesiones en extremidades superiores e inferiores en un 33%. Asimismo, los autores del estudio [59] mostraron que el uso de ropa de protección fue efectivo para la reducción del número y de la gravedad de las lesiones en la columna, independientemente de la velocidad de colisión.
- En esta línea, los autores de la investigación ([68]), considerando una muestra de motoristas accidentados con lesiones menores, concluyeron que: el uso de chaquetas con protectores redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en la zona superior del tronco en un 23%, respecto al caso de no uso de chaqueta de protección; y el uso de pantalones con protectores redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en las extremidades inferiores en un 39%, respecto al caso de no uso de pantalones de protección.

Si se excluían las lesiones por magulladuras leves: las chaquetas con protectores redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en la zona superior del tronco en un 33 %, y redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en dicha zona en un 63%; los pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en la zona inferior del tronco en un 34%, y redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en dicha zona en un 59%; y dichos pantalones con protectores redujeron el riesgo

de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en las extremidades inferiores en un 47%, y redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en dicha zona en un 91%.

- Los autores del estudio [69] evaluaron la efectividad de la ropa de protección según las cuatro zonas de riesgo (Zonas 1 a 4) identificadas en la norma UNE-EN 13595. Concluyeron que el riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión en zonas desprotegidas fue 2.7 veces superior respecto a las zonas protegidas. En el caso de heridas abiertas, el riesgo fue 3.3 veces mayor; y 1.5 veces superior en el caso de contusiones o quemaduras.

En la Zona 1, el riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión fue 10.9 veces superior en el caso de no uso de ropa de protección, en comparación con el uso de ropa con protectores; y dicho riesgo, en el caso de heridas abiertas en dicha zona, fue 5.4 superior en el caso de no uso de ropa de protección.

En la Zona 2, el riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión fue 2.2 veces superior en el caso de no uso de ropa de protección, en comparación con el uso de ropa de protección; y dicho riesgo, en el caso de heridas abiertas en dicha zona, fue 2.2 superior en el caso de no uso de ropa de protección.

Este estudio también identificó un elevado porcentaje de fracturas en las Zonas 3 y 4 (respecto a las Zonas 1 y 2), lo cual conllevaría una revisión de la protección frente al impacto en las zonas clasificadas por la norma UNE-EN 13595 como de bajo riesgo.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LOS PROTECTORES

- La efectividad de los protectores ha sido evaluada en distintas investigaciones. Algunos autores ([68]) concluyeron que, si se excluían las lesiones por magulladuras leves: las chaquetas con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en la zona superior del tronco en un 5%, respecto al caso de uso de chaqueta sin protectores; los pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en la zona inferior del tronco en un 21%, respecto al caso de uso de pantalones sin protectores; y dichos pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en las extremidades inferiores en un 54%, respecto al caso de uso de pantalones sin protectores.
- Los autores del estudio [69] evaluaron la efectividad de la ropa de protección según las cuatro zonas de riesgo (Zonas 1 a 4) identificadas en la norma UNE-EN 13595. Concluyeron que el riesgo de ocurrencia de heridas abiertas en Zona 1 fue 2.5 veces superior en el caso de uso de ropa sin protectores, en comparación con el uso de ropa con protectores; en el caso de contusiones en esta zona, el riesgo fue 2.3 veces superior en el caso de uso de ropa sin protectores.
- Otros autores ([70]) concluyeron que el riesgo de ocurrencia de lesiones en la columna fue 2.7 veces superior en el caso de uso de sistemas de baja protección/sin protección, en comparación con el uso de sistemas de alta protección.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LOS GUANTES

- La efectividad de los guantes ha sido evaluada en distintos estudios. Algunos autores ([19]) concluyeron que el uso de los mismos por los motoristas redujo o evitó las lesiones con AIS I en las manos (gravedad menor) en un 44%.
- Otros autores ([64]) concluyeron que el uso de guantes podría reducir en un 50% las lesiones en las manos como consecuencia de un accidente.
- Los autores del estudio [68] concluyeron que el uso de guantes de protección reforzados redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en las manos y las muñecas en un 45%, respecto al caso de no uso de guantes. Y si se excluían las lesiones por magulladuras leves: los guantes de protección reforzados redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en manos/muñecas en un 62%, y los guantes no reforzados las redujeron en un 40%; asimismo, los guantes reforzados redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en manos/muñecas en un 73%, y los guantes no reforzados las redujeron en un 70%.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LAS BOTAS

- La efectividad de las botas ha sido evaluada en distintos estudios. Algunos autores ([64]) concluyeron que el uso de las mismas podría reducir en un 33% las lesiones en los pies como consecuencia de un accidente. Otros ([68]) concluyeron que el uso de botas de motorista reforzadas redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en pies y tobillos en un 45%, respecto al caso de uso de calzado convencional.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR EL AIRBAG

132

- La efectividad del airbag de motorista ha sido evaluada en distintas investigaciones. Algunos autores ([72]) concluyeron que el tórax es la región corporal que presenta el valor máximo de AIS más frecuentemente, en el caso de los accidentes con fallecidos y herido graves. Tomando esto en consideración, otros autores ([71]) evaluaron que, tanto desde el punto de vista de los accidentes reales como desde los resultados de los ensayos en laboratorio, los airbags analizados protegieron convenientemente el tórax de los motoristas hasta velocidades de 40 km/h.
- En el estudio [73] los modelos matemáticos desarrollados permitieron concluir que el dispositivo airbag redujo significativamente la deflexión del esternón y la gravedad de los daños, desde lesiones AIS 5 sin airbag hasta lesiones AIS 2 en el caso de uso del sistema de seguridad pasiva descrito.
- Los autores del estudio [74], a partir de ensayos en laboratorio, concluyeron que mediante el uso del airbag en el maniquí se alcanzaban niveles elevados de protección: el nivel de carga sobre la espalda descendía hasta un 80%, y la deformación torácica se reducía en casi un 25%.

5

Recopilación de la normativa nacional y europea

133

5.1. Sistemas de seguridad de motocicletas

Para la obtención de una Homologación de Tipo UE de vehículos de 2 ó 3 ruedas y cuatriciclos, según se recoge en el Real Decreto 2028/1986 (modificación de 9 de mayo de 2020) será necesario cumplir con toda la reglamentación parcial indicada en el Anexo correspondiente de la Directiva 2002/24/CE ([76]) modificada por la última directiva aplicable o por el Reglamento (UE) 168/2013 ([2]).

En dicho Reglamento (UE) N° 168/2013 están contenidos los requisitos administrativos y técnicos que rigen en la Unión Europea para la homologación de tipo de todos los nuevos vehículos, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes, para los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos que se clasifican como vehículos de categoría L y que están destinados a circular en vías públicas.

Los requisitos de seguridad funcional para la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos se incluyen en el Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014 ([77]), que complementa el Reglamento (UE) N° 168/2013; así como en el Reglamento Delegado (UE) N° 2016/1824 ([78]), que modifica el Anexo I del Reglamento (UE) N° 3/2014.

5.1.1. Sistemas de protección primaria

A los efectos del Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]) se definen los “sistemas avanzados de frenado” como: el sistema de frenado antibloqueo, el sistema de frenado combinado o ambos. En dicho Reglamento se define el montaje obligatorio de dichos sistemas avanzados para la categoría L3e, en las fechas: 1 de enero de 2016 (nuevos tipos de vehículos), y 1 de enero de 2017 (tipos de vehículos ya existentes).

Como requisitos en materia de seguridad funcional, es obligatoria la instalación de sistemas avanzados de frenado según se describe a continuación:

- Las motocicletas nuevas de la subcategoría L3e-A1 que sean comercializadas, matriculadas y puestas en servicio contarán con un sistema de frenado antibloqueo y/o un sistema de frenado combinado, a elección del fabricante de los vehículos.

- Las motocicletas nuevas de las subcategorías L3e-A2 y L3e-A3 que sean comercializadas, matriculadas y puestas en servicio contarán con un sistema de frenado antibloqueo.
- Las categorías L3e-AxE ($x = 1, 2$ ó 3 , motocicletas enduro de dos ruedas) y L3e-AxT ($x = 1, 2$ ó 3 , motocicletas trial de dos ruedas) están exentas de la instalación obligatoria de sistemas avanzados de frenado.
- Los vehículos de categoría L4e (motocicletas con sidecar) quedan excluidos de los requisitos relativos a la instalación obligatoria de sistemas avanzados de frenado.

En relación con los requisitos aplicables al frenado, incluidos los sistemas de frenado antibloqueo y sistemas de frenado combinado, en el Anexo III del Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014 se indica que los vehículos de las categorías L1e, L2e, L3e, L4e y L5e cumplirán todos los requisitos pertinentes del Reglamento CEPE N° 78 ([79]).

5.1.1.1. Sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS)

Como se indicó en el Apartado 3.2.1.5, el Reglamento (UE) N° 661/2009 ([5]) dispone que los vehículos de la categoría M1 estarán equipados con un sistema exacto de control de la presión de los neumáticos capaz de emitir, cuando sea necesario, una advertencia al conductor en el interior del vehículo en caso de que se produzca una pérdida de presión en cualquier neumático, en beneficio de un óptimo consumo de combustible y de la seguridad vial. Dicho Reglamento entró en vigor en 2012 (nuevos tipos) y en 2014 (nuevas matriculaciones). Este Reglamento **no aplica a los vehículos de la categoría L.**

A pesar de la no obligatoriedad de este dispositivo en motocicletas, se describen a continuación los principales requerimientos de homologación que aplican a los sistemas TPMS para los vehículos de las categorías M₁ y N₁, los cuales están contenidos en el Reglamento N° 141 ([80]), y que podrían ser tomados en consideración para sistemas TPMS en motocicletas:

- El sistema debe ser capaz de evaluar la presión de inflado de los neumáticos o la variación de ésta a lo largo del tiempo, y transmitir la información correspondiente al usuario mientras el vehículo está en marcha.
- La eficacia del sistema TPMS no deberá verse afectada por campos magnéticos o eléctricos. Este particular deberá demostrarse por cumplimiento del Reglamento N° 10 ([81]).
- El sistema deberá funcionar desde una velocidad igual o inferior a 40 km/h hasta la velocidad máxima del vehículo según el fabricante.
- Detección de la presión de los neumáticos en lo que concierne a la pérdida de presión relacionada con un incidente, y respecto a un nivel de presión de los neumáticos muy por debajo de la presión recomendada para un rendimiento óptimo, incluidos el consumo de combustible y la seguridad
- El TPMS deberá iluminar la señal de advertencia transcurridos no más de diez minutos de tiempo de conducción acumulado desde que la presión de servicio en uno de los neumáticos del vehículo se haya reducido en un 20% o sea como mínimo de 150 kPa, según cual sea el valor más alto.

- El sistema deberá iluminar la señal de advertencia no más de diez minutos después de producirse una avería que afecte a la generación o transmisión de señales de control o respuesta en el sistema de control de la presión de los neumáticos del vehículo.
- La indicación de advertencia deberá consistir en una señal de advertencia óptica que se ajuste al Reglamento N° 121 ([82]).
- La señal de advertencia deberá ser visible incluso de día; el conductor deberá poder verificar fácilmente desde su asiento el estado correcto de la señal.

5.1.1.2. Sistema de frenado antibloqueo (ABS)

Como ha sido indicado en el inicio del Apartado 5.1.1, en relación con los requisitos aplicables al frenado, incluidos los sistemas de frenado antibloqueo y sistemas de frenado combinado, en el Anexo III del Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014 se indica que los vehículos de las categorías L1e, L2e, L3e, L4e y L5e cumplirán todos los requisitos pertinentes del Reglamento CEPE N° 78 ([79]).

En el Anexo 3 de dicho Reglamento N° 78 se definen las condiciones y procedimientos de ensayo, y los requisitos de eficacia. Se describen seguidamente los aspectos más significativos contenidos en dicho Anexo. Se debe realizar una secuencia de ensayos como sigue:

1. Frenada en seco: accionamiento de un solo mando de freno.

- Estado del vehículo con carga. En el caso de los vehículos equipados con sistemas de frenado combinados y sistemas de frenado de servicio divididos: el vehículo debe someterse a ensayo en la condición de carga ligera, además de la condición con carga.
- Motor desembragado.
- Velocidad de ensayo: i) categorías L_1 y L_2 : 40 km/h ó $0.9V_{\text{máx}}$, si ésta es inferior; ii) categorías L_3 , L_5 y L_4 : 60 km/h ó $0.9V_{\text{máx}}$, si ésta es inferior.
- Cada mando del sistema de frenado de servicio (delantero, trasero) debe accionarse por separado.
- Requisitos de eficacia. La distancia de parada deberá ser la especificada en la columna 2, o bien la desaceleración media estabilizada (DME) deberá ser la especificada en la columna 3 de la siguiente tabla (Tabla 7).

2. Frenada en seco: accionamiento de todos los mandos del frenado de servicio.

- Aplicable a las categorías de vehículos L_3 , L_5 y L_4 .
- Con carga ligera.
- Motor desembragado.
- Velocidad de ensayo: 100 km/h ó $0.9V_{\text{máx}}$, si ésta es inferior.
- Accionamiento simultáneo de ambos mandos del sistema de frenado de servicio, en su caso, o del mando del sistema de frenado de servicio único en el caso de un sistema de frenado de servicio que actúe sobre todas las ruedas.

- Requisitos de eficacia. La distancia de parada (S) deberá ser $S \leq 0.0060 V^2$ (siendo V la velocidad de ensayo especificada en km/h y S la distancia de parada exigida en metros).

3. Ensayo a alta velocidad.

- Aplicable a las categorías de vehículos L_3 , L_5 y L_4 .
- No es necesario en vehículos con $V_{\text{máx}} \leq 125$ km/h.
- Con carga ligera.
- Motor embragado con la transmisión en la marcha superior.
- Velocidad de ensayo: i) $0.8 V_{\text{máx}}$ en vehículos con $V_{\text{máx}} > 125$ km/h y < 200 km/h; ii) 160 km/h en vehículos con $V_{\text{máx}} \geq 200$ km/h.
- Accionamiento simultáneo de ambos mandos del sistema de frenado de servicio, en su caso, o del mando del sistema de frenado de servicio único en el caso de un sistema de frenado de servicio que actúe sobre todas las ruedas.
- Requisitos de eficacia. a) la distancia de parada (S) deberá ser $\leq 0.1 V + 0.0067 V^2$ (siendo V la velocidad de ensayo especificada en km/h y S la distancia de parada exigida en metros); o b) la desaceleración media estabilizada deberá ser ≥ 5.8 m/s².

4. Ensayo con frenos mojados.

- Consta de dos partes, que se llevan a cabo de manera consecutiva con cada sistema de frenado: i) un ensayo de referencia basado en el ensayo de frenada en seco con accionamiento de un solo mando de freno; ii) una sola frenada con frenos mojados utilizando los mismos parámetros de ensayo que en el inciso i), pero rociando constantemente los frenos con agua durante todo el ensayo, a fin de medir la eficacia de los frenos en condiciones húmedas.
- Los frenos de tambor o los frenos de disco totalmente protegidos están exentos de este ensayo, salvo que dispongan de ventilación o puntos de inspección abiertos.
- Aplicable a todas las categorías de vehículos.
- Con carga: en el caso de los vehículos equipados con sistemas de frenado combinados y sistemas de frenado de servicio divididos: el vehículo debe someterse a ensayo en la condición de carga ligera, además de la condición con carga.
- Motor desembragado.
- Cada freno debe estar provisto de un equipo de rociado de agua.
- Se lleva a cabo un ensayo de referencia conforme al ensayo de frenada en seco con accionamiento de un solo mando de freno. Debe realizarse con cada sistema de frenado, pero ejerciendo sobre el mando de freno la fuerza que dé lugar a una desaceleración del vehículo de 2.5 a 3.0 m/s².
- El vehículo debe conducirse a la velocidad de ensayo utilizada en el ensayo de referencia, con el equipo de rociado de agua actuando sobre los frenos objeto de ensayo y sin aplicar

el sistema de frenado. Tras recorrer una distancia ≥ 500 m, debe aplicarse sobre el mando de freno la fuerza promediada que se ha determinado en el ensayo de referencia para el sistema de frenado objeto de ensayo. Debe medirse la desaceleración media del vehículo en el período comprendido entre 0.5 y 1.0 segundos tras el accionamiento del mando de freno. Asimismo, debe medirse la desaceleración máxima del vehículo durante la parada total, pero excluidos los últimos 0.5 segundos.

- Requisitos de eficacia. El valor medido de desaceleración debe equivaler a $\geq 60\%$ de los valores medios de desaceleración registrados en el ensayo de referencia en el período comprendido entre 0.5 y 1.0 segundos tras el momento de accionarse el mando de freno; y el valor medido debe equivaler a $\leq 120\%$ de los valores medios de desaceleración registrados durante la parada total, pero excluidos los últimos 0.5 segundos.

5. Ensayo de pérdida de eficacia por el calor.

- El ensayo consta de tres partes, que se llevan a cabo de manera consecutiva con cada sistema de frenado: i) un ensayo de referencia consistente en el ensayo de frenada en seco con accionamiento de un solo mando de freno; ii) un procedimiento de calentamiento, que consiste en una serie de paradas sucesivas para calentar los frenos; iii) una frenada con frenos calientes mediante el ensayo de frenada en seco con accionamiento de un solo mando de freno.
- Aplicable a las categorías de vehículos L_3 , L_5 y L_4 .
- Todas las frenadas deben realizarse con el vehículo cargado.
- Ensayo de referencia. Velocidad de ensayo: 60 km/h ó $0.9 V_{\text{máx}}$, si esta es inferior. Debe acelerarse el vehículo hasta la velocidad de ensayo, accionarse el mando de freno y registrarse la fuerza ejercida sobre el mando necesaria para obtener la eficacia de frenado del vehículo indicada en la Tabla 7.
- Procedimiento de calentamiento. Se ejecutan 11 frenadas, aplicando una fuerza constante sobre el mando tal que se consiga una tasa de desaceleración del vehículo de 3.0 a 3.5 m/s^2 , haciendo que el vehículo desacelere entre el 80 % y el 10 % de la velocidad especificada.
- Procedimiento de ensayo. Debe efectuarse una frenada única en las condiciones aplicadas en el ensayo de referencia, en relación con el sistema de frenado que se ha calentado durante el procedimiento precedente. Esta frenada debe realizarse en el minuto siguiente a la finalización de dicho procedimiento de calentamiento, con una fuerza de accionamiento del mando de freno inferior o igual a la aplicada durante el ensayo de referencia.
- Requisitos de eficacia: a) la distancia de frenado debe ser: $S_2 \leq 1.67 S_1 - 0.67 \times 0.1 V$ donde: S_1 = distancia de parada corregida, en metros, alcanzada en el ensayo de referencia, S_2 = distancia de parada corregida, en metros, alcanzada en la frenada con frenos calientes, V = velocidad de ensayo especificada, en km/h; o b) la desaceleración media estabilizada debe ser $\geq 60\%$ de la registrada en el ensayo de referencia.

6. Ensayos del ABS.

- Aplicables únicamente a los ABS instalados en vehículos de las categorías L_1 y L_3 .

- La finalidad de los ensayos es confirmar la eficacia de los sistemas de frenado equipados con ABS, así como su eficacia en caso de fallo eléctrico del ABS.
- “Modulación cíclica”: el sistema antibloqueo modula repetidamente la fuerza de frenado para evitar que las ruedas directamente controladas se bloqueen.
- Se permite el bloqueo de las ruedas mientras no afecte a la estabilidad del vehículo hasta el punto de que el operador tenga que soltar el mando o de que una rueda del vehículo se salga del carril de ensayo. La serie de ensayo abarca los ensayos individuales descritos a continuación.
- Frenadas sobre una superficie de alto rozamiento. Velocidad de ensayo: 60 km/h ó $0.9 V_{\text{máx}}$, si ésta es inferior. Accionamiento simultáneo de ambos mandos del sistema de frenado de servicio, en su caso, o del mando del sistema de frenado de servicio único en el caso de un sistema de frenado de servicio que actúe sobre todas las ruedas. La fuerza de accionamiento del freno ha de ser la necesaria para que el ABS realice la modulación cíclica a lo largo de cada frenada, hasta alcanzar los 10 km/h. Requisitos de eficacia: la distancia de parada (S) deberá ser $\leq 0.0063 V^2$ (siendo V la velocidad de ensayo especificada en km/h y S la distancia de parada exigida en metros); o bien la desaceleración media estabilizada deberá ser $\geq 6.17 \text{ m/s}^2$; y no se bloquearán las ruedas, que además permanecerán dentro del carril de ensayo.
- Frenadas sobre una superficie de bajo rozamiento. Mismas condiciones de ensayo precedente, pero utilizando la superficie de bajo rozamiento. Requisitos de eficacia: la distancia de parada (S) deberá ser $\leq 0.0056 V^2/P$ (siendo V la velocidad de ensayo especificada en km/h, P el coeficiente máximo de frenado y S la distancia de parada exigida en metros); o bien la desaceleración media estabilizada deberá ser $\geq 6.87 \times P$, en m/s^2 ; y no se bloquearán las ruedas, que además permanecerán dentro del carril de ensayo.
- Comprobación del bloqueo de las ruedas en el paso de una superficie de alto rozamiento a otra de bajo rozamiento. Requisitos de eficacia: las ruedas no deberán bloquearse y deberán permanecer dentro del carril de ensayo.
- Comprobación del bloqueo de las ruedas en el paso de una superficie de bajo rozamiento a otra de alto rozamiento. Requisitos de eficacia: las ruedas no deberán bloquearse y deberán permanecer dentro del carril de ensayo.
- Frenadas con fallo eléctrico del ABS. Estando desactivado el sistema eléctrico del ABS, debe realizarse el ensayo de frenada en seco con accionamiento de un solo mando de freno. Requisitos de eficacia: a) el sistema deberá cumplir los requisitos de advertencia de fallo; y b) los requisitos mínimos relativos a la distancia de parada o la desaceleración media estabilizada de la Tabla 7 bajo el encabezamiento “Sistema de frenado único, frenado únicamente de las ruedas traseras”.

Columna 1	Columna 2	Columna 3
Categoría de vehículos	DISTANCIA DE PARADA (S) (V es la velocidad de ensayo especificada en km/h y S es la distancia de parada exigida en metros)	DME

Sistema de frenado único, frenado únicamente de las ruedas delanteras:

L ₁	$S \leq 0,1 V + 0,0111 V^2$	$\geq 3,4 \text{ m/s}^2$
L ₂	$S \leq 0,1 V + 0,0143 V^2$	$\geq 2,7 \text{ m/s}^2$
L ₃	$S \leq 0,1 V + 0,0087 V^2$	$\geq 4,4 \text{ m/s}^2$
L ₅	No aplicable	No aplicable
L ₄	$S \leq 0,1 V + 0,0105 V^2$	$\geq 3,6 \text{ m/s}^2$

Sistema de frenado único, frenado únicamente de las ruedas traseras:

L ₁	$S \leq 0,1 V + 0,0143 V^2$	$\geq 2,7 \text{ m/s}^2$
L ₂	$S \leq 0,1 V + 0,0143 V^2$	$\geq 2,7 \text{ m/s}^2$
L ₃	$S \leq 0,1 V + 0,0133 V^2$	$\geq 2,9 \text{ m/s}^2$
L ₅	No aplicable	No aplicable
L ₄	$S \leq 0,1 V + 0,0105 V^2$	$\geq 3,6 \text{ m/s}^2$

Vehículos con sistemas de frenado combinados o sistemas de frenado de servicio divididos. Condiciones con carga y con carga ligera:

L ₁ y L ₂	$S \leq 0,1 V + 0,0087 V^2$	$\geq 4,4 \text{ m/s}^2$
L ₃	$S \leq 0,1 V + 0,0076 V^2$	$\geq 5,1 \text{ m/s}^2$
L ₅	$S \leq 0,1 V + 0,0077 V^2$	$\geq 5,0 \text{ m/s}^2$
L ₄	$S \leq 0,1 V + 0,0071 V^2$	$\geq 5,4 \text{ m/s}^2$

Vehículos con sistemas de frenado combinados o sistemas de frenado de servicio secundarios.

TODAS	$S \leq 0,1 V + 0,0154 V^2$	$\geq 2,5 \text{ m/s}^2$
-------	-----------------------------	--------------------------

Tabla 7. Requisitos de eficacia de ensayo de frenada en seco con accionamiento de un solo mando de freno. Reglamento CEPE N° 78.

5.1.1.3. Sistema de frenado combinado (CBS)

Como ha sido indicado en el inicio del Apartado 5.1.1, en relación con los requisitos aplicables al frenado, incluidos los sistemas de frenado antibloqueo y sistemas de frenado combinado, en el Anexo III del Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014 se indica que los vehículos de las categorías L1e, L2e, L3e, L4e y L5e cumplirán todos los requisitos pertinentes del Reglamento CEPE N° 78 ([79]).

En el Anexo 3 de dicho Reglamento N° 78 se definen las condiciones y procedimientos de ensayo, y los requisitos de eficacia. Un resumen de dichos requisitos ha sido incluido en el apartado precedente (Apartado 5.1.1.2).

5.1.1.4. Sistema de control adaptativo de velocidad (ACC)

Como se indicó al comienzo del presente informe, los requisitos de los Reglamentos (UE) N° 661/2009 ([5]) y N° 2019/2144 ([6]), que derogará al anterior a partir del año 2022, no aplican actualmente a las motocicletas, pero serán comentados durante el presente informe en el caso de aquellos sistemas de seguridad no incluidos en el Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]).

En concreto, el Reglamento (UE) N° 2019/2144 incluye la obligatoriedad de numerosos sistemas de seguridad primaria de asistencia al conductor, como son: los sistemas avanzados de frenado de emergencia, los asistentes de velocidad inteligentes, los sistemas de emergencia de mantenimiento del carril, los sistemas de advertencia de somnolencia y pérdida de atención del conductor, los sistemas avanzados de advertencia de distracciones del conductor y el detector de marcha atrás son sistemas de seguridad que tienen un elevado potencial de reducción de las cifras de víctimas de accidentes.

No obstante, los sistemas de control adaptativo de velocidad (ACC) no están incluidos dentro de los sistemas de seguridad primaria del citado Reglamento (UE) N° 2019/2144. Por ello, no se define ningún requisito de funcionamiento aplicable a dichos dispositivos ACC.

Frente a esto, está disponible la norma ISO 15622:2018 (Intelligent transport systems — Adaptive cruise control systems — Performance requirements and test procedures [83]). Este documento define requisitos funcionales, elementos HMI básicos, y procedimientos de ensayo para dichos dispositivos ACC. Aunque esta norma ha sido desarrollada fundamentalmente para dispositivos embarcados en vehículos automóviles, se resumen seguidamente algunos requisitos que pueden ser considerados para los dispositivos ACC embarcados en motocicletas.

• Tipos de sistemas ACC.

- o FSRA: Full Speed Range Adaptive Cruise Control. Sistemas que actúan sobre las funciones de aceleración y frenada del vehículo para mantener la distancia de separación entre vehículos predeterminada. No requieren intervención manual sobre el embrague y actúan hasta la detención del vehículo si es requerido.
- o LSRA I: Limited Speed Range Adaptive Cruise Control. Sistemas que actúan sobre las funciones de aceleración y frenada del vehículo para mantener la distancia de separación entre vehículos predeterminada. Sí requieren intervención manual sobre el embrague y únicamente actúan a partir de una velocidad mínima de diseño.

- o LSRA 2: Sistemas que actúan sobre las funciones de aceleración y frenada del vehículo para mantener la distancia de separación entre vehículos predeterminada. No requieren intervención manual sobre el embrague y únicamente actúan a partir de una velocidad mínima de diseño.
- **Estrategia de control básica:**
 - o Si el sistema ACC está activo, se controla la velocidad del vehículo considerando la distancia entre vehículos predeterminada o la velocidad prefijada. El cambio entre variables de control se lleva a cabo de manera automática.
 - o La distancia entre vehículos puede tener ajuste automático o ajuste por el conductor.
 - o Si hay más de un vehículo que precede, el sistema seleccionará automáticamente el utilizado como referencia.
 - o En sistemas LSRA, el sistema se puede desactivar automáticamente cuando la velocidad del vehículo es menor que la velocidad mínima de diseño.
- **Características de funcionamiento:**
 - o No es requerido que los sistemas ACC reconozcan objetos detenidos.
 - o El tiempo de seguridad, obtenido como el cociente entre la distancia entre vehículos y la velocidad de circulación, debe ser mayor o igual que 0.8 s.
 - o La zona de detección de distancia relativa y velocidad del vehículo que precede debe estar entre 4 metros y la distancia máxima de detección.
 - o Si hay más de un vehículo que precede en circulación en recta o en curvas en régimen estacionario, el sistema ACC debe seleccionar automáticamente uno de los vehículos de seguimiento.
- **Interfaces con el conductor básicas:**
 - o La velocidad deseada debe ser seleccionable.
 - o La actuación del conductor sobre el sistema de frenado debe desactivar las funciones de control de velocidad y control de distancia, cuando la desaceleración requerida sea superior a la que esté aplicando el propio sistema automático.
 - o En la función de tracción es aplicada la mayor de las demandas entre la acción del conductor y la del sistema automático de control.
 - o No son requeridos sistemas ABS o TC.
- **Límites de operación:**
 - o No se efectuarán deceleraciones severas por debajo de velocidades de 5 m/s.
 - o La deceleración promedio automática del sistema ACC no será superior a 3.5 m/s^2 cuando la velocidad del vehículo sea superior a 20 m/s, y no excederá 5 m/s^2 cuando la velocidad del vehículo sea inferior a 5 m/s.

- o La aceleración promedio automática del sistema ACC no será superior a 2 m/s^2 cuando la velocidad del vehículo sea superior a 20 m/s , y no excederá 4 m/s^2 cuando la velocidad del vehículo sea inferior a 5 m/s .

5.1.1.5. Sistema asistente de velocidad inteligente (ISA)

Como se indicó al comienzo del presente informe, los requisitos de los Reglamentos (UE) N° 661/2009 ([5]) y N° 2019/2144 ([6]), que deroga al anterior a partir del año 2022, no aplican actualmente a las motocicletas, pero serán comentados durante el presente informe en el caso de aquellos sistemas de seguridad no incluidos en el Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]).

En concreto, el Reglamento (UE) N° 2019/2144 incluye la obligatoriedad de numerosos sistemas de seguridad primaria de asistencia al conductor; como son: los sistemas avanzados de frenado de emergencia, los asistentes de velocidad inteligentes, los sistemas de emergencia de mantenimiento del carril, los sistemas de advertencia de somnolencia y pérdida de atención del conductor; los sistemas avanzados de advertencia de distracciones del conductor y el detector de marcha atrás son sistemas de seguridad que tienen un elevado potencial de reducción de las cifras de víctimas de accidentes.

En este Reglamento, los sistemas asistentes de velocidad inteligente son definidos como dispositivos que ayudan al conductor a mantener la velocidad adecuada al entorno de la vía proporcionándole información específica y adecuada. Éstos cumplirán los siguientes requisitos mínimos:

- Será posible indicar al conductor; mediante el control del acelerador o mediante información específica, adecuada y efectiva, que se ha superado el límite de velocidad aplicable.
- Será posible desactivar el sistema; se podrá seguir proporcionando información sobre el límite de velocidad, y el asistente de velocidad inteligente se hallará en modo de funcionamiento normal cada vez que se active el interruptor principal de control del vehículo.
- La información específica y adecuada se basará en información sobre la limitación de velocidad obtenida mediante la observación de la señalización vial, basada en las señales de la infraestructura o los datos de mapas electrónicos, o en ambos, disponibles en el vehículo.
- No afectará a la posibilidad que tendrán los conductores de superar la velocidad del vehículo indicada por el sistema.
- Sus objetivos de rendimiento se fijarán para evitar o reducir al mínimo el índice de error en condiciones reales de conducción. En este sentido, la Comisión evaluará la fiabilidad y la eficiencia de los nuevos sistemas de asistencia de velocidad inteligente y la precisión y el índice de error de dichos sistemas en condiciones reales de conducción. En su caso, la Comisión presentará una propuesta legislativa.

Por lo tanto, el citado Reglamento indica que debe disponerse de la posibilidad de desactivar dicho asistente, por ejemplo, cuando el conductor reciba advertencias falsas o información inadecuada como consecuencia de las inclemencias del tiempo, de indicaciones viales provisionales contradictorias en los tramos de obras, o de señalización vial confusa, defectuosa o inexistente. Esta función de desactivación debe quedar bajo control del conductor. Debe permitir la desactivación del asistente de velocidad inteligente por el tiempo que sea necesario y su fácil reactivación por el con-

ductor. Cuando el sistema esté desactivado, puede facilitarse información sobre el límite de velocidad. El sistema debe estar siempre activo a partir del encendido del vehículo y se debe indicar en todo momento al conductor si el sistema está activado o no.

5.1.1.6. Sistemas de ayuda al cambio de carril (LCDAS)

Como se indicó al comienzo del presente informe, los requisitos de los Reglamentos (UE) N° 661/2009 ([5]) y N° 2019/2144 ([6]), que derogará al anterior a partir del año 2022, no aplican actualmente a las motocicletas, pero serán comentados durante el presente informe en el caso de aquellos sistemas de seguridad no incluidos en el Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]).

No obstante, en el citado Reglamento (UE) N° 2019/2144 no se define ningún requisito de funcionamiento aplicable a sistemas de ayuda al cambio de carril. Frente a esto, está disponible la norma ISO 17387:2008 Intelligent transport systems — Lane change decision aid systems (LCDAS) — Performance requirements and test procedures [84]). Este documento define requisitos funcionales, elementos HMI básicos, y procedimientos de ensayo para dichos dispositivos LCDAS. Aunque esta norma ha sido desarrollada para dispositivos embarcados en vehículos automóviles, se resumen seguidamente algunos requisitos que pueden ser considerados para los dispositivos LCDAS embarcados en motocicletas.

- **Tipos de sistemas LCDAS.**

- o Sistemas Tipo I: estos dispositivos únicamente disponen de la función de detección de ángulo muerto. Estos sistemas no avisan sobre vehículos que se estén aproximando desde la zona trasera de la motocicleta.
- o Sistemas Tipo II: estos dispositivos únicamente disponen de la función de detección de vehículos que se estén aproximando desde la zona trasera de la motocicleta.
- o Sistemas Tipo III: estos dispositivos incluyen las funciones de detección de los sistemas Tipo I y Tipo II.
- o Los sistemas de Tipos II y III se clasifican según la velocidad máxima de aproximación del vehículo a detectar y el radio de curvatura mínimo de la carretera, según la tabla siguiente (Tabla 8). Esta velocidad máxima tiene influencia directa sobre el rango del sensor de detección y el tiempo de adquisición.

Tipo	Velocidad máxima (m/s)	Radio mínimo (m)
A	10	125
B	15	250
C	20	500

Tabla 8. Clasificación de los sistemas LCDAS, según la velocidad máxima de aproximación del vehículo a detectar.

- **Requerimientos funcionales.**

- o El sistema puede disponer de activación manual o continua.
- o El sistema se puede activar por velocidad.
- o El sistema puede estar con la función de generación de avisos activada o desactivada.
- o En el caso de estar activada dicha función de aviso, existen dos niveles: avisos de nivel 1, son de precaución y no hay evaluación de riesgo por parte del sistema; y avisos de nivel 2, son avisos de riesgo.
- o El sistema puede incluir la detección de la acción del conductor sobre el volante, y emplear esta información para evaluar el riesgo de la maniobra.
- o El sistema puede evaluar la posición relativa del vehículo que se aproxima para determinar el nivel de riesgo del aviso.
- o El sistema debe ser capaz de detectar objetos del tamaño de una motocicleta.
- o La función de aviso de ángulo muerto debe detectar ambos laterales del vehículo.
- o El tiempo transcurrido desde que un vehículo es detectable hasta que se avisa al conductor no debe ser superior a 300 ms.

5.2. Sistemas de seguridad de motoristas

I44

La ropa de protección utilizada por los motoristas está incluida en el Reglamento (UE) 2016/425 relativo a los equipos de protección individual (EPI, [3]). Los cascos y pantallas quedan excluidos de este Reglamento ya que cuentan con el suyo propio (**Reglamento CEPE/ONU 22R05** [4]).

Todos los cascos de moto vendidos en la Unión Europea deben cumplir la citada normativa de seguridad. En dicha norma se recogen condiciones mínimas de protección que deben proporcionar el casco y sus viseras utilizados por los conductores y pasajeros de motocicletas y ciclomotores.

Aparte de esto, existen algunos requerimientos que difieren entre países en relación con los elementos de protección obligatorios de motorista y pasajero de vehículos de categoría L. Se muestran a continuación algunas de estas diferencias (página web de FEMA <https://www.femamotorcycling.eu/consumer-information/riding-abroad/>):

- Bélgica: motoristas y pasajeros deben usar guantes, ropa de protección con cobertura de extremidades superiores e inferiores y botas con protección de tobillo.
- Francia: motoristas y pasajeros deben usar guantes; y el casco debe llevar marcas reflectantes (conforme a prescripciones de Reglamento CEPE/ONU 22R05, revisión 05 vigente de la norma [4], o de la norma NF S 72-305).

Por otro lado, y aunque se aleja de la exigencia normativa, cabe destacar la iniciativa **MOTOCAP (Motorcycle Clothing Assessment Program, <https://www.motocap.com.au/>)**.

Este programa fue constituido en 2018 por un consorcio de organizaciones gubernamentales y privadas de Australia y Nueva Zelanda. El objetivo de este programa ha sido poner a disposición de los consumidores información independiente y objetiva sobre el nivel de protección y confort proporcionado por las distintas prendas de protección de motorista que existen en el mercado, basada en una clasificación por estrellas (de 1 a 5). Dentro de las prendas ensayadas se incluyen: pantalón, chaqueta y guantes.

Para ello se han definido un conjunto de ensayos dirigidos a evaluar:

- El comportamiento frente a desgarros, abrasión e impacto. En este caso, se han definido ensayos similares a los contenidos en las normas europeas EN 13595-1:2002, EN 13594: 2002 y EN 1621-1:2012. Frente a las mismas, cuyo criterio es un pasa/no pasa, MotoCAP utiliza un sistema de puntuación.
- El comportamiento térmico y de protección frente al agua, no incluidos en la normativa europea.

En este mismo ámbito se encuadra la iniciativa **SHARP (Safety Helmet Assessment Rating Programme)**, <https://sharp.dft.gov.uk/>). Este programa fue constituido en 2007 por el Departamento de Transporte del Reino. El objetivo de este programa ha sido ofrecer a los consumidores una información independiente y objetiva sobre la seguridad de cada modelo de casco disponible en el mercado basada en una clasificación por estrellas (de 1 a 5), así como proporcionar una guía para la selección de un casco confortable con un ajuste óptimo

Cada modelo de casco se ensaya un total de 32 impactos para determinar la valoración final. Dichos impactos se llevan a cabo según los siguientes criterios:

- 2 tipos de ensayo de impacto: lineal y oblicuo. Se realizan 30 ensayos de impacto lineal (capacidad de absorción de energía del casco) y 2 de impacto oblicuo (fricción de la superficie del casco).
- 7 cascos de diferentes tallas, para 5 cabezas de ensayo de diferentes pesos (A – 3.1 kg, E – 4.1 kg, J – 4.7 kg, M – 5.6 kg y O – 6.1 kg).
- 3 velocidades de impacto: 6 m/s, 7.5 m/s (velocidad según el Reglamento CEPE/ONU 22R05) y 8.5 m/s.
- 2 superficies de impacto: plana y en ángulo - bordillo (según el Reglamento CEPE/ONU 22R05).
- 5 puntos de impacto sobre el casco (frontal, posterior, lateral derecho, lateral izquierdo y coronilla).

Los criterios de ensayo y de evaluación de sus resultados se definieron a partir de las conclusiones obtenidas del proyecto COST 327 Motorcycle Safety Helmets ([62]).

5.2.1. Sistemas de protección primaria

5.2.1.1. Casco y ropa de protección

La ropa de protección utilizada por los motoristas está incluida en el Reglamento (UE) 2016/425 relativo a los equipos de protección individual (EPI, [3]). La homologación de cascos protectores y viseras debe llevarse a cabo actualmente conforme a los requerimientos del Reglamento CEPE/ONU 22R05 (revisión 05 vigente de la norma [4])

El Reglamento CEPE/ONU 22R05 sí contiene especificaciones relativas al marcado de visibilidad de los cascos. Dicho marcado es de obligado cumplimiento en algunos países, como Francia.

Este marcado, definido en el apartado 6.16, refiere a la mejora de la visibilidad del motorista, tanto de día como de noche, y desde los distintos puntos de vista: desde el frente, desde la parte posterior y desde ambos laterales. Debe estar constituido por material reflectante, y no debe ser separable del casco sin causar daños sobre el mismo.

Las zonas del casco de localización de dicho marcado se muestran en la siguiente figura (Figura 107). La superficie mínima de cada una de las marcas debe ser de 18 cm², y su forma debe ser tal que se pueda inscribir una de las siguientes figuras geométricas planas: una circunferencia de 4 cm de diámetro, o un rectángulo de 12.5 cm² de superficie y al menos 2 cm de anchura. Un ejemplo de aplicación se muestra en la Figura 108.

146

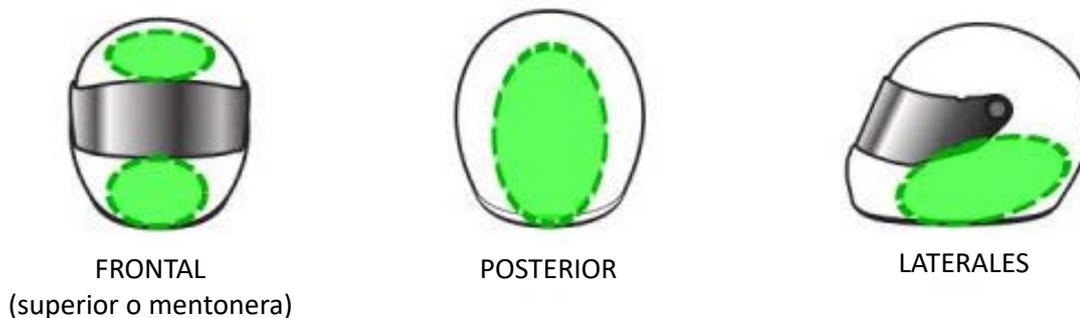


Figura 107. Zonas del casco de marcado de visibilidad (según Reglamento CEPE/ONU 22R05).



Figura 108. Ejemplo de casco con marcado de visibilidad. Marcas reflectantes de 3M Technology™ sobre casco Shark Spartan™.

El material reflectante empleado en estas marcas es sometido a varios ensayos:

- Ensayo de color: el material debe emitir luz blanca cuando es iluminado con un iluminante tipo A (representa la lámpara de tungsteno).
- Ensayo fotométrico: determinación del coeficiente de intensidad luminosa.
- Resistencia a agentes externos: las marcas deben soportar, sin daños visuales, líquidos disolventes, variaciones térmica y de humedad, y radiación ultravioleta.

Finalmente, ninguno de los elementos de marcado debe afectar al comportamiento mecánico del casco, conforme a los ensayos incluidos en el citado Reglamento.

El pasado mes de junio de 2020 el World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (ECE/TRANS/WP.29) votó favorablemente las enmiendas propuestas al Reglamento CEPE/ONU 22R06 ([13]), por lo que dicha revisión 06 será efectiva a partir del año 2023. Las especificaciones relativas al marcado de visibilidad de los cascos, contenidas en el apartado 6.18, se mantienen sin modificaciones respecto a la versión del Reglamento 22R05, actualmente en vigor.

En relación con la mejora de la visibilidad de la motocicleta por otros usuarios de la vía, la norma UNE-EN 17092 aplicable a la ropa de protección contempla el uso de material retrorreflectante (opcional).

En este caso, si el fabricante declara una prestación retrorreflectante de la prenda, el rendimiento de los materiales retrorreflectantes debe ser conforme al capítulo 6 de la Norma UNE-EN 1150:1999 (Equipos de protección. Ropas de visibilidad para uso no profesional. Requisitos y métodos de ensayo [97]). Este requisito no se aplica a los elementos reflectantes incluidos por motivos de diseño o decoración.

5.2.2. Sistemas de protección secundaria

5.2.2.1. Casco

La normativa aplicable al casco, cuyo uso es exigido a los ocupantes de una motocicleta, ha sido desarrollada para asegurar unos niveles mínimos de eficacia en relación con la protección proporcionada por el mismo, fundamentalmente en el caso de las lesiones en las distintas zonas de la cabeza.

Conforme se recoge en el Artículo 118.1 del Reglamento General de Circulación ([12]), “Los conductores y pasajeros de motocicletas o motocicletas con sidecar, de vehículos de tres ruedas y cuatriciclos, de ciclomotores y de vehículos especiales tipo «quad», deberán utilizar adecuadamente cascos de protección homologados o certificados según la legislación vigente, cuando circulen tanto en vías urbanas como en interurbanas”.

En relación con “los cascos de protección homologados o certificados según la legislación vigente”, debe tenerse en cuenta que existen distintos tipos de normativas y procedimientos de ensayo aplicables al casco en función de los países de uso. Algunos de ellos se muestran en la tabla siguiente (Tabla 9).

Unión Europea	CEPE/ONU 22R05 “Approval of protective helmets and of their visors”
British Standard	BS 6658:1985: “Specification for protective helmets for vehicle users”
UK	SHARP “Safety Helmet Assessment Rating Programme”
UK	ACU (Auto-Cycle Union) Gold or Silver badge
Australia and New Zealand	AS/NZS 1698:2006: “Protective helmets for vehicle users”
Australia	MOTOCAP “Motorcycle Clothing Assessment Program”
USA	DOT FMVSS 218 “Helmet Safety Standard”
USA	49 CFR 571.218 - Standard No. 218: Motorcycle helmets
USA	Snell M2010 “2010 Helmet Standard For Use in Motorcycling”
Japan	JIST 8133:2000: “Protective helmets for drivers and passengers of motorcycle and mopeds”
Canada	CSA CAN3-D230-M85 “Protective Headgear in Motor Vehicle Applications”
Russia	GOST R 41.22-2001 “Uniform provisions concerning the type approval of protective helmets and their visors for drivers and passengers of motor cycles and mopeds”
Brazil	NBR 7471
India	IS 4151:2015 “Protective helmet for two wheeler riders”
Vietnam	TCVN 5756:2001 (test and certify by QUATEST 3)
Indonesia	SNI 1811-2007

Tabla 9. Normativas y procedimientos de ensayo aplicables al casco en función de los países de uso.

Los cascos de moto vendidos en la Unión Europea deben cumplir la normativa de seguridad elaborada por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa CEPE (UNECE). En España la homologación de cascos protectores y viseras debe llevarse a cabo actualmente conforme a los requerimientos del Reglamento CEPE/ONU 22R05 (revisión 05 vigente de la norma). En dicha norma se recogen condiciones mínimas de protección que deben proporcionar el casco y sus viseras utilizados por los conductores y pasajeros de motocicletas y ciclomotores. La versión original de dicho Reglamento data de 1972. El pasado mes de junio de 2020 el World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (ECE/TRANS/WP.29) votó favorablemente las enmiendas propuestas al Reglamento CEPE/ONU 22R06, por lo que dicha revisión 06 será efectiva a partir del año 2023.

El Reglamento CEPE/ONU 22R05 define un conjunto de requisitos y ensayos, los cuales se describen de manera resumida a continuación. El casco debe proteger la zona de la cabeza por encima de la sección AA (Figura 114), y debe extender dicha protección como mínimo hasta la línea CDEF, a ambos lados de la cabeza. En la zona posterior, las zonas rígidas del casco no deben penetrar dentro del cilindro definido en la Figura 114 como sigue: diámetro de 100 mm, y eje situado en la intersección del plano medio de simetría de la cabeza y un plano paralelo y situado 110 mm bajo el plano de referencia. El casco no debe tener bordes afilados que puedan dañar la cabeza en caso de accidente.

El casco debe disponer de un sistema de retención bajo la barbilla. Si este dispone de dispositivos de ajuste y cierre, estos deben estar diseñados para evitar manipulaciones no deseadas.

En función de la protección del mentón proporcionada por el casco, se pueden clasificar los cascos de motorista según el tipo de homologación, conforme a los siguientes grupos:

- **Homologación “J” Jet.** Cascos homologados para la circulación que no disponen de protección maxilar.
- **Homologación “NP” Jet.** Cascos con protección maxilar móvil o desmontable, y que no proporcionan protección del mentón.
- **Homologación “P” o integrales (Full face).** Cascos con protección maxilar fija, móvil o desmontable, y que proporcionan protección del mentón.
- **Homologación “P/J”.** Cascos con protección maxilar móvil o desmontable, que cumplen los requerimientos con (P) o sin (J) protector maxilar. La protección del mentón únicamente es asegurada con el protector colocado correctamente.

Las especificaciones de los **campos de visión periférica** del casco, en direcciones vertical y horizontal, se muestran en las siguientes figuras (Figura 115, Figura 116 y Figura 117).

En el caso de disponer de **pantalla**, esta debe poder ser retirada con facilidad, con un ángulo de apertura según se muestra en la Figura 118, y no debe perjudicar el campo de visión periférica. Las pantallas deben tener una transmitancia de luz superior al 80%. Si es inferior, deben llevar la indicación “Daytime use only”. Estas pantallas no deben distorsionar los objetos ni modificar los colores, y ser resistentes a la abrasión y al impacto.

El casco (y la pantalla, si procede) deben ser sometidos a los siguientes ensayos:

- **Ensayo de absorción de impacto.** Ensayo de caída libre del casco montado en una cabeza de ensayo que impacta sobre un yunque de acero, registrando la evolución de la aceleración respecto al tiempo. A partir de dicho registro, se calculará el parámetro HIC (Apartado 1). Los puntos de impacto son los mostrados en la Figura 119. En el caso del Reglamento 22R06 se deben añadir tres puntos extras, seleccionados entre los doce mostrados en la siguiente figura (Figura 109).

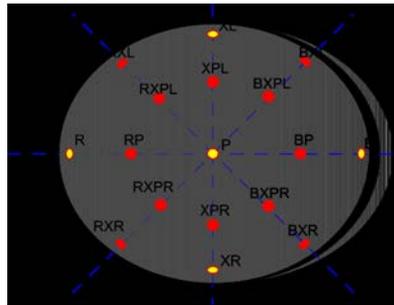


Figura 109. Puntos extras para el ensayo de absorción de impacto según CEPE/ONU 22R06.

Las velocidades de impacto son:

- o 7.5 m/s, sobre los dos yunques de ensayo.
- o 5.5 m/s, para ensayos sobre el punto S (6.0 m/s, para ensayos sobre el punto S, en 22R06)..
- o 8.2 m/s sobre el yunque plano (Ensayo de impacto de alta energía, nuevo ensayo en 22R06).
- o 6.0 m/s, sobre los dos yunques de ensayo (Ensayo de impacto de baja energía, nuevo ensayo en 22R06).

El ensayo será positivo si se cumplen los criterios mostrados en la tabla siguiente (Tabla 10).

Tipo	Aceleración máxima (g's)	HIC
Estándar 22R05/06	≤ 275	≤ 2400
Puntos extras 22R06	≤ 275	≤ 2400
Alta energía 22R06	≤ 275	≤ 2880
Baja energía 22R06	≤ 180	≤ 1300

Tabla 10. Criterios de aceptación de ensayo de absorción de impacto según CEPE/ONU 22R05/06.

- **Ensayo de proyección y fricción de superficie (Método A).** Ensayo de medida de la fuerza que se genera cuando un casco es lanzado sobre el plano inclinado de un yunque. El casco y la cabeza de ensayo son lanzados sobre dicho yunque a una velocidad de 8.5 m/s (Figura 110). El ensayo será positivo si: el pico máximo de fuerza no supera 2500 N, y la integral de dicha fuerza a lo largo del tiempo de duración del impacto no excede 12.5 Ns; si se utiliza un yunque de fricción, el pico máximo de fuerza no supera 3500 N, y la integral de dicha fuerza a lo largo del tiempo de duración del impacto no excede 25 Ns

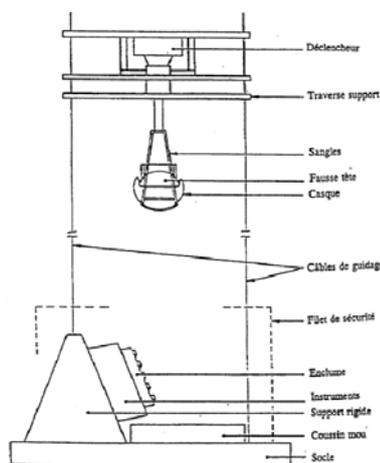


Figura 110. Ensayo de proyección y fricción de superficie (Método A), según CEPE/ONU 22R05.

- **Ensayo de rigidez.** El casco es colocado entre dos superficies paralelas, según el eje longitudinal o el transversal. Se le aplica una carga inicial de 30 N, y se mide la distancia entre las placas. A continuación, se incrementa progresivamente la carga hasta alcanzar 630 N, y se mide la distancia entre placas nuevamente. Este último valor medido debe diferir de la primera medida menos de 40 mm. Finalmente, se reduce la carga a 30 N y se vuelve a medir; esta medida debe diferir de la primera medida menos de 15 mm.
- **Ensayo dinámico del sistema de retención.** En este ensayo, el casco y la cabeza de ensayo deben ser posicionadas según se muestra en la Figura 111. Seguidamente, se suspende

una masa de 10 kg y se somete a un ensayo de caída libre desde 750 mm de altura. Durante el ensayo dinámico, el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza no debe exceder los 35 mm.

Posteriormente, se realiza un ensayo de desconexión del sistema de retención (Figura 112). Cuando se deja caer una masa de 10 kg desde una altura de 500 mm, el ángulo formado por la línea de referencia del casco no debe superar los 30°.

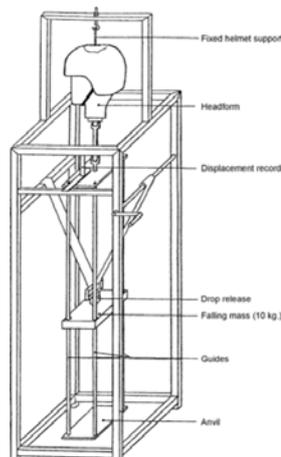


Figura 111. Ensayo dinámico del sistema de retención, según CEPE/ONU 22R05.

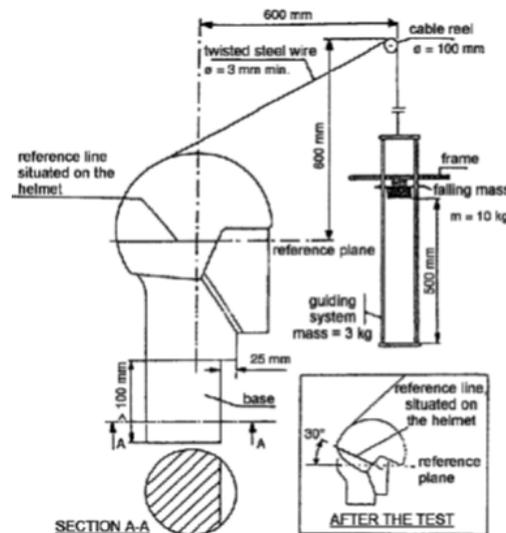


Figura 112. Ensayo de desconexión del sistema de retención, según CEPE/ONU 22R05.

- **Ensayo de rotación (nuevo ensayo en 22R06).** Este ensayo consiste en un impacto oblicuo contra un yunque para la medida de la aceleración rotacional (Figura 113). La velocidad de impacto debe ser de 8 m/s. El valor máximo de aceleración angular no debe superar 10400 rad/s², y el Brain Injury Criterion (*BrIC*) no debe superar en ningún instante el valor de 0.78.

$$BrIC = \sqrt{\left(\frac{\omega_x}{\omega_{xC}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_y}{\omega_{yC}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_z}{\omega_{zC}}\right)^2}$$

τ_x, τ_y, τ_z : velocidades angulares por eje;

$\tau_{xC}, \tau_{yC}, \tau_{zC}$: 66.25 rad/s, 56.45 rad/s, 42.87 rad/s, respectivamente.

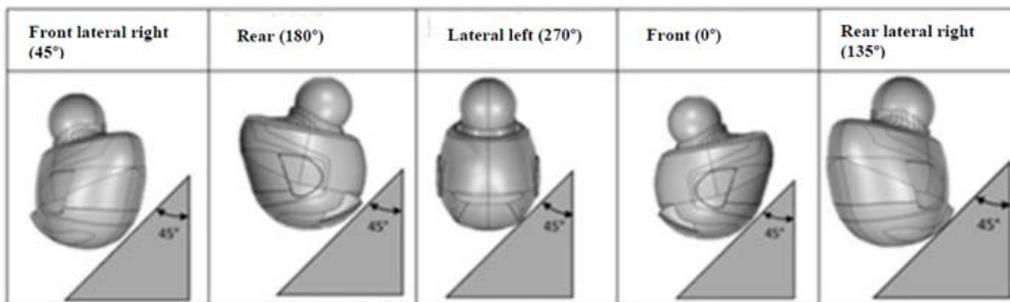
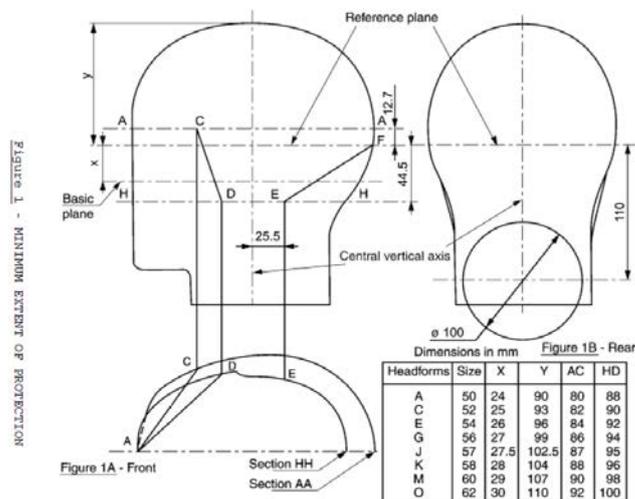


Figura 113. Configuraciones del ensayo de impacto oblicuo rotacional, según CEPE/ONU 22R06.



Symbols	Size (in cm)	Mass (in kg)
A	50	3.1 ± 0.10
E	54	4.1 ± 0.12
J	57	4.7 ± 0.14
M	60	5.6 ± 0.16
O	62	6.1 ± 0.18

Figura 114. Extensión mínima de la protección del casco según CEPE/ONU 22R05.

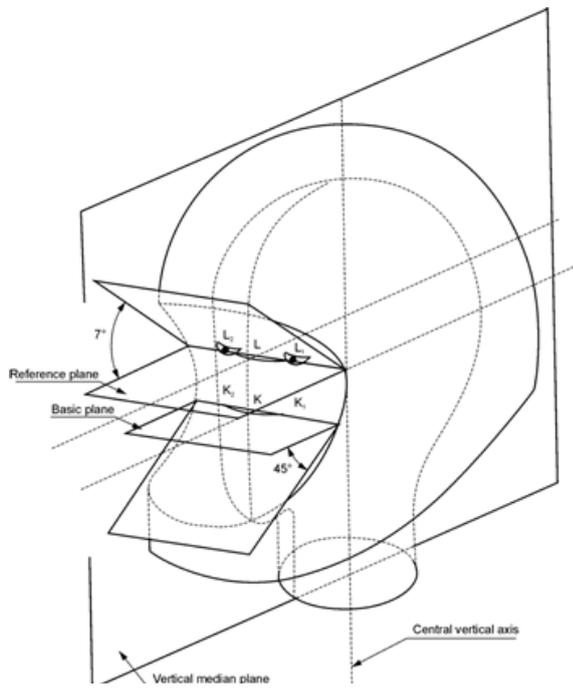


Figura I 15. Especificaciones del campo vertical de visión periférica del casco según CEPE/ONU 22R05.

154

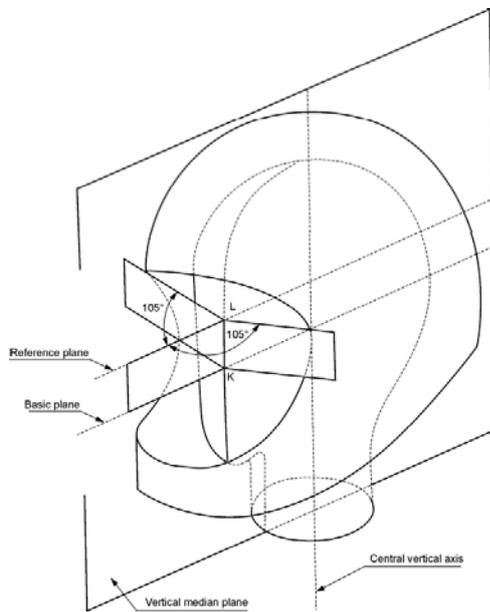


Figura I 16. Especificaciones del campo horizontal de visión periférica del casco según CEPE/ONU 22R05.

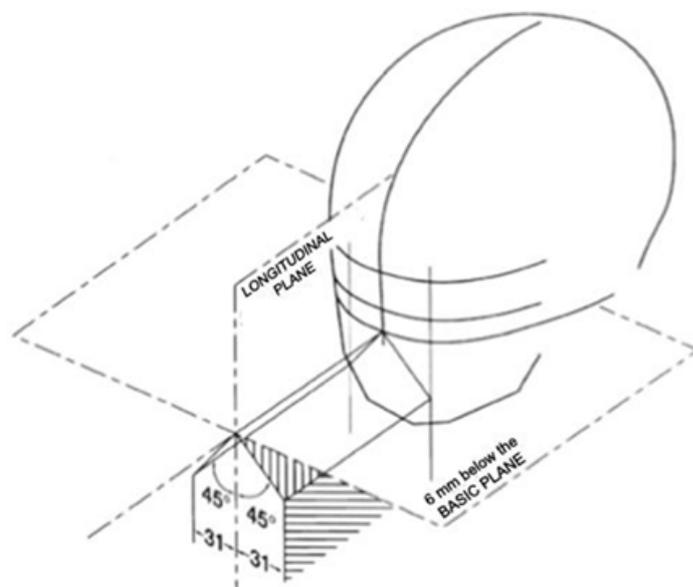


Figura I 17. Especificaciones del campo de visión periférica del casco en el deflector de respiración según CEPE/ONU 22R05.

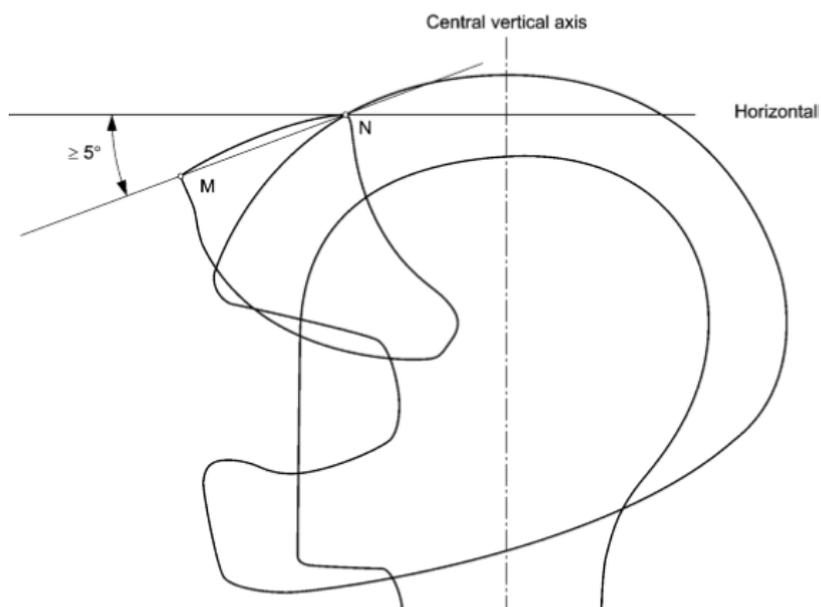


Figura I 18. Especificaciones del ángulo de apertura de la pantalla del casco según CEPE/ONU 22R05.

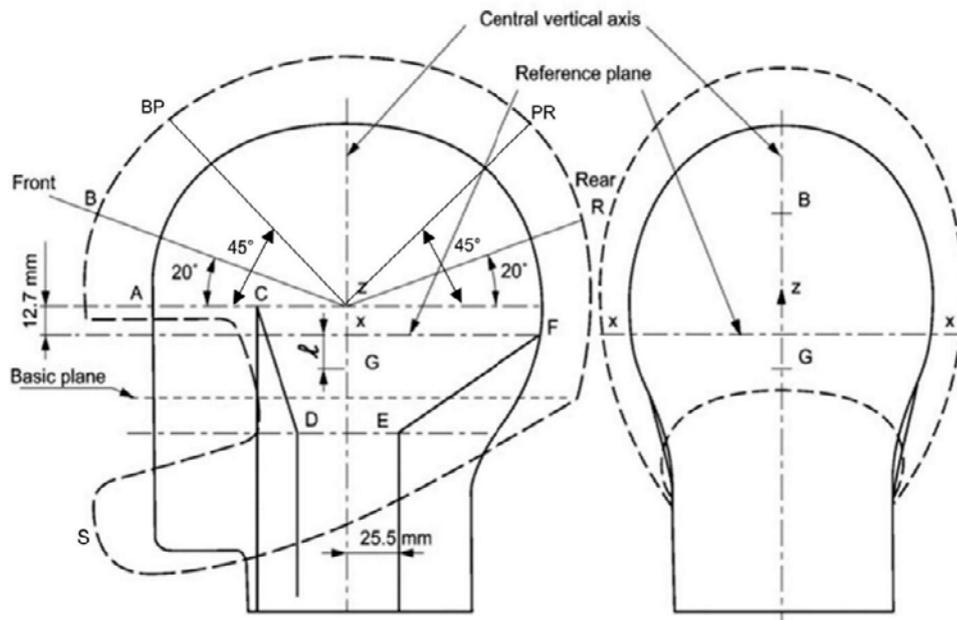


Figura I 19. Localización de puntos de impacto según CEPE/ONU 22R05.

El casco debe llevar la etiqueta de homologación, según se muestra en la siguiente figura (Figura I 20), donde:

- E4: país de homologación (Holanda).
- 05: revisión vigente de Reglamento CEPE/ONU 22R05.
- I406: número de homologación asignado al casco.
- J: tipo de casco, según el nivel de seguridad.
- I952: número de serie de producción.

156



051406/J-1952

a = 8 mm min.

Figura I 20. Etiqueta de homologación del casco de motorista según CEPE/ONU 22R05.

La pantalla del casco debe llevar también la etiqueta de homologación, según se muestra en la siguiente figura (Figura 121), donde:

- E4: país de homologación (Holanda).
- 05: revisión vigente de Reglamento CEPE/ONU 22R05.
- 5413: número de homologación asignado a la pantalla del casco.

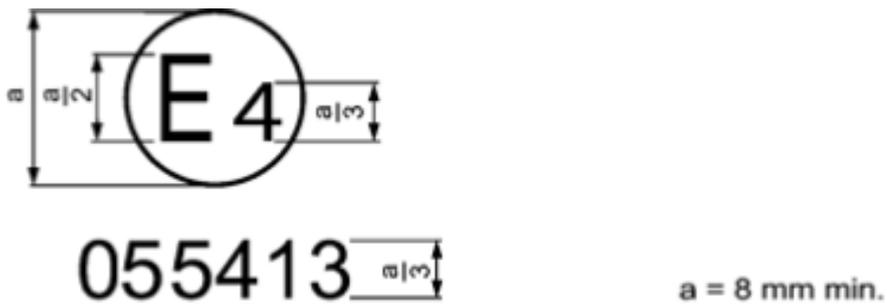


Figura 121. Etiqueta de homologación de la pantalla del casco de motorista según CEPE/ONU 22R05.



Figura 122. Etiquetas de homologación de la pantalla y del casco de motorista según CEPE/ONU 22R05.

5.2.2.2. Chaquetas y pantalones

A fecha de realización del presente documento, todavía no es obligatorio en España el uso de chaquetas, pantalones o trajes (ropa de protección) por parte de los usuarios de motocicletas.

La homologación de la ropa de protección del motorista está incluida dentro del Reglamento (UE) 2016/425 ([3]). Conforme a dicho Reglamento, deberá cumplir los requerimientos recogidos en las Normas: UNE-EN 17092-1:2020 (Prendas de protección para motociclistas Parte 1: Métodos de ensayo [91]), UNE-EN 17092-2:2020 (Prendas de protección para motociclistas Parte 2: Prendas de clase AAA. Requisitos [92]), UNE-EN 17092-3:2020 (Prendas de protección para motociclistas Parte 3: Prendas de clase AA. Requisitos [93]), UNE-EN 17092-4:2020 (Prendas de protección para motociclistas Parte 4: Prendas de clase A. Requisitos [94]), UNE-EN 17092-5:2020 (Prendas de protección para motociclistas Parte 5: Prendas de clase B. Requisitos [95]), y UNE-EN 17092-6:2020 (Prendas de protección para motociclistas Parte 6: Prendas de clase C. Requisitos [96]).

Estas Normas anularán y sustituirán, antes del 1 de marzo de 2023, a las Normas UNE-EN 13595-1:2002 (Ropa de protección para motociclistas profesionales. Chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas. Parte 1: Requisitos generales [85]), UNE-EN 13595-2:2002 (Ropa de protección para motociclistas profesionales. Chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas. Parte 2: Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión por impacto [86]), UNE-EN 13595-3:2002 (Ropa de protección para motociclistas profesionales. Chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas. Parte 3: Método de ensayo para determinar la resistencia a la rotura [87]) y UNE-EN 13595-4:2002 (Ropa de protección para motociclistas profesionales. Chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas. Parte 4: Método de ensayo para determinar la resistencia al corte por impacto [88]).

En la **norma UNE-EN 13595** se definen los requisitos generales para chaquetas, pantalones, y trajes de una o más piezas para motociclistas profesionales, destinados a la protección del usuario frente a lesiones mecánicas.

Se especifican dos niveles de rendimiento para las prendas que aportan protección frente a los impactos contra la superficie de la calzada, que son los siguientes:

- Nivel 1. Prendas diseñadas para aportar cierta protección, al tiempo que mantienen el menor peso y barreras ergonómicas posibles para su uso.
- Nivel 2. Prendas que aportan un nivel moderado de protección, superior al del Nivel 1. Sin embargo, implican un mayor peso y restricción de movimientos.

La información procedente de accidentes reales con implicación de motocicletas ha motivado el desarrollo de un sistema para dividir en zonas la superficie de las prendas, utilizando un método de cuatro categorías de riesgo (Figura 123):

- Zona 1, corresponden a un alto riesgo de impacto. Se determina mediante referencia a la Norma UNE-EN 1621-1 ([98]).
- Zona 1 y la Zona 2, corresponden a un alto riesgo de abrasión.
- Zona 3, corresponde a un riesgo mediano de abrasión.

- Zona 4, corresponde a un riesgo bajo de abrasión.

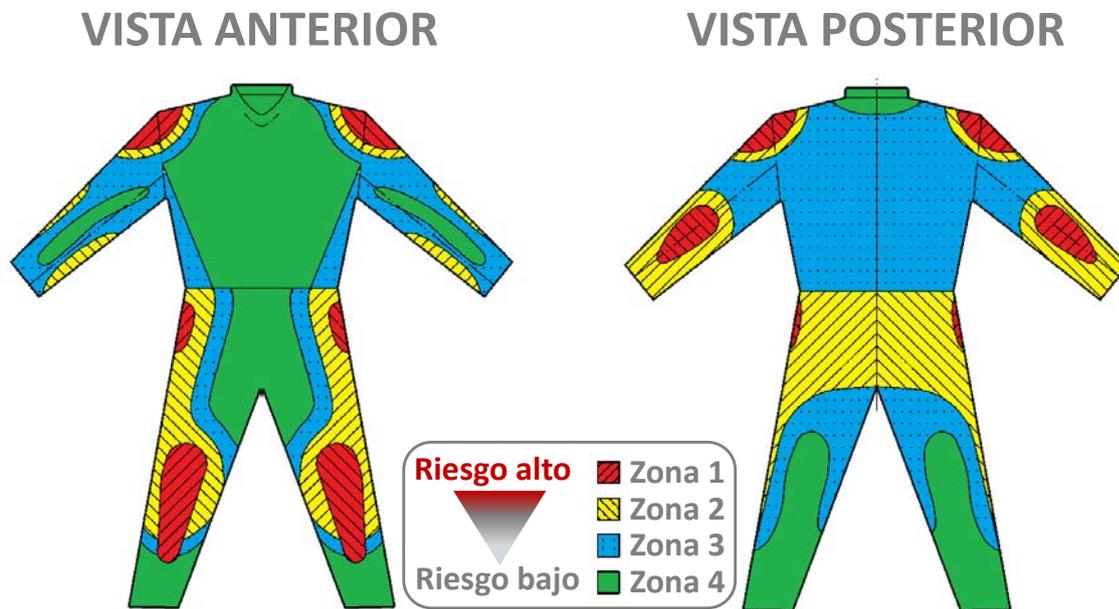


Figura 123. Zonas de riesgo de lesión del motorista según la norma UNE-EN 13595-1:2002 ([85]).

Los principales requisitos requeridos, según el nivel de rendimiento, se muestran a continuación de manera resumida:

- **Resistencia al desgarro.** Cuando se ensaye según lo indicado en la Norma ISO 3377:1975 ([89]), la resistencia mínima al desgarro del cuero debe ser de 100 N. Cuando se ensaye según lo indicado en la Norma ISO 4674:1977 ([90]), la resistencia mínima al desgarro de los materiales distintos al cuero, excluyendo los tejidos elásticos y los tejidos de punto, debe ser de 70 N.
- **Absorción de la energía del impacto.** En la Zona 1 deben incluirse protectores.
- **Resistencia a la abrasión.** Cuando se ensaye según el método descrito en la Norma UNE-EN 13595-2:2002 ([86]), la resistencia a la abrasión de todo el grosor de la prenda en las diversas zonas debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 11). El protector extraíble debe situarse fuera del bolsillo.

Para la ejecución de este ensayo se deja caer una muestra de ensayo desde una altura determinada sobre una cinta abrasiva que avanza a una velocidad fija sobre una superficie rígida horizontal. Se mide el tiempo que tarda la muestra en desgastarse totalmente, determinando la diferencia de tiempo entre la rotura de dos cables eléctricos, uno de los cuales pasa sobre la superficie exterior, y el otro sobre la superficie interior de la muestra.

Requisitos de resistencia a la abrasión (s)		
Zonas	Nivel 1	Nivel 2
1 y 2	4.0	7.0
3	1.8	2.5
4	1.0	1.5

Tabla 11. Requisitos de resistencia a la abrasión por niveles según norma UNE-EN 13595-1:2002 ([85]).

- **Resistencia al corte por impacto.** Cuando se ensaye según el método descrito en la Norma UNE-EN 13595-4:2002 ([88]), la resistencia al corte por impacto de todo el grosor de la prenda en las diversas zonas debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 12), para el nivel de rendimiento correspondiente.

Para la ejecución de este ensayo, se monta una muestra de ensayo sobre un orificio rectangular, tensada de modo previamente definido. Desde una altura predeterminada, se deja caer verticalmente sobre la muestra, en el centro del orificio, un martinete de un peso determinado, con una cuchilla afilada acoplada a su superficie inferior. Se mide la penetración máxima de la cuchilla a través del material.

Requisitos mínimos de resistencia al corte por impacto			
Zonas	1 y 2	3	4
Velocidad de impacto del cuchillo (m/s)	2.8	2.0	2.0
Penetración máxima del cuchillo (mm) Nivel 1	25	30	35
Penetración máxima del cuchillo (mm) Nivel 2	15	25	30

Tabla 12. Requisitos mínimos de resistencia al corte por impacto por niveles según norma UNE-EN 13595-1:2002 ([85]).

- **Resistencia a la rotura.** Cuando se ensaye según el método descrito en la Norma UNE-EN 13595-3:2002 ([87]), las costuras, cierres deslizantes, y materiales de las diversas zonas, deben cumplir los requisitos mínimos de resistencia a la rotura indicados en la siguiente tabla (Tabla 13), para el nivel de rendimiento correspondiente.

Para la ejecución de este ensayo, se sujeta el contorno de una muestra de ensayo circular, colocada sobre una membrana elástica, alrededor de la parte superior de una cámara de ensayo. Se hace estirar la muestra gradualmente en forma convexa, inyectando un líquido a la cámara a un ritmo constante. Se registran la presión del líquido en el momento en que falla la muestra, y la dilatación de la misma, medida en función de la altura del pandeo.

Requisitos mínimos de resistencia a la rotura				
Zonas	1 y 2	3	4	Forros
Requisito (kPa); Nivel 1	700	500	400	200
Requisito (kPa); Nivel 2	800	600	450	200

Tabla 13. Requisitos mínimos de resistencia a la rotura por niveles según norma UNE-EN 13595-1:2002 ([85]).

• **Diseño.**

- o En la zona 1 debe haber protectores para absorción de impacto que se ajusten a la UNE-EN 1621-1 ([98]).
- o Todas las costuras estructurales cosidas en las zonas 1, 2 y 3 deben incluir, al menos una hilera de puntadas, protegida al menos por una capa del material base.
- o Los cierres deslizantes, si los hubiera, deben ir engastadas por debajo de la superficie exterior de la prenda, sobre una capa de cuero o tejido.
- o En las zonas 1 y 2, el forro no debe quedar sujeto a la capa exterior de la prenda, sino que debe poder deslizarse libremente sobre el material exterior.
- o El área total de materiales y estructuras destinadas a aportar elasticidad o ventilación, presentes en la zona 3, pero que únicamente cumplan los requisitos de la zona 4, no debe ser superior a 30 cm² en una sola zona, o 50 cm² en su totalidad, para chaquetas o pantalones, ni superior a 100 cm² en su totalidad en un traje integral.

Todas las prendas deben ir marcadas de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 124.



X nivel de resistencia superior a la abrasión

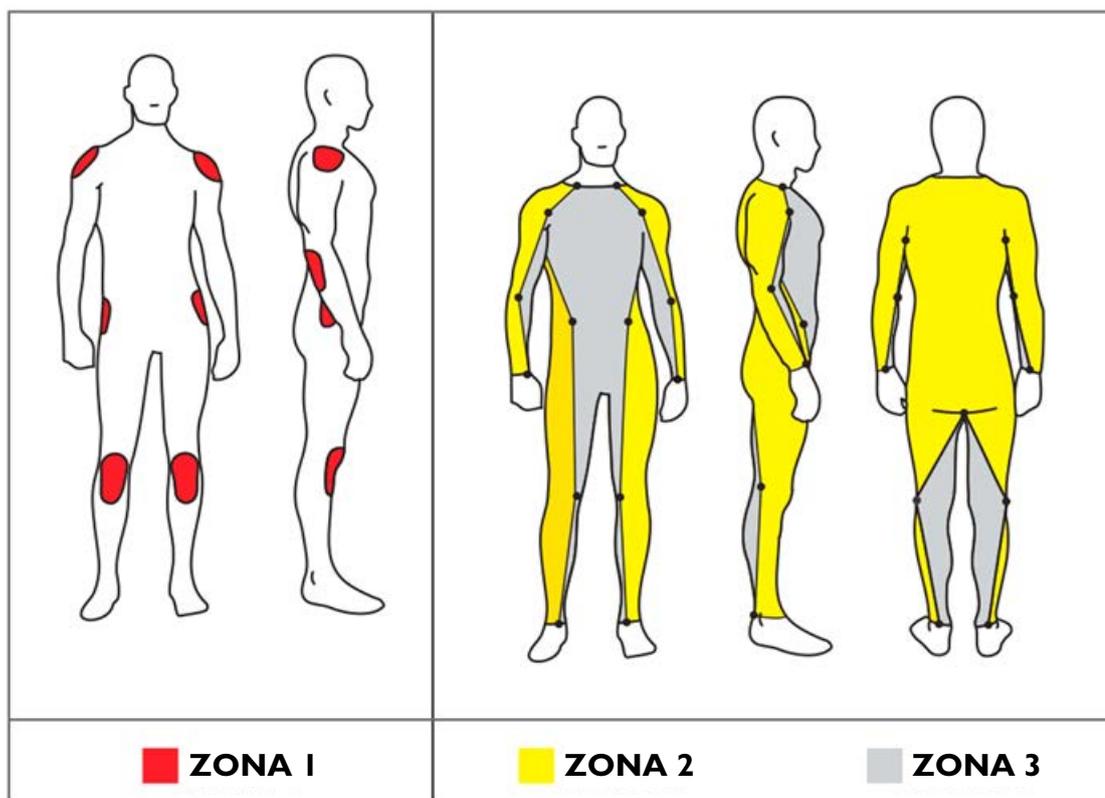
X nivel de resistencia superior al corte

X nivel de resistencia superior a la rotura

EN 13595

Figura 124. Pictograma de la norma UNE-EN 13595.

En la norma UNE-EN 17092-1 ([91]), que sustituye a la norma UNE-EN 13595, se determinan las zonas de categoría de riesgo como se muestra en la siguiente figura (Figura 125). La Zona 1 se determina mediante referencia a la Norma UNE-EN 1621-1 ([98]).



162

Figura 125. Zonas de categoría de riesgo según norma UNE-EN 17092-1 ([91]) <https://dynamicline.es/normativa-para-la-ropa-de-proteccion-para-motociclistas-fpren-17092/> .

Las prendas diseñadas para aportar protección a los motociclistas se someten a ensayo de acuerdo con la clase de protección que proporcionan. Los requisitos de rendimiento para las clases de protección se detallan en las normas específicas del siguiente modo:

- **Prendas de clase AAA (UNE-EN 17092-2 [92]).** Ofrecen protección frente al impacto y a la abrasión, utilizando unos materiales y una construcción que cumplen unos requisitos más estrictos que los de las prendas que se cubren en las partes 3 y 4 de esta serie de normas. Pueden presentar desventajas de ergonomía, peso y calor que supongan una limitación para ciertas actividades de motociclismo.
- **Prendas de clase AA (UNE-EN 17092-3 [93]).** Ofrecen protección frente al impacto y a la abrasión, utilizando unos materiales y una construcción que cumplen unos requisitos más estrictos que los de las prendas que se cubren en la parte 4 de esta serie de normas, y menos estrictos que los de las prendas que se cubren en la parte 2 de esta serie de normas.

Ofrecen protección frente a los riesgos de la mayoría de las actividades de motociclismo, y pueden presentar menores desventajas de ergonomía y peso que las prendas de clase AAA.

- **Prendas de clase A (UNE-EN 17092-4 [94]).** Ofrecen un grado necesario mínimo de protección frente al impacto y a la abrasión, utilizando unos materiales y una construcción que cumplen unos requisitos menos estrictos que los de las prendas que se cubren en las partes 2 y 3 de esta serie de normas. En teoría, presentan las menores desventajas de ergonomía y peso.
- **Prendas de clase B (UNE-EN 17092-5 [95]).** Clase de prendas especializadas, diseñadas para aportar la protección frente a la abrasión equivalente de las prendas de clase A, pero sin incluir protectores de impacto. No ofrecen protección frente al impacto y se recomienda que se lleven conjuntamente al menos con los protectores de impacto para hombro y codo de la Norma UNE-EN 1621-1 ([98]) en el caso de la chaqueta, y con los protectores de rodilla de la Norma UNE-EN 1621-1 ([98]), en el caso de los pantalones, para obtener una protección mínima completa.
- **Prendas de clase C (UNE-EN 17092-6 [96]).** Clase especializada de módulos de protección de impacto sin capa exterior, diseñados únicamente para mantener en su sitio uno o más protectores de impacto, ya sea como prendas interiores o exteriores. Están diseñadas para aportar protección frente a impactos únicamente en las zonas cubiertas por el protector o los protectores de impacto. No ofrecen una protección mínima completa frente a la abrasión, y pueden no ofrecer una protección mínima completa frente al impacto. Están diseñadas para ofrecer únicamente una protección complementaria frente al impacto.

Está previsto que las prendas de clase C se lleven en combinación con prendas de clase AAA, AA, A o B, para aumentar la protección aportada por estas.

Los ensayos se deben realizar con prendas completas. Los principales requisitos requeridos para **prendas de clase AAA** se muestran a continuación de manera resumida:

- **Absorción de la energía del impacto.**
 - Los protectores de impacto deben estar incluidos en la prenda, y deben estar correctamente colocados en el interior o exterior de las prendas, independientemente del sistema de fijación utilizado.
 - Todos los protectores de impacto incluidos en la prenda, ya sean obligatorios u opcionales, deben cumplir al menos los requisitos del nivel 1, según Norma UNE-EN 1621, y según las siguientes indicaciones:
 - Codo: Obligatorio
 - Hombro: Obligatorio
 - Pecho: Opcional
 - Espalda: Opcional
 - Lumbar: Opcional
 - Rodilla o rodilla + pierna: Obligatorio
 - Cadera: Obligatorio

- **Resistencia a la abrasión por impacto.**

- o Cuando se someta a ensayo de acuerdo con el método de Darmstadt, la resistencia a la abrasión de la combinación o combinaciones más débiles de la prenda en las diversas zonas, deben cumplir los requisitos mínimos indicados en la tabla siguiente (Tabla 14).

Zonas	Requisitos de resistencia a la abrasión por impacto (rpm/método de ensayo Darmstadt)
1	707
2	442
3	265

Tabla 14. Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-2 [92]. Prendas de clase AAA.

- o Ensayo para la determinación de la resistencia a la abrasión por impacto (método de Darmstadt). Simula el estrés al que se somete a las prendas de protección de un motociclista medio con un peso de 75 kg y una altura de 1.75 m cuando se desliza desde distintas velocidades iniciales hasta la parada completa sobre una superficie real de hormigón.

El proceso de deslizamiento en movimiento se traslada a un sistema de rotación regulable. Un motor eléctrico acelera el rotor al que va fijado el soporte de las muestras hasta un número predeterminado de revoluciones por minuto, sin que las muestras entren en contacto todavía con la plancha de hormigón.

Tras alcanzar la velocidad deseada, se desembraga el motor y se libera el rotor para que caiga sobre la plancha de hormigón. Como en un accidente real, tras tocar la superficie de la plancha de hormigón, las fuerzas de fricción entre las muestras de ensayo y la plancha de hormigón hacen que el rotor se desacelere hasta que se detiene.

Los tejidos ensayados (cuero o textiles) superan la prueba en el caso de ausencia de perforación, o perforaciones con una abertura inferior a 5 mm, en cualquier sentido.

- **Costuras estructurales resistentes.** La resistencia de las costuras de las prendas en las diversas zonas determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 15).

Zonas	Resistencia de la costura (N/mm)
1	12
2	12
3	8
Material del bolsillo protector (si existe)	4

Tabla 15. Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-2 [92]. Prendas de clase AAA.

- **Resistencia al desgarro.** Cuando se someta a ensayo de acuerdo con los métodos de ensayo detallados en este capítulo, al menos una de las capas de las diversas zonas de la prenda determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 16).

Zonas	Resistencia al desgarro (N)
1	50
2	50
3	35
Material del bolsillo protector (si existe)	10

Tabla 16. Requisitos de resistencia al desgarro por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-2 [92]. Prendas de clase AAA.

Todas las prendas deben ir marcadas de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 126.



Figura 126. Pictograma de la norma EN 17092-2:2020. Prendas de clase AAA.

Los ensayos se deben realizar con prendas completas. Los principales requisitos requeridos para **prendas de clase AA** se muestran a continuación de manera resumida:

- **Absorción de la energía del impacto.**
 - o Los protectores de impacto deben estar incluidos en la prenda, y deben estar correctamente colocados en el interior o exterior de las prendas, independientemente del sistema de fijación utilizado.
 - o Todos los protectores de impacto incluidos en la prenda, ya sean obligatorios u opcionales, deben cumplir al menos los requisitos del nivel 1, según Norma UNE-EN 1621, y según las siguientes indicaciones:
 - Codo: Obligatorio
 - Hombro: Obligatorio
 - Pecho: Opcional
 - Espalda: Opcional
 - Lumbar: Opcional
 - Rodilla o rodilla + pierna: Obligatorio
 - Cadera: Obligatorio
- **Resistencia a la abrasión por impacto.**
 - o Cuando se someta a ensayo de acuerdo con el método de Darmstadt, la resistencia a la abrasión de la combinación o combinaciones más débiles de la prenda en las diversas zonas, deben cumplir los requisitos mínimos indicados en la tabla siguiente (Tabla 17).

166

Zonas	Requisitos de resistencia a la abrasión por impacto (rpm/método de ensayo Darmstadt)
1	412
2	265
3	147

Tabla 17. Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-3 [93]. Prendas de clase AA.

- **Costuras estructurales resistentes.** La resistencia de las costuras de las prendas en las diversas zonas determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 18).

Zonas	Resistencia de la costura (N/mm)
1	8
2	8
3	6
Material del bolsillo protector (si existe)	4

Tabla 18. Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-3 [93]. Prendas de clase AA.

- **Resistencia al desgarro.** Cuando se someta a ensayo de acuerdo con los métodos de ensayo detallados en este capítulo, al menos una de las capas de las diversas zonas de la prenda determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 19).

Zonas	Resistencia al desgarro (N)
1	40
2	40
3	30
Material del bolsillo protector (si existe)	10

Tabla 19. Requisitos de resistencia al desgarro por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-3 [93]. Prendas de clase AA.

Todas las prendas deben ir marcadas de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 127.

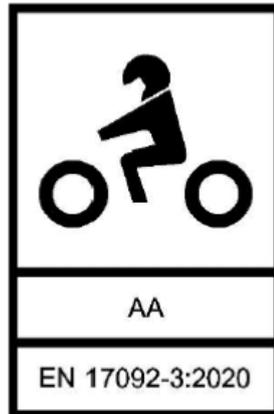


Figura 127. Pictograma de la norma EN 17092-3:2020. Prendas de clase AA.

Los ensayos se deben realizar con prendas completas. Los principales requisitos requeridos para **prendas de clase A** se muestran a continuación de manera resumida:

- **Absorción de la energía del impacto.**
 - o Los protectores de impacto deben estar incluidos en la prenda, y deben estar correctamente colocados en el interior o exterior de las prendas, independientemente del sistema de fijación utilizado.
 - o Todos los protectores de impacto incluidos en la prenda, ya sean obligatorios u opcionales, deben cumplir al menos los requisitos del nivel 1, según Norma UNE-EN 1621, y según las siguientes indicaciones:
 - Codo: Obligatorio
 - Hombro: Obligatorio
 - Pecho: Opcional
 - Espalda: Opcional
 - Lumbar: Opcional
 - Rodilla o rodilla + pierna: Obligatorio
 - Cadera: Opcional
- **Resistencia a la abrasión por impacto.**
 - o Cuando se someta a ensayo de acuerdo con el método de Darmstadt, la resistencia a la abrasión de la combinación o combinaciones más débiles de la prenda en las diversas zonas, deben cumplir los requisitos mínimos indicados en la tabla siguiente (Tabla 20).

Zonas	Requisitos de resistencia a la abrasión por impacto (rpm/método de ensayo Darmstadt)
1	265
2	147
3	No aplica

Tabla 20. Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-4 [94]. Prendas de clase A.

- **Costuras estructurales resistentes.** La resistencia de las costuras de las prendas en las diversas zonas determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 21).

Zonas	Resistencia de la costura (N/mm)
1	6
2	6
3	4
Material del bolsillo protector (si existe)	4

Tabla 21. Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-4 [94]. Prendas de clase A.

- **Resistencia al desgarró.** Cuando se someta a ensayo de acuerdo con los métodos de ensayo detallados en este capítulo, al menos una de las capas de las diversas zonas de la prenda determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 22).

Zonas	Resistencia al desgarró (N)
1	40
2	40
3	30
Material del bolsillo protector (si existe)	10

Tabla 22. Requisitos de resistencia al desgarró por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-4 [94]. Prendas de clase A.

Todas las prendas deben ir marcadas de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 128.

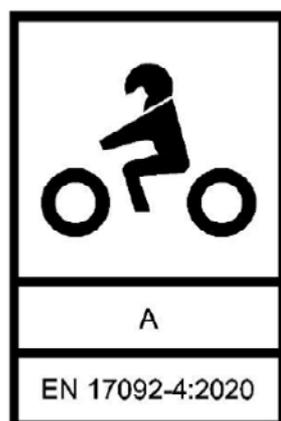


Figura 128. Pictograma de la norma EN 17092-4:2020. Prendas de clase A.

Los ensayos se deben realizar con prendas completas. Los principales requisitos requeridos para **prendas de clase B** se muestran a continuación de manera resumida:

- **Resistencia a la abrasión por impacto.**
 - o Cuando se someta a ensayo de acuerdo con el método de Darmstadt, la resistencia a la abrasión de la combinación o combinaciones más débiles de la prenda en las diversas zonas, deben cumplir los requisitos mínimos indicados en la tabla siguiente (Tabla 23).

Zonas	Requisitos de resistencia a la abrasión por impacto (rpm/método de ensayo Darmstadt)
1	265
2	147
3	No aplica

Tabla 23. Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-5 [95]. Prendas de clase B.

- **Costuras estructurales resistentes.** La resistencia de las costuras de las prendas en las diversas zonas determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 24).

Zonas	Resistencia de la costura (N/mm)
1	6
2	6
3	4

Tabla 24. Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-5 [95]. Prendas de clase B.

- **Resistencia al desgarro.** Cuando se someta a ensayo de acuerdo con los métodos de ensayo detallados en este capítulo, al menos una de las capas de las diversas zonas de la prenda determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 25).

Zonas	Resistencia al desgarro (N)
1	35
2	25
3	25

Tabla 25. Requisitos de resistencia al desgarro por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-5 [95]. Prendas de clase B.

Todas las prendas deben ir marcadas de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 129.

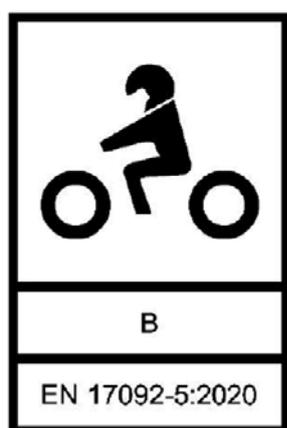


Figura 129. Pictograma de la norma EN 17092-5:2020. Prendas de clase B.

Los ensayos se deben realizar con prendas completas. Los principales requisitos requeridos para **prendas de clase C** se muestran a continuación de manera resumida:

- **Absorción de la energía del impacto.**
 - o Los protectores de impacto deben estar incluidos en la prenda, y deben estar correctamente colocados en el interior o exterior de las prendas, independientemente del sistema de fijación utilizado.
 - o Todos los protectores de impacto incluidos en la prenda, ya sean obligatorios u opcionales, deben cumplir al menos los requisitos del nivel 1, según Norma UNE-EN 1621. Al menos uno de los tipos de protectores es obligatorio: codo, hombro, pecho, espalda, lumbar, rodilla o rodilla + pierna, o cadera.
- **Resistencia a la abrasión por impacto.**
 - o Cuando se someta a ensayo de acuerdo con el método de Darmstadt, la resistencia a la abrasión de la combinación o combinaciones más débiles de la prenda en las diversas zonas, deben cumplir los requisitos mínimos indicados en la tabla siguiente (Tabla 26).

Zonas	Requisitos de resistencia a la abrasión por impacto (rpm/método de ensayo Darmstadt) Módulos exteriores
1	265
2	147
3	No aplica

Tabla 26. Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-6 [96]. Prendas de clase C.

172

- **Costuras estructurales resistentes.** La resistencia de las costuras de las prendas en las diversas zonas determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 27).

Zonas	Resistencia de la costura (N/mm)	
	Módulos interiores	Módulos exteriores
1	4	6
2	4	6
3	4	4
Material del bolsillo protector (si existe)	4	4

Tabla 27. Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-6 [96]. Prendas de clase C.

- **Resistencia al desgarro.** Cuando se someta a ensayo de acuerdo con los métodos de ensayo detallados en este capítulo, al menos una de las capas de las diversas zonas de la prenda determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 17092-1 ([91]), debe cumplir los requisitos mínimos indicados en la siguiente tabla (Tabla 28).

Zonas	Resistencia al desgarro (N)	
	Módulos interiores	Módulos exteriores
1	10	35
2	10	25
3	10	25
Material del bolsillo protector (si existe)	10	10

Tabla 28. Requisitos de resistencia al desgarro por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-6 [96]. Prendas de clase C.

Todas las prendas deben ir marcadas de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 130, donde:

- U para una prenda interior;
- O para una prenda exterior;

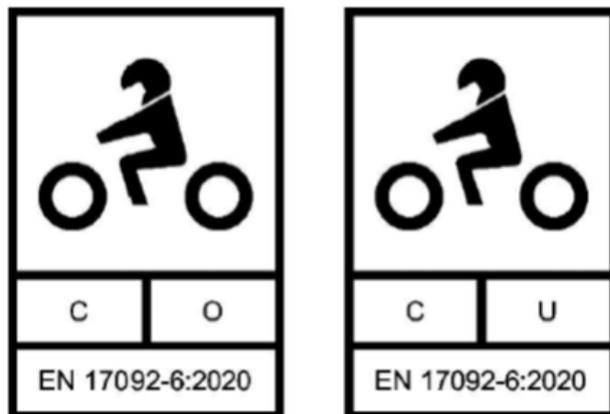


Figura 130. Pictograma de la norma EN 17092-6:2020. Prendas de clase C.

5.2.2.3. Protectores

A fecha de realización del presente documento (febrero de 2021), todavía no es obligatorio en España el uso de protectores por parte de los usuarios de motocicletas.

Los protectores del motorista están incluidos dentro del Reglamento (UE) 2016/425 ([3]). Conforme a dicho Reglamento, deben cumplir los requerimientos recogidos en las Normas: UNE-EN 1621-1:2013 (Ropa de protección frente a impactos mecánicos para motociclistas. Parte 1: Protectores contra impactos en las articulaciones para motociclistas. Requisitos y métodos de ensayo [98]), UNE-EN 1621-2:2014 (Ropa de protección frente a impactos mecánicos para motociclistas. Parte 2: Protectores de espalda para motociclistas. Requisitos y métodos de ensayo [99]), y UNE-EN 1621-3:2021. (Ropa de protección frente a impactos mecánicos para motociclistas. Parte 3: Requisitos y métodos de ensayo para protectores de pecho [100]).

PROTECTORES CONTRA IMPACTOS EN LAS ARTICULACIONES

Las siguientes zonas del cuerpo se especifican como zonas de protección contra impactos en las articulaciones para motociclistas, y los protectores se deben clasificar del siguiente modo:

- a) hombro: protector “S”;
- b) codo y antebrazo: protector “E”;
- c) cadera: protector “H”;
- d) rodilla y zona superior de la tibia: protector “K”;
- e) rodilla, y zonas superior y media de la tibia: protector “K + L”;
- f) zona de la pierna bajo el protector “K”: protector “L”.

174

Los principales requisitos requeridos a dichos protectores se muestran a continuación de manera resumida.

- **Inocuidad.** Los materiales deben cumplir con los requisitos de inocuidad de los materiales de la Norma UNE-EN 340:2004 (Ropas de protección. Requisitos generales [101]).
- **Dimensiones mínimas de la zona de protección.** Los protectores de las articulaciones para motoristas deben aportar una zona de protección con dimensiones mínimas definidas en la Norma.
- **Atenuación de impactos.** El ensayo debe permitir que se pueda soltar una masa de caída para que impacte sobre la muestra colocada en un yunque de ensayo (instrumentado con un sensor de medida de fuerza) siguiendo un recorrido vertical guiado, con una energía de 50 J. Esta norma incluye dos niveles de rendimiento:
 - o Nivel 1: nivel mínimo requerido para que el protector aporte una protección útil en un accidente, y confiere al protector un nivel óptimo de comodidad apto para todo tipo de conducción.
 - o Nivel 2: ofrece un mayor rendimiento que el nivel 1. El nivel 2 puede tener una mayor desventaja de peso y comodidad.

La fuerza transmitida en el ensayo se debe ajustar a los valores de la siguiente tabla (Tabla 29).

	Nivel 1	Nivel 2
Valor medio total	≤ 35 kN	≤ 20 kN
Zona de golpeo separada A	≤ 35 kN	≤ 20 kN
Zona de golpeo separada B y C	≤ 50 kN	≤ 30 kN

A, B, C: según zonas de impacto de plantilla

Tabla 29. Requisitos de fuerza transmitida en ensayo de atenuación de impactos por nivel de rendimiento según norma UNE-EN 1621-1:2013 [98].

Todos los protectores deben ir marcados de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 131, donde:

- 1 Equipo de protección para motociclistas
- 2 Categoría y tipo de protector (tipos A o B, según dimensiones)
- 3 Ensayo de impacto a baja temperatura superado (si el espacio está en blanco, no se declara el ensayo)
- 4 Ensayo de impacto a alta temperatura superado (si el espacio está en blanco, no se declara el ensayo)
- 5 Nivel de rendimiento

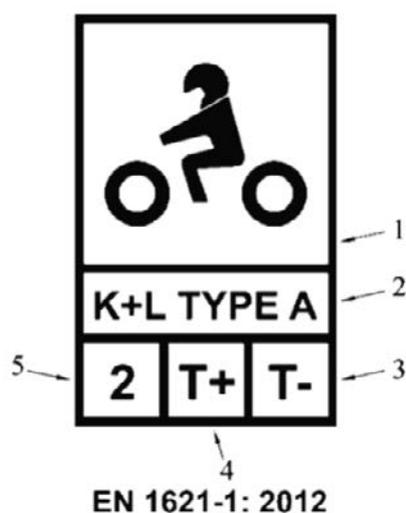


Figura 131. Pictograma de la norma EN 1621-1:2012.

PROTECTORES DE ESPALDA

Los principales requisitos requeridos a los protectores de espalda para motociclistas se muestran a continuación de manera resumida. Dichos protectores deben cumplir el requisito general de que su uso sea seguro, se lleven con comodidad, y se ajusten a su finalidad. Los protectores de espalda se deben suministrar con un sistema de sujeción y/o ajuste capaz de asegurar que el protector se mantiene en la espalda durante su uso. Este requisito no es aplicable a los protectores que se deben insertar o incorporar en la ropa.

- **Inocuidad.** Los materiales deben cumplir con los requisitos de inocuidad de los materiales de la Norma UNE-EN 340:2004 (Ropas de protección. Requisitos generales [101]).
- **Dimensiones mínimas de la zona de protección.** Los protectores de espalda para motociclistas deben tener una zona mínima de protección en función de la medida de cintura a hombro del usuario más grande indicado para el marcado, y definidas en la Norma (según las zonas de protección: protector de espalda integral; protector de espalda central; protector de espalda inferior).
- **Atenuación de impactos.** El ensayo debe permitir que se pueda soltar una masa de caída para que impacte sobre la muestra colocada en un yunque de ensayo (instrumentado con un sensor de medida de fuerza) siguiendo un recorrido vertical guiado. Esta norma incluye dos niveles de rendimiento: nivel 1 y nivel 2. La fuerza transmitida en el ensayo se debe ajustar a los valores de la siguiente tabla (Tabla 30).

	Nivel 1	Nivel 2
Valor medio	≤ 18 kN	≤ 9 kN
Golpe aislado	≤ 24 kN	≤ 12 kN

Tabla 30. Requisitos de fuerza transmitida en ensayo de atenuación de impactos por nivel de rendimiento según norma UNE-EN 1621-2:2014 ([99]).

Todos los protectores deben ir marcados de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 132, donde:

- 1 Equipo de protección para motociclistas
- 2 Categoría y tipo de protector (FB para el protector de espalda integral; CB para el protector de espalda central; o LB para el protector de espalda inferior)
- 3 Ensayo de impacto a baja temperatura superado (si el espacio está en blanco, no se declara el ensayo)
- 4 Ensayo de impacto a alta temperatura superado (si el espacio está en blanco, no se declara el ensayo)
- 5 Nivel de rendimiento

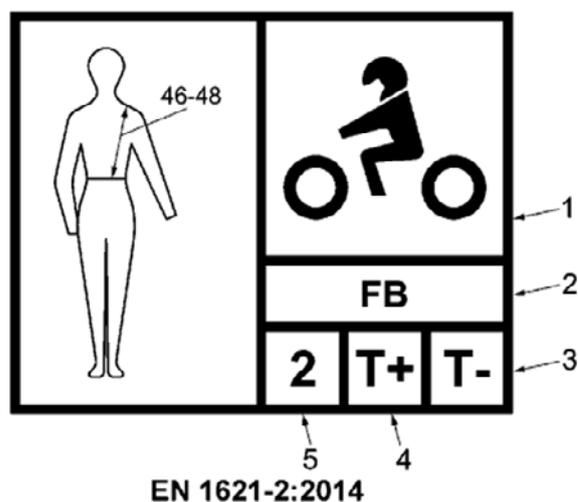


Figura 132. Pictograma de la norma EN 1621-2:2014.

PROTECTORES DE PECHO

Los principales requisitos requeridos a los protectores de pecho para motociclistas se muestran a continuación de manera resumida. Dichos protectores deben cumplir el requisito general de que su uso sea seguro, se lleven con comodidad, y se ajusten a su finalidad. Los protectores de pecho se deben suministrar con un sistema de sujeción y/o ajuste capaz de asegurar que el protector se mantiene en su posición durante su uso. Este requisito no es aplicable a los protectores que se deben insertar o incorporar en la ropa.

- **Inocuidad.** Los materiales deben cumplir con los requisitos de inocuidad de los materiales de la Norma UNE-EN 340:2004 (Ropas de protección. Requisitos generales [101]).
- **Dimensiones mínimas de la zona de protección.** Los protectores de pecho para motociclistas deben aportar una zona mínima de protección, definida en la Norma (según las zonas de protección: protector de pecho integral; protector de pecho de dos piezas). Se identifican dos niveles de protección:
 - o Nivel 1: fabricados con material blando, que aportan atenuación del impacto, pero no distribución del impacto.
 - o Nivel 2: fabricados con un material más rígido, que aportan atenuación del impacto y distribución del impacto.
- **Atenuación de impactos.** El ensayo debe permitir que se pueda soltar una masa de caída para que impacte sobre la muestra colocada en un yunque de ensayo (instrumentado con un sensor de medida de fuerza) siguiendo un recorrido vertical guiado. Para los ensayos de distribución del impacto, el yunque se debe insertar en un "anillo de protección". Esta norma incluye dos niveles de rendimiento: nivel 1 y nivel 2. La fuerza transmitida en el ensayo se debe ajustar a los valores de la siguiente tabla (Tabla 31).

	Nivel 1	Nivel 2
Valor máximo medio	≤ 18 kN	≤ 18 kN
Valor aislado	≤ 24 kN	≤ 24 kN

Tabla 31. Requisitos de fuerza transmitida en ensayo de atenuación de impactos por nivel de rendimiento según norma UNE-EN 1621-3:2021. [100]).

- **Distribución del impacto.** Este requisito es aplicable únicamente a los protectores de nivel 2. Cuando se someta a ensayo la fuerza transmitida registrada debe tener un valor máximo medio de 15 kN y ningún valor individual debe ser superior a 20 kN.

Todos los protectores deben ir marcados de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 133.

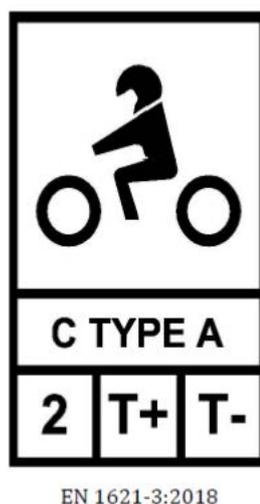


Figura 133. Pictograma de la norma EN 1621-3:2018.

5.2.2.4. Guantes

A fecha de realización del presente documento (febrero de 2021), todavía no es obligatorio en España el uso de guantes por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, en el “Plan de medidas especiales para la seguridad vial de motocicletas y ciclomotores 2019-2020” ([102]), aprobado por el Grupo de Trabajo GT-52 “Motocicletas y Seguridad Vial” en el seno del Consejo Superior de tráfico, Seguridad Vial y Movilidad Sostenible y por el Comité de Dirección de la Dirección General de Tráfico, se incluyó la propuesta de “Obligatoriedad del uso de guantes para los usuarios de motocicletas” dentro de la Medida 11 del Área 3 (Normativa y su cumplimiento).

Sobre la base de esta propuesta, es previsible que la obligatoriedad de uso de dichos guantes se haga efectiva a lo largo del presente año de 2021.

Los guantes de protección, como equipos de protección individual del motorista, están incluidos dentro del Reglamento (UE) 2016/425 ([3]). Conforme a dicho Reglamento, deben cumplir los requerimientos recogidos en la norma UNE EN 13594:2015 (Guantes de protección para motociclistas. Requisitos y métodos de ensayo [103]).

Existe un aspecto no contemplado en la citada norma y de gran relevancia para el confort del motorista, como es el comportamiento frente al frío. En este sentido, la norma UNE EN 511:2006 (Guantes de protección contra el frío [104]) especifica los requisitos y métodos de ensayo para los guantes que protegen contra el frío convectivo y conductivo hasta -50°C.

La selección de los guantes por parte del motorista depende de diversos factores, como la especialidad de motociclismo practicada, las condiciones climáticas, la frecuencia de uso de los guantes y el tiempo que se llevan puestos. En la citada norma UNE EN 13594:2015 se especifican dos niveles de rendimiento para los mismos:

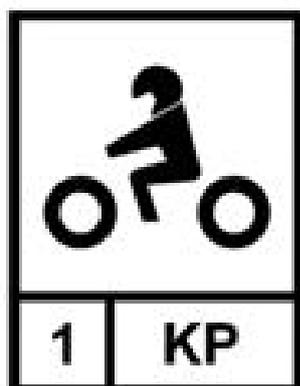
- **Nivel 1:** guantes diseñados para aportar protección con pocas restricciones ergonómicas asociadas a su uso.
- **Nivel 2:** guantes que aportan mayor protección que los de Nivel 1. Pueden conllevar mayor restricción de peso y dificultad de movimientos.

Los principales requisitos requeridos, según el nivel de rendimiento, se muestran a continuación de manera resumida:

- **Inocuidad:** todos los guantes deben cumplir los requisitos contenidos en la Norma EN 420 ([105]).
- **Componentes rígidos:** todos los guantes deben cumplir estos requisitos. No debe haber bordes rígidos cortantes ni puntos cortantes en el interior ni en el exterior del guante.
- **Requisitos ergonómicos:** todos los guantes deben cumplir estos requisitos. El verificador debe poder efectuar todos los movimientos indicados sin encontrar dificultades o riesgos significativos.
- **Tallaje y longitud de puño:** los guantes deben cumplir con el sistema de tallaje que se describe en la Norma EN 420 ([105]) u otro sistema apropiado, según se describa en la información para el usuario.
- **Sujeción:** en la muñeca o en el puño debe ir incorporado un sistema de sujeción regulable.
- **Resistencia al desgarro:** se deben someter a ensayo tres probetas de cada tipo de material que forme parte de la capa de protección, conforme al método de desgarro de la Norma EN 388 ([106]).
- **Resistencia de las costuras:** se calcula la resistencia de las costuras dividiendo la fuerza de rotura entre la longitud de la costura sometida a ensayo.
- **Resistencia al corte:** se someten a ensayo todas las capas juntas conforme al método correspondiente de la Norma EN 388 ([106]).

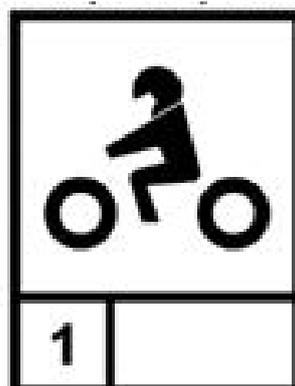
- **Resistencia a la abrasión por impacto:** cuando se someta al ensayo de abrasión, el tiempo medio de abrasión y el tiempo de cualquier abrasión individual deben cumplir los requisitos de la norma. La máquina de ensayo está diseñada para dejar caer la probeta desde una altura determinada con una energía definida sobre una cinta abrasiva que se desplace sobre una superficie horizontal rígida a una velocidad establecida. El tiempo de abrasión de la probeta se define como el periodo transcurrido desde el momento en que se deja caer la probeta sobre la cinta abrasiva en movimiento hasta la rotura de un cable disparador eléctrico situado entre la probeta y el soporte de la muestra en la máquina.
- **Protección de los nudillos frente a impactos:** los requisitos para atenuación de impactos son opcionales para los guantes de nivel 1; son obligatorios para los guantes de nivel 2 y para todos los guantes diseñados y fabricados para atenuar la energía del impacto en la zona de los nudillos. Los ensayos de impacto se deben realizar de acuerdo con la Norma EN 1621-1 ([98]), de modo que el centro del peso de caída golpee directamente la zona en la que el guante cubre el centro de uno de los cuatro nudillos. Ninguna zona del guante se debe agrietar o cuartear de modo que se produzcan bordes cortantes.

Todos los guantes deben ir marcados de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 134.



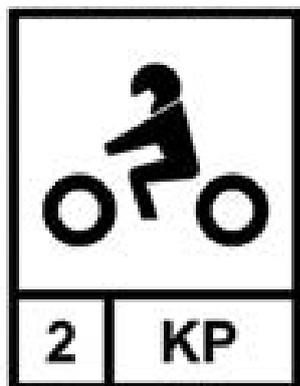
EN 13594:2015

Nivel 1 con protección para los nudillos



EN 13594:2015

Nivel 1 sin protección para los nudillos



EN 13594:2015

Nivel 2 con protección para los nudillos

Figura 134. Pictograma de la norma EN 13594:2015.

5.2.2.5. Botas

A fecha de realización del presente documento, todavía no es obligatorio en España el uso de botas por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, las botas de protección, como equipos de protección individual del motorista, están incluidas dentro del Reglamento (UE) 2016/425 ([3]). Conforme a dicho Reglamento, deben cumplir los requerimientos recogidos en la norma UNE EN 13634:2017 (Calzado de protección para motoristas. Requisitos y métodos de ensayo [107]).

Esta norma define 4 propiedades específicas para el calzado para motociclistas con 2 posibles niveles de prestaciones (altura del corte, abrasión por impacto, corte por impacto y rigidez transversal). Para cumplir con esta norma, el calzado para motociclistas debe alcanzar al menos el nivel de prestaciones I en las cuatro propiedades. Los principales requisitos se describen seguidamente de manera resumida:

- **Diseño. Altura del corte.** Todo el calzado debe clasificarse como de prestaciones de nivel I o nivel 2, en función de las dimensiones de la altura de corte. Las de nivel 2 tienen mayor altura que las de nivel I.
- **Calzado completo. Resistencia de la unión corte/piso.** Cuando el zapato se ensaya de acuerdo con el método especificado en la Norma UNE-EN ISO 20344:2012 ([108]), la resistencia de la unión no debe ser inferior a 4.0 N/mm a menos que haya desgarro del material de la suela, en cuyo caso la resistencia de la unión no debe ser inferior a 3.0 N/mm.
- **Calzado completo. Inocuidad.** El calzado que protege frente a los riesgos cuando se conduce una motocicleta no debe afectar negativamente a la salud e higiene del usuario.
- **Empeines. Resistencia a la abrasión por impacto.** Todo el espesor del corte (es decir, el empeine + el forro) de cada combinación de materiales presentes se somete a ensayo de acuerdo con el procedimiento de la Norma UNE-EN 13595-2:2002 ([86]). La resistencia a la abrasión por impacto se debe clasificar según se indica en la norma. Para satisfacer los distintos requisitos ergonómicos para las diferentes disciplinas de motociclismo, se permiten pequeñas desviaciones del material por zonas de la bota.
- **Empeines. Resistencia al corte por impacto.** Todo el espesor del corte (es decir, el empeine + el forro) se somete a ensayo de acuerdo con el procedimiento de la Norma UNE-EN 13595-4:2002 ([88]). Se realizan cortes de ensayo sobre las muestras, y la resistencia al corte por impacto se clasifica según se indica en la norma.
- **Forros. Resistencia al desgarro.** La resistencia al desgarro del forro debe estar de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 20345:2012 ([109]).
- **Forros. Resistencia a la abrasión.** Cuando se someta a ensayo de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 20344:2012 ([108]), en la superficie de uso del forro no debe formarse ningún agujero antes de efectuar el siguiente número de ciclos: en seco: 25 600 ciclos; en húmedo: 12 800 ciclos.
- **Suelas. Espesor y altura del relieve.** Cuando se mida de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 20344:2012 ([108]), el espesor de las suelas no debe ser inferior a 4 mm. Cuando se utilicen suelas con relieve, la altura del relieve no debe ser inferior a 2.5 mm.

- **Suelas. Resistencia a la abrasión.** Cuando se sometan a ensayo las suelas de acuerdo con el Método A de la Norma ISO 4649:2017 ([110]), la pérdida relativa de volumen no debe ser superior a 250 mm³ para los materiales que tengan una densidad igual o inferior a 0.9 g/ml, y no debe ser superior a 150 mm³ para los materiales que tengan una densidad superior a 0.9 g/ml.
- **Suelas. Resistencia de la unión entre capas.** Cuando se someta a ensayo de acuerdo con la UNE-EN ISO 20344:2012 ([108]), la resistencia de la unión entre la capa exterior o capa con relieve y la capa adyacente no debe ser inferior a 4.0 N/mm, a menos que se produzca un desgarramiento en cualquier parte de la suela, en cuyo caso la resistencia de la unión no debe ser inferior a 3.0 N/mm.
- **Ergonomía.** Cuando se someta a ensayo la ergonomía de acuerdo con el método especificado en la norma, el probador debe poder realizar todos los movimientos definidos sin encontrar problemas importantes.
- **Construcción de la palmilla.** El calzado debe presentar una palmilla o plantilla de forma que no pueda retirarse sin dañarlo.

En la citada norma se proponen también un conjunto de requisitos opcionales:

- **Protección del tobillo y/o parte de la espinilla frente al impacto.** Cuando se declare que un calzado ofrece protección de la espinilla o del tobillo frente al impacto, éste debe tener una fuerza transmitida inferior a 5 kN cuando se someta a ensayo definido en la norma.

El calzado que cumpla el requisito de protección del tobillo frente al impacto se debe marcar con el código "IPA" y el calzado que cumpla el requisito de protección de la espinilla frente al impacto se debe marcar con el código "IPS".

- **Resistencia a la penetración de agua.** Cuando se declare que un calzado es resistente a la penetración de agua, éste debe cumplir los requisitos de la Norma UNE-EN ISO 20345:2012 ([109]). El calzado que cumpla con este requisito se debe marcar con el código "WR".
- **Resistencia de la suela a los hidrocarburos.** Cuando se declare que la suela de un calzado es resistente a los hidrocarburos, éste debe cumplir los requisitos de la Norma UNE-EN ISO 20345:2012 ([109]). El calzado que cumpla este requisito se debe marcar con el código "FO".
- **Resistencia de la suela al deslizamiento.** Cuando se declare que la suela de un calzado es resistente al deslizamiento, éste debe cumplir los requisitos de resistencia al deslizamiento de la Norma UNE-EN ISO 20345:2012 ([109]). El calzado que cumpla este requisito se debe marcar con uno de los tres códigos "SRA", "SRB" o "SRC".
- **Cortes permeables.** Cuando se declare que el corte de un calzado es permeable al vapor de agua, se deben cumplir los requisitos de la Norma UNE-EN ISO 20345:2012 ([109]). El calzado que cumpla este requisito se debe marcar con el código "B" (transpirabilidad).
- **Palmillas/plantillas. Absorción y eliminación de agua.** Cuando se someta a ensayo de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 20344:2012 ([108]), la absorción de agua de la capa de material situada junto al pie no debe ser inferior a 70 mg/cm² y la eliminación de agua no debe

ser inferior al 80% del agua absorbida. El calzado provisto de palmillas no absorbentes es aceptable si lleva un revestimiento, a condición de que el revestimiento cumpla los requisitos de absorción y eliminación. El calzado que cumpla este requisito se debe marcar con el código "WAD" (absorción y eliminación de agua).

Todas las botas deben ir marcados de forma permanente y visible con un pictograma como el mostrado en la Figura 135. Bajo el pictograma se debe marcar el nivel de protección (1 ó 2) en el siguiente orden:

- (a) altura del corte
- (b) resistencia a la abrasión por impacto
- (c) resistencia al corte por impacto
- (d) rigidez transversal.

Los códigos de marcado para los requisitos opcionales deberían ir tras el nivel "d" de rigidez transversal.



EN 13634:2017

a b c d

Figura 135. Pictograma de la norma EN 13634:2017.

5.2.2.6. Airbag

La mayoría de los dispositivos existentes en el mercado han sido certificados conforme a la norma UNE-EN 1621-4:2013 (Ropa de protección frente a impactos mecánicos para motociclistas. Parte 4: Protectores inflables para motociclistas. Requisitos y métodos de ensayo [11]). Los protectores objeto de esta norma únicamente aportan protección cuando están inflados.

El campo de aplicación de dicha norma abarca a los protectores inflables para motociclistas activados mecánicamente. Los protectores inflables distintos a los activados mecánicamente no están cubiertos por esta norma.

Los requisitos de rendimiento se han definido para obtener el mejor compromiso entre la protección, la comodidad y los requisitos ergonómicos. Los métodos de ensayo están concebidos para aportar información sobre la protección frente a impactos mecánicos.

Se especifican dos niveles de rendimiento para los protectores inflables:

- **Nivel 1**, para protectores diseñados para aportar protección con pocas desventajas ergonómicas asociadas a su uso.
- **Nivel 2**, para protectores que aportan una mayor protección con respecto al nivel 1, aunque pueden presentar desventajas de peso.

Esta norma define el nivel mínimo de protección, el tiempo mínimo de actuación de la bolsa inflada y la cobertura mínima que tienen que aportar los protectores que llevan los ocupantes de la motocicleta. Los requisitos de esta norma afectan a todas las zonas corporales que se declaren como protegidas.

Deben tomarse en consideración las siguientes definiciones:

- Protector inflable para motociclista. Dispositivo específico llevado por los motociclistas, que se infla automáticamente en caso de accidente.
- Tiempo de actuación. Suma del tiempo de activación más el tiempo de inflado, en milisegundos.
- Tiempo de activación. Periodo de tiempo que tarda el sistema de activación en disparar el generador de gas, correspondiente al intervalo de tiempo desde el inicio del accidente hasta el inicio del inflado del protector.
- Tiempo de inflado. Periodo de tiempo requerido para que el airbag se infle totalmente.
- Sistema de activación mecánica. Sistema que se dispara por la ruptura de una conexión física entre la motocicleta y el protector.
- Cable de activación. Conexión mecánica entre el dispositivo inflable y la motocicleta.
- Fuerza de activación. Fuerza transmitida por el cable de activación para iniciar el proceso de inflado.
- Energía de activación. Energía requerida por el sistema de activación mecánica para iniciar el proceso de inflado.
- Tiempo de duración. Periodo de tiempo durante el que la presión de funcionamiento del interior del airbag permanece por encima de la presión mínima de funcionamiento declarada por el fabricante.

Un resumen de los principales requisitos generales de seguridad exigidos a estos protectores se recoge en la siguiente tabla (Tabla 32).

	Requisito	Valores
Inocuidad	Protección frente a todo elemento rígido	≤ 35 kN
	Evaluación de la exposición a la temperatura (donde proceda)	Valor medio ≤ 48 °C. Ningún valor individual debe superar 55 °C
	Tiempo de actuación	≤ 200 ms
	Tiempo de duración	≥ 5 s
Atenuación de impactos		Nivel 1: Valor medio total 4.5 kN Impacto individual ≤ 6 kN Nivel 2: Valor medio total 2.5 kN Impacto individual ≤ 3 kN
Funcionamiento del sistema de activación	Fuerza de activación del sistema de activación mecánica	≥ 30 N ≤ 250 N
	Energía de activación del sistema de activación mecánica	< 5 J
	Resistencia a la rotura de la conexión física entre la motocicleta y el protector	\geq cuatro veces la fuerza de activación; en cualquier caso ≥ 400 N

Tabla 32. Resumen de los requisitos contenidos en la norma UNE-EN 1621-4:2013 ([11]).

- **Elementos rígidos.** No debe haber presente ningún borde cortante en el protector. Debe haber presente una capa de material de atenuación de impactos entre todo elemento rígido presente en los sistemas de inflado o de activación y el cuerpo del usuario.
- **Evaluación de la exposición a la temperatura.** Ciertos generadores de gas que contienen componentes pirotécnicos pueden generar gasas calientes cuando se activan. Estos productos se deben someter a una evaluación de exposición a la temperatura.
- **Determinación del tiempo de inflado.** Se determina utilizando una cámara de gran velocidad (al menos 200 imágenes/segundo) y analizando las imágenes correspondientes. El tiempo de inflado se alcanza cuando no se puede detectar más alteración del tamaño de la bolsa inflada.
- **Determinación de la duración del estado inflado.** El protector se debe ensayar realizando el ensayo de atenuación de impactos al tiempo máximo de duración declarado por el fabricante. La duración del estado inflado corresponde al tiempo máximo de duración declarado por el fabricante si los protectores superan el ensayo de atenuación de impactos.
- **Atenuación de impactos.** Para cada zona de protección, el ensayo se debe realizar utilizando el equipo de ensayo de caída y el procedimiento conforme a la parte correspondiente de la Norma EN 1621. Los ensayos de impacto se deben realizar en el tiempo de inflado declarado por el fabricante.

- **Zonas de protección.** Las zonas del cuerpo declaradas como protegidas deben quedar cubiertas por el protector cuando esté inflado. El protector debe cubrir al menos una de las zonas de protección descritas en cualquier parte específica de la serie de Normas EN 1621.
- **Sujeción del protector inflable.** El protector inflable debe ir provisto de unos dispositivos de sujeción adecuados y regulables. Sus funciones se deben evaluar mediante ensayos ergonómicos. Si el protector inflable está incorporado en una prenda, los dispositivos de sujeción se pueden incorporar a la misma. En este caso, si la prenda se puede abrir, la información destinada al usuario debe contener una advertencia indicando que las funciones de seguridad únicamente funcionarán cuando la prenda esté cerrada.
- **Atenuación de impactos.** Los protectores para motociclistas se deben ensayar en estado inflado. La zona de protección se debe ensayar conforme al método correspondiente descrito en las distintas partes de la Norma EN 1621. Las zonas de protección suplementarias se deben ensayar según el método descrito en la Norma EN 1621-1 ([98]).

Los protectores para motociclistas deben ir marcados de forma clara y permanente con un pictograma como el mostrado en la Figura 136. El número 1 ó 2 indica el nivel de rendimiento; las letras indican la zona protegida, tal como se define en las partes correspondientes de la Norma EN 1621.



Figura 136. Pictograma de la norma EN 1621-4:2012.

5.3. Resultados

MOTOCICLETA. SEGURIDAD DE LOS NEUMÁTICOS

- Los sistemas de control de la presión de los neumáticos (TPMS) no son actualmente obligatorios en vehículos de la categoría L. Frente a esto, el Reglamento (UE) N° 661/2009 ([5]) dispone que los vehículos de la categoría M1 estarán equipados con un sistema exacto de control de la presión de los neumáticos capaz de emitir, cuando sea necesario, una advertencia al conductor en el interior del vehículo en caso de que se produzca una pérdida de presión en cualquier neumático, en beneficio de un óptimo consumo de combustible y de la seguridad vial. Dicho Reglamento entró en vigor en 2012 (nuevos tipos) y en 2014 (nuevas matriculaciones).

MOTOCICLETA. SEGURIDAD DURANTE LA FRENADA

- El Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]) estableció el montaje obligatorio de sistemas avanzados de frenado (sistema de frenado antibloqueo, sistema de frenado combinado o ambos) en la categoría L3e a partir del 1 de enero de 2017 para cualquier vehículo existente. Los requisitos de seguridad funcional para la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos se incluyen en el Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014 ([77]), que complementa el Reglamento (UE) N° 168/2013; así como en el Reglamento Delegado (UE) N° 2016/1824 ([78]), que modifica el Anexo I del Reglamento (UE) N° 3/2014.

En relación con los requisitos aplicables al frenado, en el Anexo III del citado Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014 se indica que los vehículos de las categorías L1e, L2e, L3e, L4e y L5e cumplirán todos los requisitos pertinentes del Reglamento CEPE N° 78 ([79]). En el Anexo 3 de dicho Reglamento N° 78 se definen las condiciones y procedimientos de ensayo, y los requisitos de eficacia. Estos ensayos consisten en pruebas de frenado en línea recta, definiéndose la eficacia de frenado en términos de distancia de parada máxima, o bien de desaceleración media estabilizada mínima. Dichas pruebas incluyen: frenada en seco y accionamiento de un solo mando de freno; frenada en seco y accionamiento de todos los mandos del frenado de servicio; ensayo a alta velocidad; ensayo con frenos mojados y ensayo de pérdida de eficacia por el calor.

Los requisitos de eficacia son especificados para cada uno de los ensayos precedentes en el caso de que el vehículo disponga de sistema de frenado combinado CBS.

Si el vehículo dispone de sistema de frenado antibloqueo ABS, se proponen ensayos para confirmar la eficacia del sistema, así como su eficacia en caso de fallo eléctrico del mismo. Se permite el bloqueo de las ruedas mientras no afecte a la estabilidad del vehículo o que una rueda del vehículo se salga del carril de ensayo, en las siguientes pruebas:

- o Frenadas sobre una superficie de alto rozamiento, con el accionamiento simultáneo de ambos mandos del sistema de frenado de servicio, en su caso, o del mando del sistema de frenado combinado.
- o Frenadas sobre una superficie de bajo rozamiento, con las mismas condiciones de ensayo precedente.

- o Comprobación del bloqueo de las ruedas en el paso de una superficie de alto rozamiento a otra de bajo rozamiento.
- o Comprobación del bloqueo de las ruedas en el paso de una superficie de bajo rozamiento a otra de alto rozamiento.
- o Frenadas con fallo eléctrico del ABS, en el ensayo de frenada en seco con accionamiento de un solo mando de freno.

MOTOCICLETA. SISTEMA ASISTENTE DE VELOCIDAD INTELIGENTE

- Los sistemas asistentes de velocidad inteligente, definidos como dispositivos que ayudan al conductor a mantener la velocidad adecuada al entorno de la vía proporcionándole información específica y adecuada, están incluidos en los requisitos de los Reglamentos (UE) N° 661/2009 y N° 2019/2144 (que deroga al anterior a partir del año 2022), pero no aplican actualmente a las motocicletas.
- En cualquier caso, debe disponerse de la posibilidad de desactivar dicho asistente. Esta función de desactivación debe quedar bajo control del conductor.

MOTORISTA. VISIBILIDAD DE CASCO Y ROPA DE PROTECCIÓN

- La obligatoriedad de uso del casco por los ocupantes de las motocicletas es recogida en España por el Reglamento General de Circulación. Dichos cascos protectores y viseras deben ser homologados en la Unión Europea actualmente conforme a los requerimientos del Reglamento CEPE/ONU 22R05, el cual contiene especificaciones relativas al marcado de visibilidad de los cascos (también contenidas en el Reglamento CEPE/ONU 22R06, que será efectivo a partir del año 2023). Dicho marcado es de obligado cumplimiento en algunos países, como Francia.
- En relación con la mejora de la visibilidad de la motocicleta por otros usuarios de la vía, la norma UNE-EN 17092 aplicable a la ropa de protección contempla el uso de material retroreflectante (opcional). Si el fabricante declara una prestación retrorreflectante de la prenda, el rendimiento de los materiales retrorreflectantes debe ser conforme a la Norma UNE-EN 1150:1999.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR EL CASCO

- Los requerimientos contenidos en el Reglamento CEPE/ONU 22R05 (y en el Reglamento CEPE/ONU 22R06, que será efectivo a partir del año 2023) tratan de asegurar unos niveles mínimos de eficacia en relación con la protección proporcionada por el casco, fundamentalmente en el caso de las lesiones en las distintas zonas de la cabeza.
- Según estos reglamentos, el casco debe proteger la zona de la cabeza por encima aproximadamente de la línea de ojos, y no debe tener bordes afilados que puedan dañar la cabeza en caso de accidente. Además, debe disponer de un sistema de retención bajo la barbilla. En función de la protección del mentón proporcionada por el casco, se pueden clasificar en:
 - o Homologación "J" Jet. No disponen de protección maxilar.
 - o Homologación "NP" Jet. Cascos con protección maxilar móvil o desmontable, y que no proporcionan protección del mentón.

- o Homologación "P" o integrales (Full face). Cascos con protección maxilar fija, móvil o desmontable, y que proporcionan protección del mentón.
- o Homologación "P/J". Cascos con protección maxilar móvil o desmontable, que cumplen los requerimientos con (P) o sin (J) protector maxilar.
- Dichos Reglamentos (CEPE/ONU 22R05 y 22R06) definen un conjunto de requisitos y ensayos:
 - o Ensayo de absorción de impacto. Ensayo de caída libre del casco sobre un yunque de acero, en un conjunto de puntos de impacto, limitando la aceleración máxima experimentada por la cabeza de ensayo. La revisión 22R06 añade tres puntos extras, así como ensayos de alta energía (mayor velocidad de impacto).
 - o Ensayo de proyección y fricción de superficie. Ensayo de medida de la fuerza máxima que se genera cuando un casco es lanzado sobre el plano inclinado de un yunque.
 - o Ensayo de rigidez. Medida de la deformación máxima del casco al ser comprimido entre dos superficies paralelas.
 - o Ensayo dinámico del sistema de retención.
 - o Ensayo de rotación. Es un nuevo ensayo en la revisión 22R06, consistente en un impacto oblicuo contra un yunque para la medida de la aceleración rotacional.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR CHAQUETAS Y PANTALONES

- A fecha de realización del presente documento no es obligatorio en España el uso de chaquetas, pantalones o trajes (ropa de protección) por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, la homologación de la ropa de protección del motorista está incluida dentro del Reglamento (UE) 2016/425. Conforme a dicho Reglamento, dicha ropa deberá cumplir los requerimientos recogidos en las Norma UNE-EN 17092. Esta norma anulará y sustituirá, antes del 1 de marzo de 2023, a la Norma UNE-EN 13595, actualmente en vigor.
- En la norma UNE-EN 13595 se especifican dos niveles de rendimiento: nivel 1 (prendas diseñadas para aportar cierta protección); y nivel 2 (prendas que aportan un nivel moderado de protección, superior al del nivel 1). Junto a esto, se incluye un método de cuatro categorías de riesgo por regiones corporales: zona 1, corresponden a un alto riesgo de impacto; zonas 1 y 2, corresponden a un alto riesgo de abrasión; zona 3, corresponde a un riesgo mediano de abrasión; y zona 4, corresponde a un riesgo bajo de abrasión.
- Los principales requisitos de la citada norma UNE-EN 13595, con especificaciones según zona y nivel de rendimiento, son: resistencia al desgarro; absorción de la energía del impacto (en la zona 1 deben incluirse protectores); resistencia a la abrasión de todo el grosor de la prenda (máquina de abrasión Cambridge); resistencia al corte por impacto de todo el grosor de la prenda; y resistencia a la rotura.
- En la norma UNE-EN 17092, que sustituirá a la norma UNE-EN 13595, se determinan tres zonas de categoría de riesgo por regiones corporales. La Zona 1 se determina mediante referencia a la Norma UNE-EN 1621-1 (protectores contra impactos en las articulaciones para

motociclistas). Se definen cinco clases de protección: clases AAA (ofrece el máximo nivel protección), AA y A, las cuales ofrecen protección frente al impacto y a la abrasión, con nivel decreciente de requerimientos; clase B, la cual ofrece protección a la abrasión, pero no al impacto; y clase C, diseñada únicamente para mantener en su sitio uno o más protectores de impacto, ya sea como prendas interiores o exteriores. Está previsto que las prendas de clase C se lleven en combinación con prendas de clases AAA, AA, A o B, para aumentar la protección aportada por éstas.

- Los principales requisitos de la citada norma UNE-EN 17092, con especificaciones según zona y clase de protección, son: resistencia al desgarrar; absorción de la energía del impacto; resistencia a la abrasión por impacto (máquina de abrasión por impacto Darmstadt); y resistencia de las costuras. Los métodos de ensayo son similares a los contenidos en la norma UNE-EN 13595, aunque con distintas especificaciones.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LOS PROTECTORES

- A fecha de realización del presente documento no es obligatorio en España el uso de protectores por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, la homologación de los protectores del motorista está incluida dentro del Reglamento (UE) 2016/425. Conforme a dicho Reglamento, estos protectores deben cumplir los requerimientos recogidos en la Norma UNE-EN 1621.
- Los protectores contra impactos en las articulaciones se clasifican según las siguientes zonas del cuerpo: hombro, protector "S"; codo y antebrazo, protector "E"; cadera, protector "H"; rodilla y zona superior de la tibia, protector "K"; rodilla, y zonas superior y media de la tibia, protector "K + L"; y zona de la pierna bajo el protector "K", protector "L".

Los principales requisitos de la citada norma son: inocuidad; dimensiones mínimas de la zona de protección; y atenuación de impactos, incluyendo dos niveles de rendimiento: nivel 1 (nivel mínimo requerido para que el protector aporte una protección útil); y nivel 2 (ofrece un mayor rendimiento que el nivel 1).

- Los protectores de espalda se clasifican como sigue: FB, para el protector de espalda integral; CB, para el protector de espalda central; y LB, para el protector de espalda inferior. Los principales requisitos de la citada norma son: inocuidad; dimensiones mínimas de la zona de protección; y atenuación de impactos, incluyendo dos niveles de rendimiento: nivel 1 y nivel 2.
- Los protectores de pecho quedan afectados por los siguientes requisitos de la norma: inocuidad; dimensiones mínimas de la zona de protección, identificándose dos niveles de protección: nivel 1 (fabricados con material blando, que aportan atenuación del impacto, pero no distribución del impacto) y nivel 2 (fabricados con un material más rígido, que aportan atenuación del impacto y distribución del impacto); atenuación de impactos; y distribución del impacto (éste es aplicable únicamente a los protectores de nivel 2).

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LOS GUANTES

- A fecha de realización del presente documento no es obligatorio en España el uso de guantes por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, en el "Plan de medidas especiales para la seguridad vial de motocicletas y ciclomotores 2019-2020" (Dirección General de Tráfico), se incluyó la propuesta de "Obligatoriedad del uso de guantes para los usuarios de

motocicletas". Sobre la base de esta propuesta, es previsible que la obligatoriedad de uso de dichos guantes se haga efectiva a lo largo del presente año de 2021.

- La homologación de los guantes de protección del motorista está incluida dentro del Reglamento (UE) 2016/425. Conforme a dicho reglamento, deben cumplir los requerimientos recogidos en la norma UNE EN 13594. Existe un aspecto no contemplado en la citada norma y de gran relevancia para el confort del motorista, como es el comportamiento frente al frío. En este sentido, la norma UNE EN 511 especifica los requisitos y métodos de ensayo para los guantes que protegen contra el frío convectivo y conductivo hasta -50°C.
- En la norma UNE EN 13594 se especifican dos niveles de rendimiento: nivel 1 (diseñados para aportar protección con pocas restricciones ergonómicas asociadas a su uso) y nivel 2 (aportan mayor protección que los de nivel 1). Los principales requisitos de la citada norma son: inocuidad; componentes rígidos; requisitos ergonómicos; tallaje y longitud de puño; sujeción, en la muñeca o en el puño; resistencia al desgarrar; resistencia de las costuras; resistencia al corte; resistencia a la abrasión por impacto; y protección de los nudillos frente a impactos (los requisitos para atenuación de impactos son opcionales para los guantes de nivel 1 y obligatorios para los guantes de nivel 2).

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LAS BOTAS

- A fecha de realización del presente documento no es obligatorio en España el uso de botas por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, la homologación de las botas de protección está incluida dentro del Reglamento (UE) 2016/425. Conforme a dicho Reglamento, deben cumplir los requerimientos recogidos en la norma UNE EN 13634.
- Esta norma define 4 propiedades específicas para el calzado para motociclistas con 2 posibles niveles de prestaciones (altura del corte, abrasión por impacto, corte por impacto y rigidez transversal). Para cumplir con esta norma, el calzado para motociclistas debe alcanzar al menos el nivel de prestaciones 1 en las cuatro propiedades.
- Los principales requisitos son: diseño, altura del corte; calzado completo, resistencia de la unión corte/piso e inocuidad; empeines, resistencia al corte por impacto; forros, resistencia al desgarrar y resistencia a la abrasión; suelas, espesor y altura del relieve, resistencia a la abrasión y resistencia de la unión entre capas; ergonomía; y construcción de la palmilla.
- En la citada norma se proponen también un conjunto de requisitos opcionales: protección del tobillo y/o parte de la espinilla frente al impacto; resistencia a la penetración de agua; resistencia de la suela a los hidrocarburos; resistencia de la suela al deslizamiento; cortes permeables; y absorción y eliminación de agua de plantillas.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR EL AIRBAG

- La mayoría de los dispositivos existentes en el mercado han sido certificados conforme a la norma UNE-EN 1621. No obstante, el campo de aplicación de dicha norma abarca únicamente a los protectores inflables para motociclistas activados mecánicamente. Los protectores inflables distintos a los activados mecánicamente no están cubiertos por la misma.
- La citada norma define dos niveles de rendimiento para los protectores inflables: nivel 1 y nivel 2. Ésta determina el nivel mínimo de protección, el tiempo mínimo de actuación de la bolsa inflada y la cobertura mínima que tienen que aportar los protectores que llevan los

ocupantes de la motocicleta. Los requisitos de esta norma afectan a todas las zonas corporales que se declaren como protegidas.

- Los principales requisitos afectan a: elementos rígidos; evaluación de la exposición a la temperatura; determinación del tiempo de inflado; determinación de la duración del estado inflado; atenuación de impactos; zonas de protección; y sujeción del protector inflable.

6

Estudio de presencia del sistema abs en la flota actual de estos vehículos

193

El objetivo de esta fase del informe ha consistido en la estimación de la presencia en la flota actual de motocicletas del sistema de frenado antibloqueo ABS, en sus versiones opcional/serie, así como la evolución de dicha presencia a lo largo de las dos últimas décadas.

La metodología aplicada se ha basado en el análisis de la información contenida en la base de datos de nuevas matriculaciones y bajas de la Dirección General de Tráfico sobre motocicletas. La información recibida contenía el registro de altas (nuevas matriculaciones) y bajas de vehículos por año, en el período 2000 a 2019. A partir de dicha información, se ha identificado en cada uno de los vehículos (según marca y modelo) su categoría conforme al Reglamento (UE) N° 168/2013 ([2]), y subcategoría según la Directiva 2006/126/CE [7]). El resultado de dicho proceso de identificación de nuevas matriculaciones de motocicletas por categorías y subcategorías se muestra en la tabla siguiente (Tabla 33), alcanzándose una asignación positiva promedio del 95% a lo largo de los 20 años evaluados.

La siguiente figura muestra la distribución de nuevas matriculaciones de vehículos L3e por subcategorías, en el período 2000 – 2019 (Figura 137). En el período 2000 – 2004: la proporción promedio de nuevas matriculaciones de vehículos L3e-A1 fue del 28%, la de vehículos L3e-A2 fue del 29%, y la de vehículos L3e-A3 fue del 43%. Frente a esto, en el período 2005 – 2019: la proporción promedio de nuevas matriculaciones de vehículos L3e-A1 ascendió al 52%, la de vehículos L3e-A2 descendió al 21%, y la de vehículos L3e-A3 también descendió al 27%. De este modo, la mayor parte del notable incremento de matriculaciones de vehículos L3e-A1 ha sido debida al descenso de matriculaciones de vehículos L3e-A3.

Asimismo, y considerando el parque de motocicletas previo al año 2000 distribuido por subcategorías conforme al promedio 2000 – 2001, se presenta en la Figura 138 la evolución del parque de vehículos L3e por subcategorías, en el período 2000 – 2019, así como la distribución de dicho parque (Figura 139).

El parque de vehículos L3e-A1 ha crecido desde 380132 motocicletas en el año 2000 (27%) a 1224016 motocicletas en el año 2019 (41%); y el parque de vehículos L3e-A3 ha aumentado desde 568368 motocicletas en el año 2000 (41%) a 1066542 motocicletas en el año 2019 (35%).

Año	Nuevas matriculaciones	Veh. identificados	Porcentaje (%)
2000	52033	46984	90.3
2001	50756	46631	91.9
2002	50800	47150	92.8
2003	62201	58055	93.3
2004	103827	96516	93.0
2005	189199	178725	94.5
2006	240372	228222	94.9
2007	250687	236325	94.3
2008	197396	185153	93.8
2009	125247	115782	92.4
2010	128610	120214	93.5
2011	113516	107542	94.7
2012	94943	90057	94.9
2013	89212	85202	95.5
2014	108931	104384	95.8
2015	131677	125751	95.5
2016	154388	149558	96.9
2017	140592	138291	98.4
2018	160161	157693	98.5
2019	179392	176373	98.3

Tabla 33. Resultado del proceso de identificación de nuevas matriculaciones de motocicletas por categorías y subcategorías, según la Directiva 2006/126/CE [7] (2000 - 2019).

A continuación, utilizando la información comercial publicada por los distintos fabricantes así como la información contenida en la base de datos del Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) (<https://www.iihs.org/topics/motorcycles/motorcycle-abs>), se ha completado el registro de altas y bajas de vehículos por categoría y subcategorías, en el período 2000 a 2019, con la información acerca de la disponibilidad opcional/serie de dicho dispositivo ABS en cada uno de los modelos. En el caso de los vehículos del parque anteriores al año 2000, se ha considerado que el sistema ABS no estaba disponible.

A partir de dicha información, se ha obtenido la distribución del parque de vehículos L3e-A1, L3e-A2, L3e-A3 y L3e por años, según la disponibilidad del sistema ABS (2000 - 2019) (Figura 140, Figura 141, Figura 142 y Figura 143). Dicho análisis muestra que:

- Los vehículos L3e-A3 son los primeros que comienzan a incorporar dispositivos ABS de manera significativa en el parque a partir del año 2002 (0.4% del parque de esta subcategoría, 2316 motocicletas), fundamentalmente como sistema opcional.

- En los vehículos L3e-A2, dicha incorporación se inició en 2007 (0.5% del parque de esta subcategoría, 2573 motocicletas), también fundamentalmente como sistema opcional.
- En los vehículos L3e-A1, esta incorporación comenzó levemente en 2011 (0.1% del parque de esta subcategoría, 814 motocicletas), en este caso como sistema de serie.

En el año 2015, previo a la entrada en vigor del Reglamento (UE) N° 168/2013, la presencia del sistema ABS en la flota presentaba los siguientes valores:

- En los vehículos L3e-A3, incorporación en el 13% de las motocicletas de esta subcategoría, 6% de serie y 7% como equipo opcional.
- En los vehículos L3e-A2, incorporación en el 4% de las motocicletas de esta subcategoría, 2% de serie y 2% como equipo opcional.
- En los vehículos L3e-A1, incorporación en el 1% de las motocicletas de esta subcategoría como equipo de serie.

En el año 2019, último disponible en el presente análisis, la presencia del sistema ABS en la flota quedó como sigue:

- En los vehículos L3e-A3, incorporación en el 26% de las motocicletas de esta subcategoría, 20% de serie y 6% como equipo opcional.
- En los vehículos L3e-A2, incorporación en el 18% de las motocicletas de esta subcategoría, 16% de serie y 2% como equipo opcional.
- En los vehículos L3e-A1, incorporación en el 25% de las motocicletas de esta subcategoría como equipo de serie.

Tomando en consideración los resultados precedentes, puede concluirse lo siguiente:

- La disponibilidad del sistema de frenado antibloqueo ABS en el año 2019 en la flota de los vehículos L3e-A1 y L3e-A3 fue porcentualmente muy similar: entre el 25 – 26%, siendo inferior en los vehículos L3e-A2 (18%). Estos últimos únicamente representaban en dicho año el 19% de la flota total de vehículos L3e.
- Dicho sistema en el año 2019 estuvo disponible en el 24% de la flota de vehículos L3e, 21% como equipo de serie y 3% como equipo opcional.
- Si la tendencia, iniciada en el año 2016, de incorporación masiva del sistema ABS en la flota de vehículos L3e se mantiene, en el año 2025 aproximadamente el 50% de la flota dispondría de este dispositivo de seguridad; siendo el 48% como equipo de serie.
- Dicha tendencia se ve favorecida debido a que en el período 2005 – 2019 la proporción promedio de nuevas matriculaciones de vehículos L3e-A1 ascendió al 52% (54% en el año 2019); estos vehículos han incorporado desde el año 2016 el sistema ABS como equipo de serie en más del 90% de los mismos.

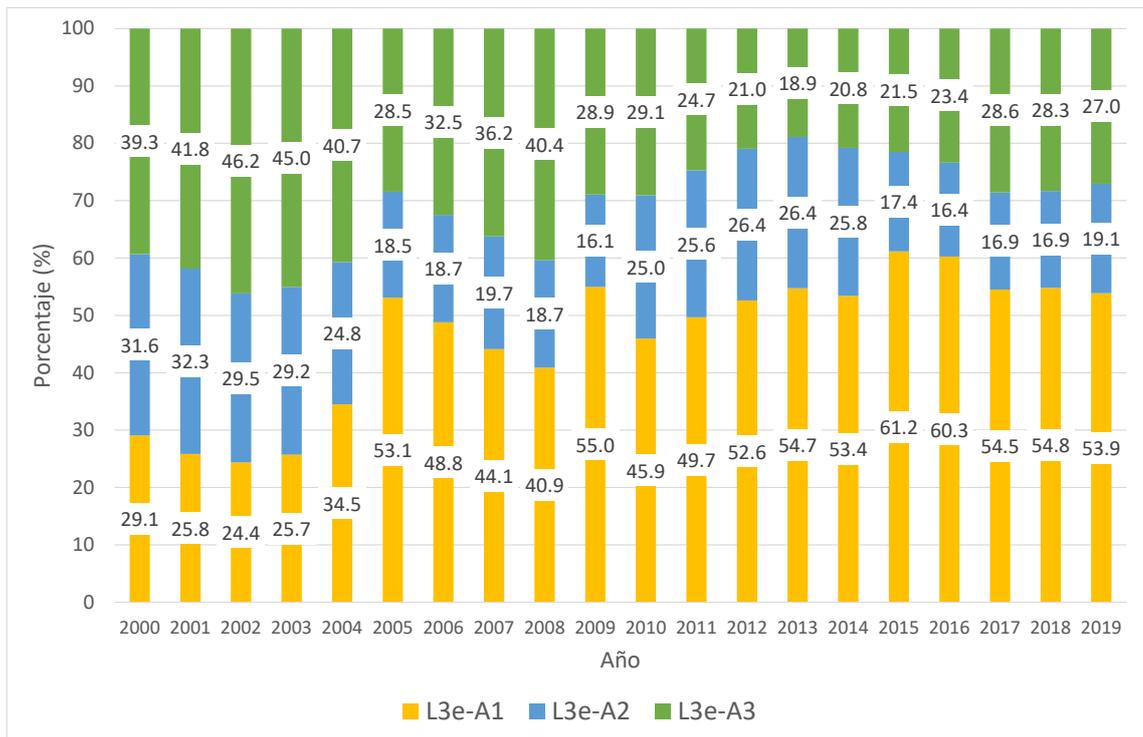


Figura I37. Distribución de nuevas matriculaciones de vehículos L3e por subcategorías, según la Directiva 2006/126/CE [7] (2000 - 2019).

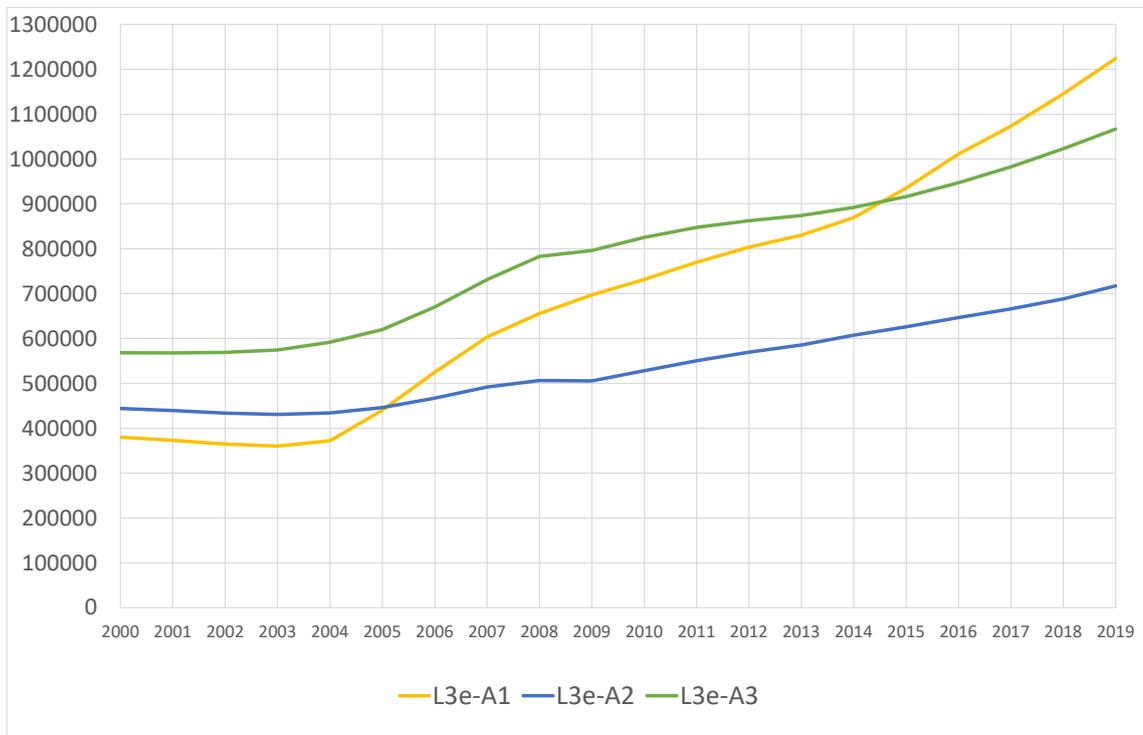


Figura I38. Evolución del parque de vehículos L3e por subcategorías y años, según la Directiva 2006/126/CE [7] (2000 - 2019).

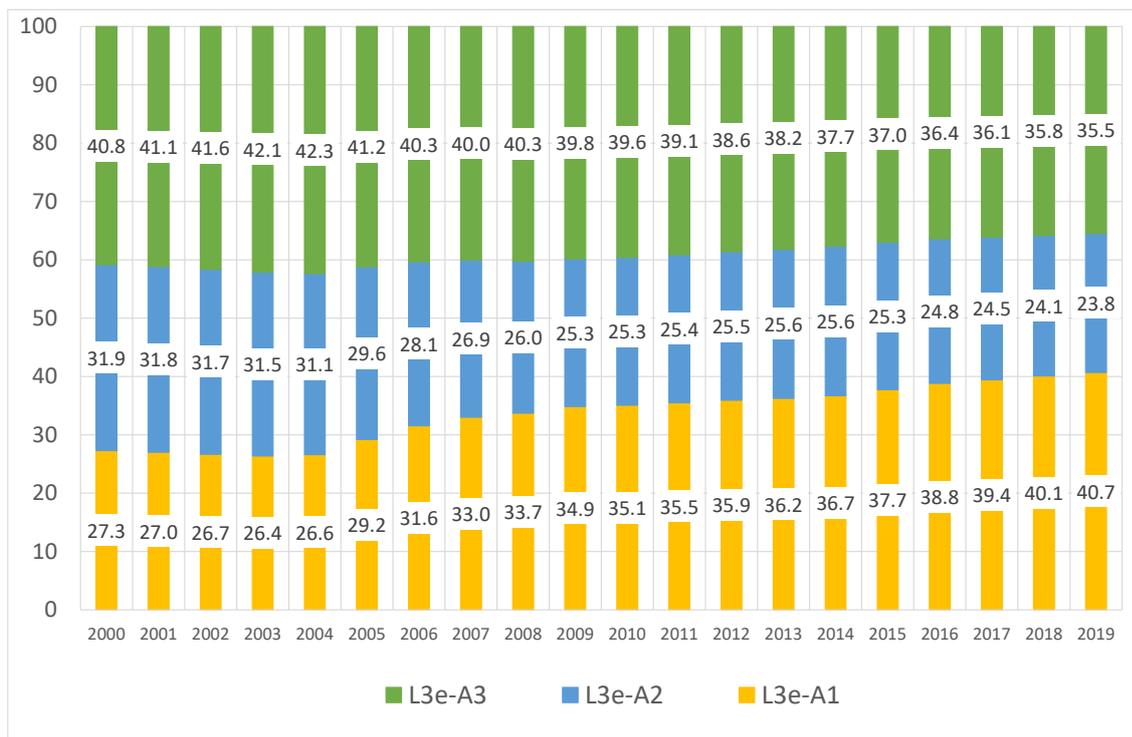


Figura I39. Distribución del parque de vehículos L3e por subcategorías y años, según la Directiva 2006/126/CE [7] (2000 - 2019).

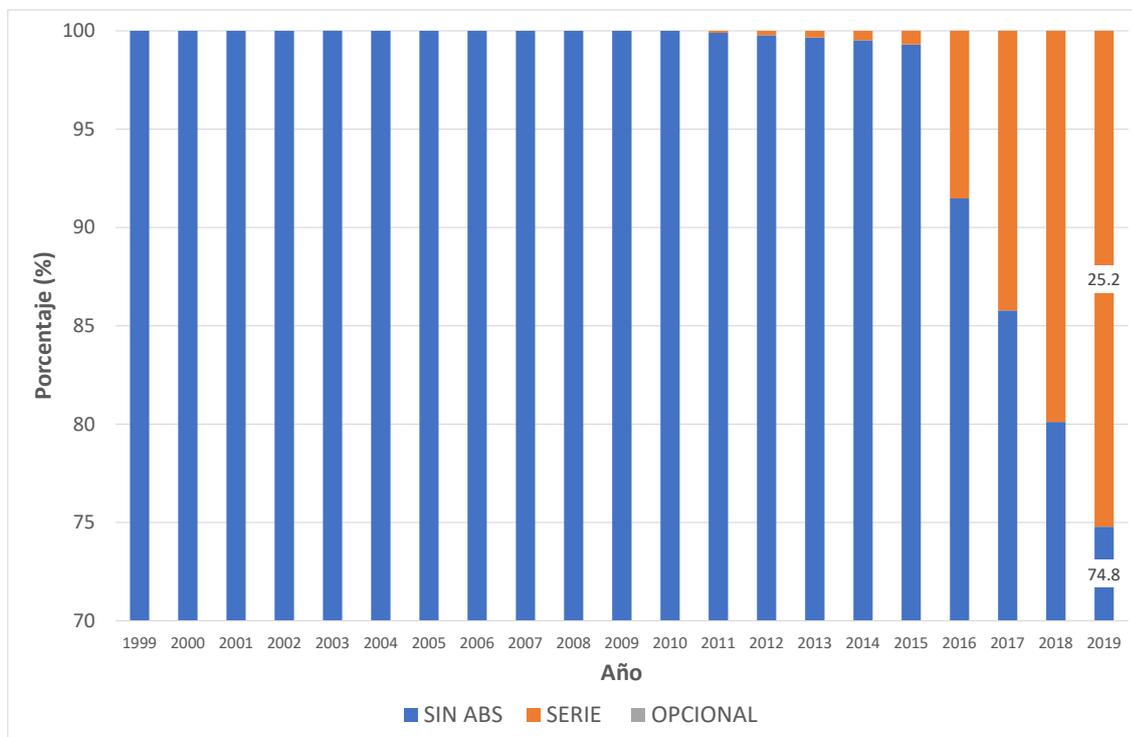


Figura I40. Distribución del parque de vehículos L3e-A1 por años según la disponibilidad del sistema ABS (2000 - 2019).

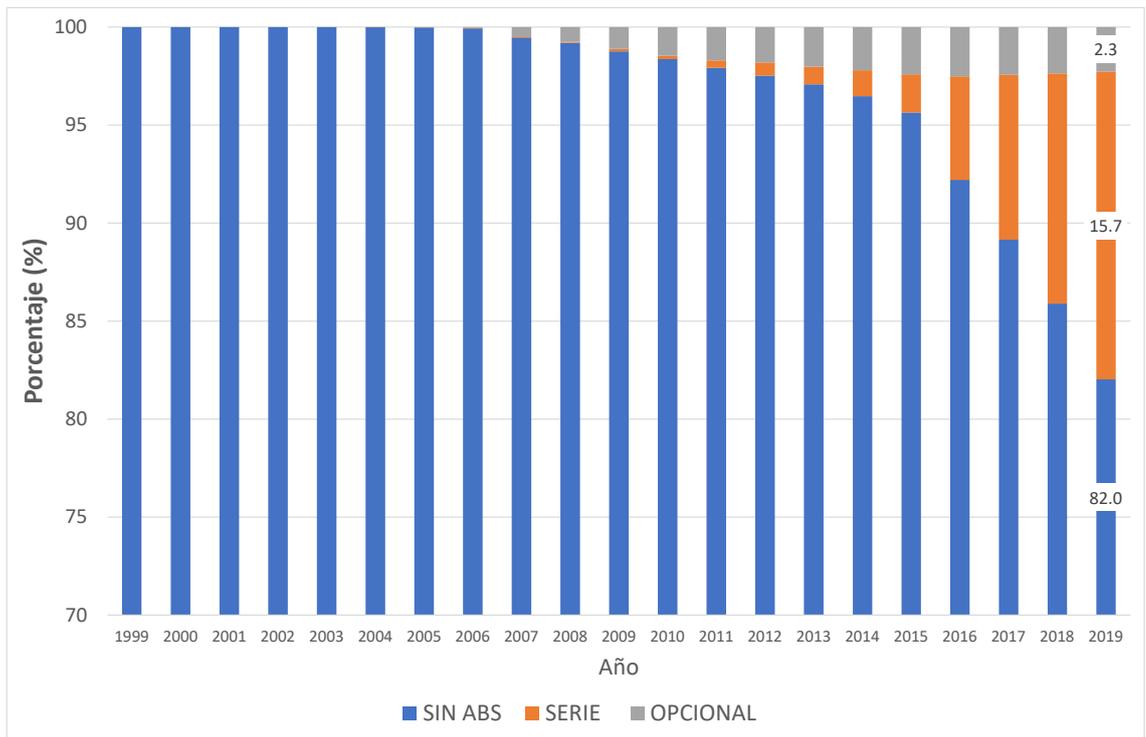


Figura I41. Distribución del parque de vehículos L3e-A2 por años según la disponibilidad del sistema ABS (2000 - 2019).

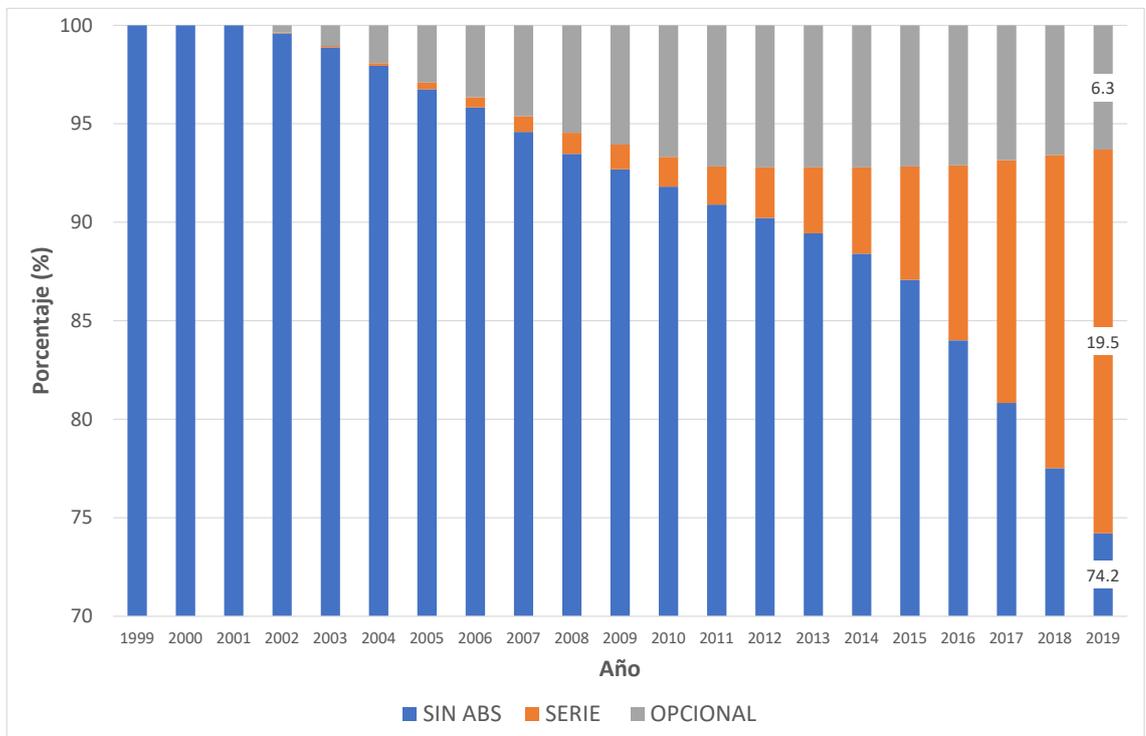


Figura I42. Distribución del parque de vehículos L3e-A3 por años según la disponibilidad del sistema ABS (2000 - 2019).

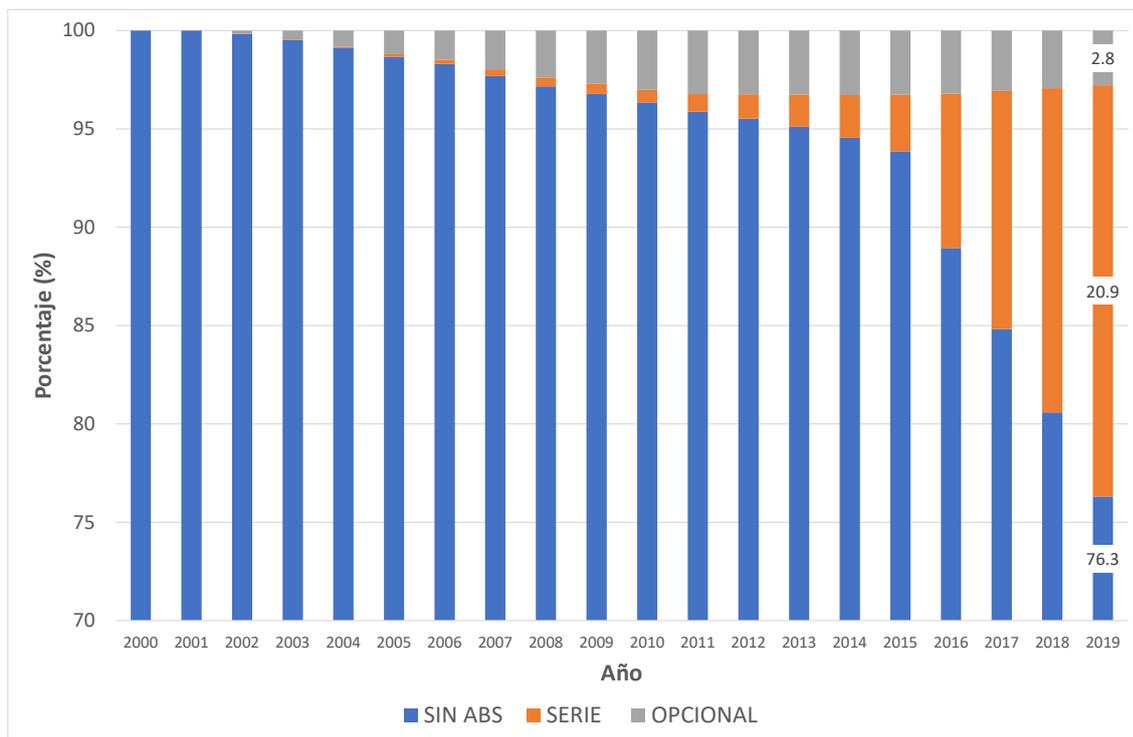


Figura I43. Distribución del parque de vehículos L3e por años según la disponibilidad del sistema ABS (2000 - 2019).

7

Ficha resumen de sistemas de seguridad

201

CÓDIGO: SL - 01 - 01



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS)

Informar al motorista en tiempo real acerca de la presión de cada uno de los neumáticos.

Mantener la presión adecuada permite disponer de la máxima adherencia en el contacto neumático-calzada, posibilita la maniobrabilidad óptima de la motocicleta, la mejora del confort de los usuarios y una duración máxima, incrementando la seguridad en la circulación y la eficacia medioambiental de los neumáticos.

Componentes del sistema:

Función

- Sensores (instalados en la válvula o en el tapón de la válvula)
- Unidad de control.
- Sistema HMI (OEM o aftermarket).



Indicadores de efectividad	[19] En el estudio en profundidad de 921 casos (proyecto MAIDS) se concluyó que el fallo en los neumáticos fue la causa de ocurrencia del 3.7% de los siniestros.
	[22] M. Massaro et al. concluyeron que la reducción de presión empeoraba dos efectos de inestabilidad a casi todas las velocidades de ensayo: el efecto “shimmy” (“wobble”) de oscilación en la rueda delantera, y el efecto “weave” de oscilación en la trasera. Frente a esto, en maniobras de frenado en línea recta se midieron deceleraciones de frenado superiores en el caso de utilización de presiones menores.
	[23] A. Bansal et al. modelaron el comportamiento de una motocicleta y concluyeron que la reducción de la presión en los neumáticos empeoraba el tiempo de respuesta y la capacidad de balanceo, e incrementaba el esfuerzo requerido sobre la dirección.
	[24] L. Peck et al. evaluaron el efecto de la presión de los neumáticos sobre los valores de deceleración, en maniobras de frenado a fondo con aplicación única del sistema de frenado trasero en motocicletas sin sistema ABS. Los resultados mostraron valores más elevados de deceleración en el caso de la menor presión de inflado.
	[25] A.P. Morris et al. analizaron una muestra de 385 accidentes con implicación de ciclomotores y motocicletas (proyecto SAFERWHEELS). Concluyeron que el fallo en los neumáticos fue la causa de ocurrencia del 5% de los siniestros, resultado el fallo mecánico más habitual en la muestra analizada.
Normativa	[80] Reglamento N° 141. No aplica a categoría L (vehículos de las categorías M ₁ y N ₁)
Obligatorio	<ul style="list-style-type: none"> • Uso no obligatorio en España ni en Europa para categoría L
Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • OEM • Aftermarket



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Sistema de frenado antibloqueo (ABS)

Prevenir la caída del motorista durante la maniobra de frenado y reducir la distancia de dicha maniobra evitando el bloqueo de alguna de las ruedas.

Para ello, detecta el deslizamiento de las mismas y regula automáticamente la presión de frenado para limitar su deslizamiento

Es uno de los "sistemas avanzados de frenado".

Componentes del sistema (adicionales al sistema convencional):

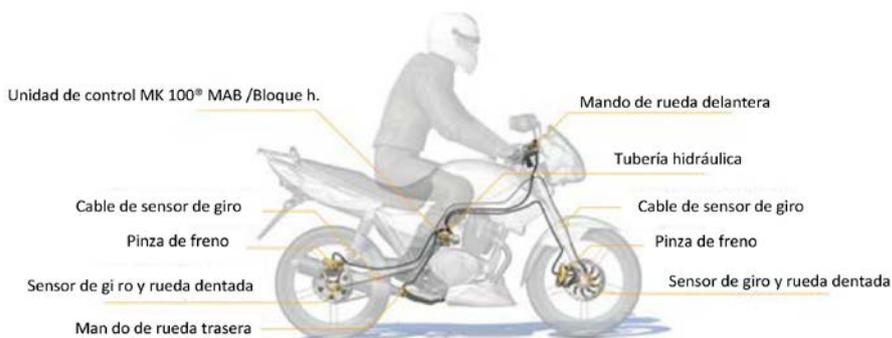
- Mando de freno. Puede ser accionado por la mano o por el pie.
- Sensores de régimen de giro.
- Unidad de control.
- Bloque hidráulico. Integra: bomba hidráulica, motor eléctrico, electroválvulas, válvula de control de presión, y acumulador hidráulico.

Tipos:

- Sistema con un canal.
- Sistema con dos canales (figura de sistema ABS de Continental).

Algunos sistemas ABS incluyen una función de control del efecto "Lift-up"; (despegue de la rueda trasera).

Función



Indicadores de efectividad

[27] Baum et al. concluyeron que el ABS era efectivo en el 85% de los accidentes con caída del motorista.

[28] Spomer y Kramlich, sobre una muestra de 610 accidentes, concluyeron que el 55% podría haberse beneficiado de la instalación del sistema ABS.

[29] Austrian Road Safety Board evaluó la influencia del ABS en maniobras de frenado severas. En motocicletas sin ABS, los conductores experimentados alcanzaron deceleraciones de 0.7 g's, frente a valores de 0.6 g's en conductores noveles; en motocicletas con ABS, ambos grupos alcanzan valores similares de 0.8 g's.

[30] NHTSA y el Transport Canada realizaron ensayos con seis motocicletas. Concluyeron que la instalación del ABS proporcionó una mejora general de la maniobra de frenado tanto en superficies seca como mojada, aunque se constató que dichas maniobras con ABS requerían atención por parte del motorista ante posibles inestabilidades dinámicas.

[31] Gwehenberger et al. analizaron una muestra de 200 accidentes graves y concluyeron que entre el 8% y el 17% de los casos podrían haberse evitado mediante ABS.

[32] M. Zimmermann et al. analizaron una muestra de accidentes de la base GIDAS y concluyeron que al menos el 26% de los accidentes podrían haber sido evitados si las motocicletas hubieran estado dotadas de ABS.

[33] TRL realizó una estimación económica de los beneficios por la incorporación de los sistemas avanzados de frenado. Un motorista promedio puede alcanzar deceleraciones de frenado severas entre 0.6 – 0.7 g's con una motocicleta sin ABS, frente a valores de 0.9 g's en motoristas experimentados. En el caso de motocicletas con ABS, un motorista promedio podría conseguir valores de deceleración próximos a los alcanzables por uno experimentado. La efectividad del ABS en relación con la reducción de usuarios de motocicletas fallecidos era del 18%, y del 10% en relación con la reducción de usuarios de motocicletas heridos graves.

[34] Eric R. Teoh analizó accidentes de la base FARS y concluyó que el número de accidentes mortales por cada 10000 vehículos era un 37% inferior en el caso de modelos equipados con ABS frente al mismo modelo de motocicleta sin el dispositivo.

[35] El mismo estudio anterior, actualizado a 2013, concluyó que el indicador era un 31% inferior en el caso de modelos equipados con ABS frente al mismo modelo de motocicleta sin el dispositivo.

[36] Highway Loss Data Institute realizó un estudio para evaluar la influencia del ABS considerando los costes en que incurrió la compañía aseguradora como consecuencia del siniestro. Las conclusiones obtenidas indicaron que la instalación del ABS supuso una disminución del 20.1% en la frecuencia de las reclamaciones; y una disminución del 20.3% en los costes totales.

[37] En el proyecto de la FIA "Light Motorcycle Safety", en el que se realizaron 251 ensayos de frenada de pánico en línea recta con motocicletas de la categoría L3e en distintas superficies, se concluyó que la motocicleta sin ABS sólo consiguió deceleraciones del 60% en mojado, respecto al caso con ABS. Además, en todos los vehículos con sistemas de frenado con ABS, las diferencias específicas entre pilotos fueron muy pequeñas, lo cual demuestra que los sistemas ABS no sólo permiten un mejor rendimiento durante la frenada, sino una mejor reproducción de buenos rendimientos de frenada.

[38] T. Lich et al. realizaron una investigación sobre accidentes de la base RASSI, y concluyeron que el 33% de los accidentes de motocicletas habrían sido evitados en el caso de disponer de sistema ABS.

[39] M. Rizzi et al., realizaron un análisis sobre accidentes de España, Italia y Suecia, y concluyeron que la efectividad del sistema ABS para la reducción de accidentes resultó: 20% – 38% en España; 12% – 36% en Italia; y 16% – 52% en Suecia.

[41] M. Rizzi et al., utilizando los registros hospitalarios de accidentes de tráfico de la base sueca STRADA, concluyeron que el número de casos reportados a hospitales fue inferior en un 49% en el caso de motocicletas con sistemas ABS + CBS.

	[2] Reglamento (UE) N° 168/2013
Normativa	[77] Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014 [79] Reglamento CEPE N° 78
Obligatorio	<ul style="list-style-type: none">• Uso obligatorio en las subcategorías L3e-A2 y L3e-A3.• Las motocicletas de la subcategoría L3e-A1 contarán con un sistema de frenado antibloqueo y/o un sistema de frenado combinado, a elección del fabricante de los vehículos.
Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none">• OEM



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Sistema de frenado combinado (CBS)

Distribuir fuerza de frenado en distintas ruedas de la motocicleta mediante el accionamiento de un único mando de servicio.

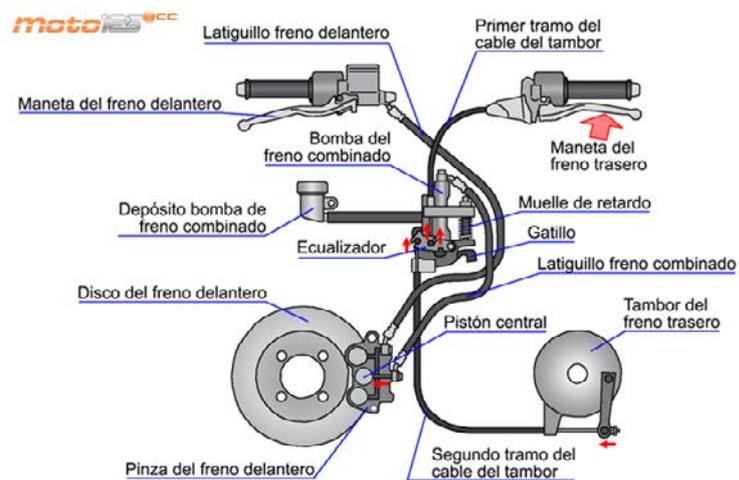
La configuración más habitual permite que al accionar el freno trasero se envíe al mismo tiempo cierta fuerza al delantero. Existen también sistemas duales, en los que se envía cierta fuerza a la rueda trasera cuando se acciona el mando de frenado delantero.

Es uno de los "sistemas avanzados de frenado".

Componentes del sistema (adicionales al sistema convencional):

- Pinzas con varios pistones, accionados independientemente.
- Repartidores de fuerzas de frenado entre ruedas delantera/trasera controladas electrónicamente.

Esquema de CBS de Honda SH Mode 125 (<https://moto125-pre.azurewebsites.net/t/890-rueda-alta-honda-sh-mode/>)



Indicadores de efectividad	<p>[33] TRL realizó una estimación económica de los beneficios alcanzables por la incorporación de los sistemas avanzados de frenado. Y se concluyó que la efectividad del sistema CBS en relación con la reducción de usuarios de motocicletas fallecidos era del 8%.</p> <p>[36] Highway Loss Data Institute realizó un estudio para evaluar la influencia del CBS considerando los costes en que incurrió la compañía aseguradora como consecuencia del siniestro. Las conclusiones obtenidas indicaron que la instalación del CBS redujo la frecuencia de las reclamaciones un 11.2% adicional, y disminuyó los costes totales de las mismas un 13.9% adicional.</p> <p>[37] En el proyecto de la FIA "Light Motorcycle Safety", en el que se realizaron 251 ensayos de frenada de pánico en línea recta con motocicletas de la categoría L3e en distintas superficies, se concluyó que la instalación del ABS + CBS en estas motocicletas permitió alcanzar los valores máximos de deceleración en todas las superficies ensayadas.</p> <p>[40] C. van der Zweep et al. realizaron numerosos ensayos en pista con motocicletas en el marco de del proyecto PISa (Powered Two Wheeler Integrated safety), y concluyeron que la instalación de sistemas CBS permitía una reducción de la distancia media de detención del 18.5%.</p> <p>[41] M. Rizzi et al., utilizando los registros hospitalarios de accidentes de tráfico de la base sueca STRADA, concluyeron que: el número de casos reportados a hospitales fue inferior en un 49% en el caso de motocicletas con sistemas ABS + CBS, un 6% más efectivo que en el caso de instalar únicamente el sistema ABS.</p>
Normativa	<p>[2] Reglamento (UE) N° 168/2013</p> <p>[77] Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014</p> <p>[79] Reglamento CEPE N° 78</p>
Obligatorio	<ul style="list-style-type: none"> Las motocicletas de la subcategoría L3e-A1 contarán con un sistema de frenado antibloqueo y/o un sistema de frenado combinado, a elección del fabricante de los vehículos.
Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Sistema de control de tracción (TC)

Función

Prevenir el deslizamiento de la rueda trasera de la motocicleta durante la maniobra de aceleración, evitando que el esfuerzo tractor en dicha rueda supere la fuerza máxima de tracción admisible por adherencia.

Componentes del sistema (adicionales al sistema convencional):

- Sensores de régimen de giro. Mismos sensores empleados por el sistema de frenado antibloqueo ABS.
- Sensores del sistema motriz.
- Unidad de control.

Algunos sistemas TC incluyen una función de control del efecto "wheelie" (pérdida de contacto de la rueda directriz).

Indicadores

de efectividad

Normativa

Obligatorio

- Uso no obligatorio.

Disponibilidad

- OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Sistema de frenado antibloqueo en curva (Cornering ABS)

Mejorar la estabilidad de la motocicleta en maniobras de frenado en curva, manteniendo la función básica del sistema ABS convencional de detección del deslizamiento de las ruedas y regulación de la presión en el circuito de frenado para limitar su deslizamiento, e incorporando la adaptación de los esfuerzos de frenado en las ruedas durante la realización de maniobras de frenado en curva.

Componentes del sistema (adicionales al sistema ABS convencional):

- Unidad IMU (Inertial Measurement Unit).

La siguiente figura muestra una unidad IMU del fabricante Bosch.

Función



Indicadores de efectividad	
Normativa	
Obligatorio	<ul style="list-style-type: none"> • Uso no obligatorio.
Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Sistema de control de estabilidad (MSC)

Función

Mejorar la estabilidad de la motocicleta en maniobras de frenado y tracción en curva, manteniendo las funciones básicas del: sistema ABS convencional de detección del deslizamiento de las ruedas y regulación de la presión en el circuito de frenado para limitar su deslizamiento; y del sistema TC de detección del deslizamiento de la rueda trasera de la motocicleta durante la maniobra de aceleración y regulación de la propulsión.

Componentes del sistema: utiliza todos los componentes del sistema de frenado antibloqueo en curva (Cornering ABS) y del sistema de control de tracción (TC).

[25] A.P. Morris et al. estudiaron una muestra de 385 accidentes con implicación de ciclomotores y motocicletas (proyecto SAFERWHEELS) y concluyeron que, en los accidentes con fallecidos y heridos graves y con implicación de un único vehículo, el 64% se produjo por pérdida de control durante la trazada de una curva

Indicadores de efectividad

[32] M. Zimmermann et al. analizaron una muestra de accidentes de la base GIDAS y concluyeron que al menos el 31% de los accidentes en Alemania habrían sido evitados con la instalación del sistema MSC.

[42] T. Lich et al. analizaron una muestra de 21 65 accidentes de la base GIDAS y concluyeron que el 5% de los accidentes analizados podrían haber sido evitados con la instalación del sistema MSC, considerando únicamente la contribución del mismo a la trazada de la curva.

Normativa

Obligatorio

- Uso no obligatorio.

Disponibilidad

- OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Sistema de control adaptativo de velocidad (ACC)

Función

Regular la velocidad de la motocicleta en función de la velocidad deseada por el motorista y de la distancia respecto al vehículo que le precede.

Esta función de regulación se lleva a cabo actuando sobre el sistema motriz y sobre el sistema de frenado, si es necesario. En el caso de circulación en curva, el sistema actúa en combinación con el sistema de control de estabilidad, si está embarcado.

Toda la responsabilidad está en manos del conductor quien puede intervenir en todo momento, tanto sobre la función de aceleración como de frenado. Este dispositivo responde a los vehículos en movimiento.

Componentes del sistema:

- Sensor de radar delantero.
- Sensores del sistema motriz.
- Sensores y actuadores del sistema de frenado.
- Unidad de control.
- Sistema HMI (Human Machine Interface).

La siguiente figura muestra un radar de medio alcance (MRR) del fabricante Bosch.



Indicadores de efectividad

Normativa

[83] Norma ISO 15622:2018

Obligatorio

- Uso no obligatorio.

Disponibilidad

- OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Sistema asistente de velocidad inteligente (ISA)

Función

Informar al motorista de la velocidad adecuada en función de las condiciones de la vía, proporcionándole información específica y adecuada. Estos sistemas pueden informar, alertar y/o disuadir al conductor con el objeto de que éste no exceda el límite de velocidad local ni cualquier otro límite de velocidad deseado.

En función del grado de intervención sobre los sistemas del vehículo, se han propuesto tres tipos de sistemas ISA:

- Sistemas informativos: proporcionan información sobre velocidad al conductor mediante un dispositivo óptico y/o acústico.
- Sistemas de alerta: añaden a los sistemas informativos una función adicional de alerta, normalmente basada en el endurecimiento del mando del acelerador.
- Sistemas de intervención: esta configuración de sistema, además de informar, actúa sobre la inyección de combustible para evitar que se sobrepase la velocidad límite.

Componentes del sistema:

- Sistema de posicionamiento por satélite
- Mapa digital embarcado de la carretera.
- Videocámara de reconocimiento de señales.
- Sistema HMI (Human Machine Interface): dispositivo óptico/acústico para la comunicación con el conductor.
- Mando de acelerador activo.
- Algoritmo de control de velocidad.

Indicadores de efectividad

[19] En el estudio en profundidad de 921 casos (proyecto MAIDS) se concluyó que el 21% de las motocicletas accidentadas circulaban a una velocidad diferente a la del flujo de tráfico, y esta diferencia fue relevante para la ocurrencia del siniestro.

[25] A.P.Morris et al. estudiaron una muestra de 385 accidentes con implicación de ciclomotores y motocicletas (proyecto SAFERWHEELS) y concluyeron que el exceso de velocidad respecto a la del flujo de tráfico y las condiciones del medio fue el principal factor desencadenante del accidente en el 22% de los siniestros.

[43] El Committee for Guidance on Setting and Enforcing Speed Limits (TRB) concluyó que el exceso de velocidad contribuye al 30% de los accidentes mortales.

[44] y [45] Elvik y Nilsson concluyeron que una disminución del 1% en la velocidad promedio inducía una reducción del 2% en el número de accidentes con víctimas, una disminución del 3% en el número de accidentes con heridos graves y una reducción del 4% en el número de accidentes mortales. Y un incremento del 5% en la velocidad media provocaba un aumento del 20% en el número de accidentes mortales.

[46] D. Otte analizó una muestra de 238 accidentes procedentes de la base GIDAS y concluyó que hay una relación de dependencia entre las lesiones muy graves y el incremento de la velocidad; no obstante, la influencia de dicha velocidad estaba muy condicionada por la configuración de la colisión, dándose el caso de lesionados graves a velocidades medias.

[47] La OMS concluyó que en los países de ingresos altos la velocidad contribuye a aproximadamente la tercera parte de las defunciones causadas por el tráfico. En los países de ingresos bajos y medianos se calcula que la contribución de la velocidad se acerca más a la mitad de todas las muertes causadas por el tráfico. En este documento se señala también que la velocidad es un factor que contribuye a la gravedad de todas las colisiones de tráfico. Un aumento de 1 km/h en la velocidad media de un vehículo provoca un aumento de 4% a 5% en las colisiones mortales.

[48] La OMS incluyó una intervención dirigida a exigir a los fabricantes de automóviles que introduzcan nuevas tecnologías, como sistemas de adaptación inteligente de la velocidad, para ayudar a los conductores a respetar los límites de velocidad.

[49] O. Carsten, F. Tate y R. Liu (proyecto PROSPER) estimaron que en un escenario con sistemas ISA voluntarios, podrían alcanzarse reducciones del número de fallecidos entre el 19% y el 28; y en el caso de un escenario con sistemas ISA obligatorios, la disminución de fallecidos en accidentes de tráfico oscilaría entre el 26% y el 50.

[50] F. Lai, O. Carsten y F. Tate (proyecto UK Intelligent Speed Adaptation) concluyeron que en un escenario de exigencia normativa estos sistemas posibilitarían la reducción del 30% de los accidentes mortales y el 25% de los accidentes con heridos graves, a lo largo de un período de 60 años.

Normativa [6] Reglamento N° 2019/2144 (a partir del año 2022). No aplica a categoría L

Obligatorio • Uso no obligatorio.

Disponibilidad • OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Sistemas de ayuda al cambio de carril (LCDAS)

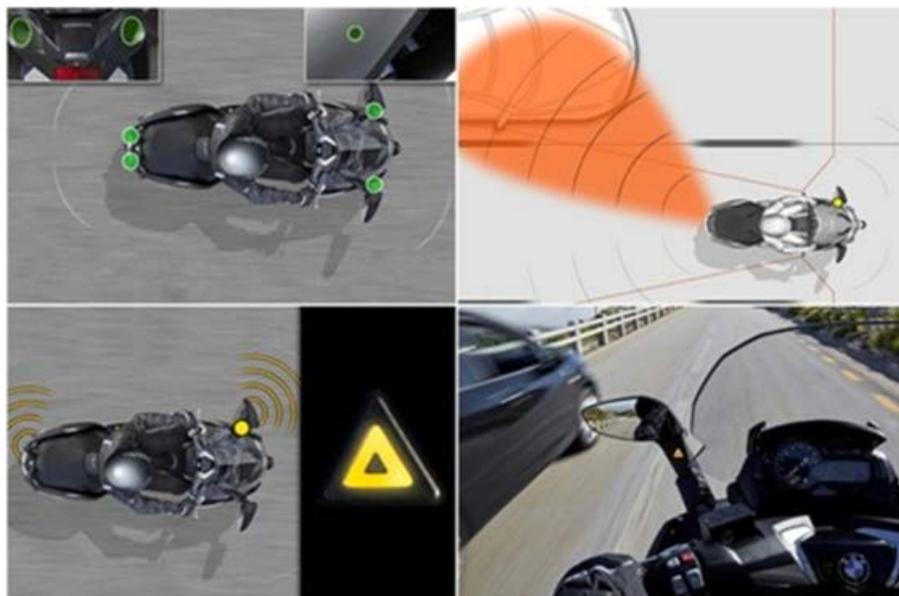
Alertar al motorista de posibles colisiones con vehículos que se encuentran en el lateral y/o en la parte posterior de la motocicleta y que se mueven en la misma dirección, durante la ejecución de maniobras de cambio de carril.

Componentes del sistema:

- Sensores de proximidad, basados en tecnología de ultrasonidos o radar de corto alcance (SRR).
- Sistema HMI (Human Machine Interface).

La siguiente figura muestra el sistema asistente de visión lateral SVA de BMW Motorrad.

Función



Indicadores de efectividad

Normativa [84] Norma ISO 17387:2008

Obligatorio • Uso no obligatorio.

Disponibilidad • OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Detector de ángulo muerto (BSD)

Alertar al motorista de posibles colisiones con vehículos que se encuentran en el ángulo muerto, durante la ejecución de maniobras de cambio de carril.

Componentes del sistema:

- Sensores de proximidad. El sistema dispone de un radar de corto alcance SRR, que permiten la detección de vehículos en la parte trasera y en el lateral de la motocicleta.
- Sistema HMI (Human Machine Interface). Cuando otro vehículo penetra dentro del radio de detección del sistema se enciende una luz de advertencia en el espejo del lado correspondiente del vehículo.

La siguiente figura muestra el detector de ángulo muerto (BSD) de Continental.

Función



Indicadores de efectividad	
Normativa	[84] Norma ISO 17387:2008
Obligatorio	<ul style="list-style-type: none"> • Uso no obligatorio.
Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • OEM



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Suspensión electrónica (ESA)

Mejorar la estabilidad de la motocicleta y la comodidad de sus ocupantes, optimizando el contacto entre los neumáticos y la calzada, mediante la regulación electrónica de la precarga del elemento elástico y del coeficiente de amortiguamiento del elemento amortiguador de la suspensión.

Componentes del sistema:

- Sensor de recorrido del amortiguador trasero.
- Acelerómetros, ubicados en distintas posiciones de la motocicleta.
- Unidad IMU (Inertial Measurement Unit).
- Unidad de control.
- Válvulas de regulación de los amortiguadores, que permiten la adaptación dinámica de los coeficientes de amortiguamiento en las ruedas trasera y delantera.
- Actuador de ajuste de precarga.

Función

La siguiente figura muestra el sistema de suspensión electrónica Dynamic ESA de BMW Motorrad.



Los sistemas actuales de suspensión electrónica pueden actuar conjuntamente con el sistema de frenado antibloqueo ABS y con el sistema de control de estabilidad MSC.

Indicadores de efectividad	
Normativa	
Obligatorio	<ul style="list-style-type: none"> • Uso no obligatorio.
Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN SECUNDARIA

Airbag

Retener al motorista en colisiones frontales.

Componentes del sistema:

- Módulo de airbag.
- Sensores de impacto.
- Unidad de control electrónico.
- Disparador.

La siguiente figura muestra el sistema airbag de la motocicleta Honda Gold Wing.

Función



Indicadores de efectividad

[54] J. Happian-Smith y B. P. Chinn llevaron a cabo ensayos de validación de modelos matemáticos de funcionamiento de airbags en motocicletas. Dichos autores concluyeron que airbags de 100 litros de capacidad montados sobre el depósito de combustible resultaban adecuados para la retención de un motorista en una colisión frontal hasta 48 km/h.

Normativa

Obligatorio

- Uso no obligatorio.

Disponibilidad

- OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN TERCIARIA

Sistema eCall

Función

Realizar una llamada automática de emergencia al número único en Europa 112 en caso de accidente grave, y enviar la localización del vehículo para facilitar la intervención de los servicios de emergencia.

Este dispositivo cuenta con un algoritmo de detección de accidentes. Recientemente se han incorporado algunos dispositivos eCall en motocicletas que estiman la caída del vehículo empleando los sensores del sistema de control de estabilidad. Éstos miden la aceleración y la velocidad angular, detectando el movimiento y la inclinación gracias a un algoritmo de choque embarcado en la unidad de control.

La activación puede ser también manual.

Cuando se activa la detección el sistema, éste contacta automáticamente con un PSAP (Public Safety Answering Point) a través del protocolo MSD (Minimum Set of Data). El punto PSAP gestiona los servicios de emergencia requeridos.

218

Indicadores de efectividad

Normativa

Norma EN 15722

Norma EN 16062

Norma EN 16072

Obligatorio

- Uso no obligatorio.

Disponibilidad

- OEM



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRIMARIA

Elementos de visibilidad de casco y ropa de protección

Contribuir a mejorar la visibilidad de la motocicleta por otros usuarios de la vía, en función del color y siendo el soporte de pegatinas de alta visibilidad o de equipos reflectantes.

Figura de marcas reflectantes de 3M Technology™ sobre casco Shark Spartan.

Función



Indicadores de efectividad

[55] Bogerd C.P et al., en el marco de la Acción COST 357, evaluaron la influencia del casco en relación con las condiciones térmicas, acústicas y de visibilidad del motorista. Concluyeron que el principal factor de falta de confort fue el ruido del casco, registrado en más del 30% de los casos.

[56] S. Wells et al. analizaron 463 motoristas accidentados y 1233 motoristas no accidentados, ocurridos en Nueva Zelanda. Motoristas que hacían uso de algún elemento reflectante en la ropa de protección presentaron un riesgo de lesión en accidente un 37% inferior a aquellos que no llevaban ningún dispositivo reflectante en la ropa. Motoristas que hacían uso de un casco blanco presentaron un riesgo de lesión un 24% inferior a aquellos que usaban uno de color negro. Los accidentes evaluados fueron mayoritariamente urbanos.

[57] Pnina Gershon et al. realizaron un estudio experimental en laboratorio para evaluar la influencia de la visibilidad de las motocicletas sobre la capacidad de ser detectadas. Concluyeron que el uso de chaleco reflectante y casco con colores brillantes fue efectivo en la mejora de la identificación de motocicletas a larga distancia en entornos urbanos, con gran complejidad de colores en el flujo de tráfico.

Normativa

[4] Reglamento CEPE/ONU 22R05 (revisión 05 vigente)

[13] Reglamento CEPE/ONU 22R06 (revisión 06 vigente a partir de 2023)

[92] Norma UNE-EN 17092-2

Obligatorio

- Uso no obligatorio en España.
- Uso obligatorio en algún país, como Francia.



SISTEMAS DE PROTECCIÓN SECUNDARIA

Casco

Minimizar las lesiones en las distintas zonas de la cabeza en caso de accidente.

Partes del casco:

- Calota exterior:
- Calota interior:
- Acolchado interior:
- Sistema de retención.
- Visera.
- Pantalla.
- Mentonera.
- Sistemas de ventilación y refrigeración.

Forro/acolchado interior
(relleno de contacto con la cabeza)
22R05/22R06

Calota exterior (casquete)
22R05/22R06

Calota interior
(relleno de protección)
22R05/22R06

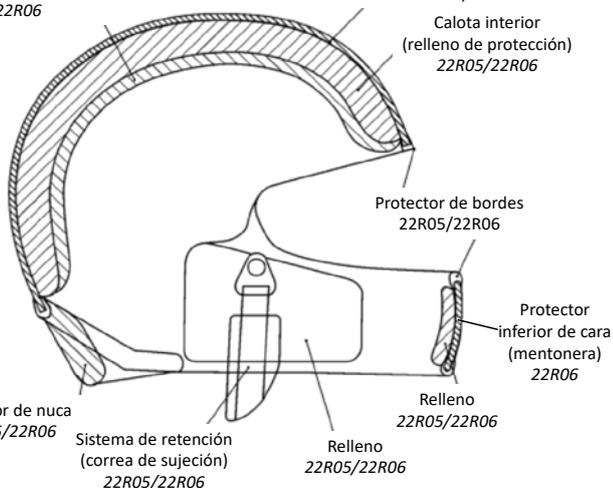
Protector de bordes
22R05/22R06

Protector inferior de cara
(mentonera)
22R06

Protector de nuca
22R05/22R06

Sistema de retención
(correa de sujeción)
22R05/22R06

Relleno
22R05/22R06



Función

Clasificación comercial:

- Casco Retro/Classic.
- Casco Jet.
- Casco Integral.
- Casco Abatible.
- Casco Off-Road.
- Casco Off-Road.
- Casco Off-Road.
- Casco Trail.
- Casco Dual.

Clasificación según Reglamento CEPE/ONU 22R05 ([4]):

- Homologación "J" Jet.
- Homologación "NP" Jet.
- Homologación "P" o integrales (Full face).
- Homologación "P/J".

Otros dispositivos:

- MIPS (Multi-directional Impact Protection System). sistema de protección contra impactos multidireccionales
- Neck Brace (protector de cuello). Limita la hiperextensión del mismo hacia delante o hacia atrás, o la compresión.

[58] Moskal et al. concluyeron que cuando no se hace uso de dicho casco, la probabilidad de ocurrencia de lesiones en la cabeza y cara es 2.4 veces y 3.0 veces superior al caso de uso de casco, respectivamente, en la muestra analizada.

[59] J. König et al. llevaron a cabo un análisis de los accidentes con implicación de motocicletas (proyecto APROSYS (Advanced Protection Systems) concluyendo que, para velocidades de ocurrencia inferiores a 35 km/h, el uso del casco fue totalmente efectivo para la prevención de las lesiones graves en la cabeza ($AIS \geq 3$).

[62] B. Chinn et al. analizaron una base de 253 accidentes con implicación de motocicletas (proyecto COST 327) y concluyeron que un incremento del 30% en la capacidad de absorción de energía del casco reduciría un 50% de las lesiones críticas con $AIS 5/6$, que pasarían a lesiones moderadas con $AIS 1/2$. Este es uno de los objetivos de la próxima revisión 06 del Reglamento CEPE/ONU 22R05, en el que se incluyen nuevos ensayos con mayor energía de impacto. También determinaron que al considerar lesiones en la cabeza con $AIS \geq 2$, el 60% fueron causadas por movimientos rotacionales. Un ensayo específico de rotación ha sido asimismo incorporado en dicha revisión 06 del Reglamento. En relación con las lesiones en el cuello, concluyeron que las lesiones graves en el mismo estaban directamente asociadas con lesiones críticas en la cabeza; dispositivos con el Neck Brace podría ser de utilidad en estos casos.

[63] Liu et al. realizaron un meta-análisis de 61 publicaciones científicas sobre los efectos del uso del casco por los usuarios de vehículos de dos ruedas. A pesar de la heterogeneidad de resultados concluyeron que:

- Cuando se hace uso del casco el riesgo de fallecimiento se reduce en un 42%.
- Cuando se hace uso del casco el riesgo de ocurrencia de lesiones en la cabeza se reduce en un 69%.
- No se han encontrado evidencias concluyentes en relación con el efecto del uso del casco sobre el riesgo de ocurrencia de lesiones en cara o cuello.

[64] Elvik et al. concluyeron que la probabilidad de resultar herido en un accidente siendo motorista se reducía en un 25% con el uso del casco, resultando una relación beneficio-coste con el uso de dicho casco favorable de 17.2. Además, si se tenían en cuenta únicamente lesiones en la cabeza, el uso del casco las disminuiría en: un 44% en el caso de motoristas fallecidos, y en un 49% en el caso de heridos graves.

Indicadores de efectividad

[65] El World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations realizó un estudio en relación con el efecto del uso del casco sobre la seguridad de los usuarios de motocicletas a nivel mundial. Concluyeron que únicamente en 2020, podrían evitarse entre 122000 y 250000 fallecidos y entre 1.6 y 5 millones de heridos graves, mediante el uso de un casco adecuado; y en el período 2008 – 2020 se evitarían un número promedio de 1.4 millones de usuarios de motocicletas fallecidos.

[66] Emily Bliven et al. realizaron ensayos de impacto oblicuo para evaluar la influencia del dispositivo MIPS. Los resultados mostraron que el dispositivo MIPS posibilitaba una reducción, en el ensayo a baja velocidad y ángulo de 60°, del: 44% de la aceleración rotacional; 67% de la velocidad de rotación; y 91% de la probabilidad de lesión AIS 2 en cabeza.

Normativa	[12] Reglamento General de Circulación [4] Reglamento CEPE/ONU 22R05 (revisión 05 vigente) [13] Reglamento CEPE/ONU 22R06 (revisión 06 vigente a partir de 2023)
Obligatorio	<ul style="list-style-type: none">• Uso obligatorio.



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN SECUNDARIA

Chaquetas y pantalones

Función

Aportar cierta protección frente a las condiciones ambientales de viento, agua y frío; y frente a lesiones en caso de accidente. Se pretende además que no entorpezcan el control del vehículo por el motorista.

Clasificación comercial de las chaquetas:

- Chaqueta de moto Turismo o Touring.
- Chaqueta de moto Aventura o Trail.
- Chaqueta de moto Deportiva o Sport.
- Chaqueta de moto Roadster.
- Chaqueta de moto Offroad.
- Chaqueta de moto Urbana.
- Chaqueta de moto Custom o Clásicas.
- Chaqueta de moto de Verano.

Clasificación comercial de los pantalones:

- Pantalón de moto de cordura.
- Pantalón de moto de cuero.
- Pantalón de moto vaquero.
- Pantalón de moto Offroad.

Indicadores de efectividad

[67] E. Schuller et al. realizaron un estudio prospectivo de accidentes con implicación de motocicletas en Alemania. La metodología se basó en el análisis de 67 motoristas accidentados, con el objetivo de evaluar el tratamiento médico requerido, así como las secuelas de dichos accidentes. Los autores concluyeron que los motoristas que hacían uso de ropa de protección, en comparación con los que no hacían uso de dicha ropa, presentaron: un período de permanencia en el hospital 15 días inferior; un período de baja laboral 45 días inferior; y una incidencia de lesiones permanentes un 60% menor.

[59] J. König et al. llevaron a cabo un análisis de los accidentes con implicación de motocicletas (proyecto APROSYS), evaluando las lesiones y sus mecanismos de generación, en función de la velocidad de colisión. Los resultados mostraron que el uso de ropa de protección fue efectivo para la reducción del número y de la gravedad de las lesiones en la columna, independientemente de la velocidad de colisión.

Indicadores de efectividad

[64] Elvik et al. concluyeron que la probabilidad de resultar herido en un accidente siendo motorista se reducía en un 30% con el uso de ropa de protección. Además, el uso de chaquetas y pantalones podía disminuir las lesiones en extremidades superiores e inferiores en un 33%.

[68] L. de Rome et al. llevaron a cabo un estudio observacional de corte transversal sobre una muestra de 212 motoristas accidentados en Australia. Los autores concluyeron que: el uso de chaquetas con protectores redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en la zona superior del tronco en un 23%, respecto al caso de no uso de chaqueta de protección; y el uso de pantalones con protectores redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en las extremidades inferiores en un 39%, respecto al caso de no uso de pantalones de protección.

Si se excluían las lesiones por magulladuras leves: las chaquetas con protectores redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en la zona superior del tronco en un 33 %, y redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en dicha zona en un 63%; los pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en la zona inferior del tronco en un 34%, y redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en dicha zona en un 59%; y dichos pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en las extremidades inferiores en un 47%, y redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en dicha zona en un 91%.

[69] L. de Rome et al., en un estudio posterior; analizaron la distribución de lesiones en motoristas implicados en accidentes de tráfico, según las cuatro zonas de riesgo identificadas en la norma UNE-EN 13595. Para ello fueron clasificados las lesiones y los daños en la ropa de protección de 117 motoristas implicados en accidentes. El riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión en zonas desprotegidas fue 2.69 veces superior respecto a las zonas protegidas. En el caso de heridas abiertas, el riesgo fue 3.34 veces mayor; y 1.45 veces superior en el caso de contusiones o quemaduras. En la Zona 1, el riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión fue 10.86 veces superior en el caso de no uso de ropa de protección, en comparación con el uso de ropa con protectores; y dicho riesgo, en el caso de heridas abiertas en dicha zona, fue 5.38 superior en el caso de no uso de ropa de protección.

En la Zona 2, el riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión fue 2.19 veces superior en el caso de no uso de ropa de protección, en comparación con el uso de ropa de protección; y dicho riesgo, en el caso de heridas abiertas en dicha zona, fue 2.20 superior en el caso de no uso de ropa de protección.

[3] Reglamento (UE) 2016/425

[85] Norma UNE-EN 13595-1:2002

[86] Norma UNE-EN 13595-2:2002

[87] Norma UNE-EN 13595-3:2002

[88] Norma UNE-EN 13595-4:2002

Normativa

[91] Norma UNE-EN 17092-1:2020 (a partir de 1 de marzo de 2023)

[92] Norma UNE-EN 17092-2:2020 (a partir de 1 de marzo de 2023)

[93] Norma UNE-EN 17092-3:2020 (a partir de 1 de marzo de 2023)

[94] Norma UNE-EN 17092-4:2020 (a partir de 1 de marzo de 2023)

[95] Norma UNE-EN 17092-5:2020 (a partir de 1 de marzo de 2023)

[96] Norma UNE-EN 17092-6:2020 (a partir de 1 de marzo de 2023)

Obligatorio

- Uso no obligatorio.
-



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN SECUNDARIA

Protectores

Dispositivos contruidos con materiales para la absorción de la energía y/o difusión del impacto, diseñados para ofrecer cierta protección en distintas zonas de impacto potencial del cuerpo del ocupante de la motocicleta en caso de accidente. Se instalan en la ropa del motorista o de manera independiente.

Según la zona del cuerpo a la que aplican, se distinguen tres tipos de protectores:

- Protectores contra impactos en las articulaciones para motociclistas. Se pueden clasificar como sigue:
 - a) hombro: protector "S";
 - b) codo y antebrazo: protector "E";
 - c) cadera: protector "H";
 - d) rodilla y zona superior de la tibia: protector "K";
 - e) rodilla, y zonas superior y media de la tibia: protector "K + L";
 - f) zona de la pierna bajo el protector "K": protector "L".

Se identifica dos niveles de rendimiento:

- o Nivel 1: nivel mínimo requerido para que el protector aporte una protección útil en un accidente, y confiere al protector un nivel óptimo de comodidad apto para todo tipo de conducción.
- o Nivel 2: ofrece un mayor rendimiento que el nivel 1. El nivel 2 puede tener una mayor desventaja de peso y comodidad.
- Protectores de espalda para motociclistas. Se definen dos niveles de rendimiento (nivel 1 y nivel 2), en función de la fuerza transmitida en el ensayo de atenuación de impactos. Según la zona de la espalda a la que protege, se distinguen tres categorías de protector:
 - o FB: protector de espalda integral. Cubre toda la espalda, protegiendo desde las cervicales hasta casi la zona del coxis.
 - o CB: protector de espalda central.
 - o LB: protector de espalda inferior.
- Protectores de pecho para motociclistas. Se identifican dos niveles de protección:
 - o Nivel 1: fabricados con material blando, que aportan atenuación del impacto, pero no distribución del impacto.
 - o Nivel 2: fabricados con un material más rígido, que aportan atenuación del impacto y distribución del impacto.

Indicadores de efectividad

[68] L. de Rome et al. llevaron a cabo un estudio observacional de corte transversal sobre una muestra de 212 motoristas accidentados, ocurridos dentro del Australian Capital Territory (ACT), realizando entrevistas a todos ellos tras el siniestro. La mayoría de los implicados tuvo lesiones menores (74% con lesiones AIS 1). Estos autores concluyeron que, si se excluían las lesiones por magulladuras leves: las chaquetas con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en la zona superior del tronco en un 5%, respecto al caso de uso de chaqueta sin protectores; los pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en la zona inferior del tronco en un 21%, respecto al caso de uso de pantalones sin protectores; y dichos pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en las extremidades inferiores en un 54%, respecto al caso de uso de pantalones sin protectores.

[69] L. de Rome et al., en un estudio posterior, analizaron las lesiones en motoristas implicados en accidentes de tráfico, según las cuatro zonas de riesgo identificadas en la norma UNE-EN 13595. Para ello fueron clasificadas las lesiones y los daños en la ropa de protección de 117 motoristas implicados en accidentes mediante la definición de tres niveles de protección: uso de ropa con protectores; uso de ropa sin protectores; y no uso de ropa de protección. Los resultados mostraron que el riesgo de ocurrencia de heridas abiertas en Zona I fue 2.5 veces superior en el caso de uso de ropa sin protectores, en comparación con el uso de ropa con protectores; en el caso de contusiones en esta zona, el riesgo fue 2.27 veces superior en el caso de uso de ropa sin protectores.

[70] M. Giustini et al. realizaron un estudio observacional de corte transversal en Italia con el objetivo de evaluar la efectividad de los protectores de espalda en relación con la reducción del número y gravedad de las lesiones en la columna, recogiendo información de 2319 motoristas implicados en accidentes de tráfico. Durante el estudio fueron considerados tres niveles de protección: sistemas de alta protección, incluyendo protectores rígidos y/o airbag de motorista; sistemas de baja protección, en caso de uso de ropa de protección sin protectores; y sin protección, cuando no se utilizaba ninguno de los sistemas precedentes. Los resultados mostraron que el riesgo de ocurrencia de lesiones en la columna fue 2.7 veces superior en el caso de uso de sistemas de baja protección/sin protección, en comparación con el uso de sistemas de alta protección.

Normativa

- [3] Reglamento (UE) 2016/425
- [98] Norma UNE-EN 1621-1:2013
- [99] Norma UNE-EN 1621-2:2014
- [100] Norma UNE-EN 1621-3:2021

Obligatorio

- Uso no obligatorio.



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN SECUNDARIA

Guantes

<p>Función</p>	<p>Aportar protección frente a las condiciones ambientales, sin reducir la habilidad del usuario para manejar los controles e interruptores de la motocicleta. Además, los guantes están concebidos para proporcionar protección mecánica a las manos y muñecas en caso de accidente.</p> <p>Tipos de guantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Según el clima: de invierno, de verano y de entretiempo. • Según el entorno donde se utilicen: urbanos, Racing y Off-road. • Según el material de elaboración: de piel y sintéticos.
<p>Indicadores de efectividad</p>	<p>[19] En el estudio en profundidad de 921 ciclomotores y motocicletas accidentados llevado a cabo en MAIDS se concluyó que el uso de los guantes en los motoristas redujo o evitó las lesiones con AIS I en las manos en un 44%; y un 25% en el caso de los pasajeros.</p> <p>[64] Elvik et al. concluyeron que el uso de guantes podría reducir en un 50% las lesiones en las manos como consecuencia de un accidente.</p> <p>[67] L. de Rome et al. llevaron a cabo un estudio observacional en una muestra de 212 motoristas accidentados. Concluyeron que el uso de guantes de protección reforzados redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en las manos y las muñecas en un 45%, respecto al caso de no uso de guantes. Y si se excluían las lesiones por magulladuras leves: los guantes de protección reforzados redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en manos/muñecas en un 62%, y los guantes no reforzados las redujeron en un 40%; asimismo, los guantes reforzados redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en manos/muñecas en un 73%, y los guantes no reforzados las redujeron en un 70%.</p>
<p>Normativa</p>	<p>[3] Reglamento (UE) 2016/425</p> <p>[103] Norma UNE EN 13594:2015</p> <p>[104] Norma UNE EN 511:2006</p>
<p>Obligatorio</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso no obligatorio.



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN SECUNDARIA

Botas

Proporcionar al pie, y opcionalmente al tobillo y/o parte de la espinilla, cierto grado de protección mecánica en los accidentes, sin reducir excesivamente la capacidad del conductor para controlar la motocicleta y manejar los mandos accionados con los pies

Clasificación comercial de las botas:

Función

- Botas Touring.
- Botas Deportivas.
- Botas Clásicas o Custom.
- Botas Offroad.
- Botas de Trail.
- Botas Urbanas.

Indicadores de efectividad

[64] Elvik et al. concluyeron que el uso de botas de protección podría reducir en un 33% las lesiones en los pies como consecuencia de un accidente.

[68] L. de Rome et al. llevaron a cabo un estudio observacional de corte transversal sobre una muestra de 212 motoristas accidentados y concluyeron que el uso de botas de motorista reforzadas redujo el riesgo de ocurrencia de todo tipo de lesiones en pies y tobillos en un 45%, respecto al caso de uso de calzado convencional.

Normativa

- [3] Reglamento (UE) 2016/425
[107] Norma UNE EN 13634:2017

Obligatorio

- Uso no obligatorio.



SISTEMAS DE SEGURIDAD DE MOTOCICLETA



SISTEMAS DE PROTECCIÓN SECUNDARIA

Airbag

Función

Reducir la gravedad de las lesiones en caso de accidente de la motocicleta, protegiendo fundamentalmente las regiones corporales de tórax y columna.

Componentes del sistema:

- Módulo de airbag.
- Sensores de impacto. Únicamente en dispositivos con disparador comunicado inalámbricamente con sensores de impacto.
- Unidad de control electrónico. No está presente en airbags de activación mecánica.
- Disparador. Puede ser accionado: mecánicamente mediante correa, o de manera electrónica desde una señal generada por la unidad de control.

Clasificación según el método de activación del disparador:

- Disparador del airbag conectado al chasis de la motocicleta con una correa de unión.
- Disparador del airbag comunicado inalámbricamente con sensores de impacto, localizados en la zona delantera de la motocicleta.
- Disparador de airbag autónomo incorporado en la chaqueta o chaleco.

[71] T. Serre et al. llevaron a cabo un estudio para estimar el nivel de protección proporcionado por los airbags de chaqueta de motorista en lesiones de tórax. Los autores concluyeron que, tanto desde el punto de vista de los accidentes reales como desde los resultados de los ensayos en laboratorio, los airbags analizados protegieron convenientemente el tórax de los motoristas hasta velocidades de 40 km/h, que fue el límite considerado en esta investigación.

Indicadores de efectividad

[72] A. Molinero et al. (proyecto MOSAFIM) realizaron un análisis de accidentes en profundidad con implicación de motocicletas y concluyeron que el tórax es la región corporal que presenta el valor máximo de AIS más frecuentemente, en el caso de los accidentes con fallecidos y herido graves. Las lesiones torácicas suelen tener un MAIS ≥ 3 y son las principales causas de fallecimiento tras las lesiones en la cabeza; y un 30% de dichas lesiones torácicas tienen un MAIS ≥ 4 . Debido a ello, el airbag de motorista presenta un gran potencial para incrementar el índice de supervivencia de los mismos.

Indicadores de efectividad	<p>[73] Lionel Thollon et al. realizaron una investigación basada en la modelización matemática de motoristas con y sin airbag de chaleco y concluyeron que el dispositivo airbag redujo significativamente la deflexión del esternón y la gravedad de los daños, desde lesiones AIS 5 sin airbag hasta lesiones AIS 2 en el caso de uso del sistema de seguridad pasiva descrito.</p> <p>[74] El departamento de Seguridad Vial del RACE realizó un estudio para evaluar la eficiencia de distintos dispositivos de seguridad pasiva del motorista, y entre ellos el airbag, mediante ensayos de carga torácica y de carga sobre la espalda del maniquí de ensayo. Los autores concluyeron que, mediante el uso del airbag en el maniquí, el nivel de carga sobre la espalda descendía hasta un 80%, y la deformación torácica se reducía en casi un 25%.</p>
Normativa	[111] Norma UNE-EN 1621-4:2013
Obligatorio	<ul style="list-style-type: none">• Uso no obligatorio.

8

Conclusiones

- El presente informe ha comenzado con el análisis de los sistemas de seguridad embarcados en las motocicletas. La gran mayoría de estos sistemas actúan durante la etapa de seguridad primaria o activa. Incluyen tanto los dispositivos que pueden evitar situaciones de emergencia (sistemas de control de la presión del neumático, de frenado combinado, de control adaptativo de velocidad, asistentes de velocidad inteligente, o de ayuda al cambio de carril), como aquellos que ayudan activamente al conductor a gestionar dichas situaciones de emergencia para que no se produzca un accidente (sistemas de frenado antibloqueo en recta y en curva, de control de tracción, o de control de estabilidad). A éstos también se añaden algún sistema de seguridad secundaria (airbag), y de seguridad terciaria (sistema eCall). Los requisitos administrativos y técnicos para la homologación de tipo de los vehículos de categoría L y que están destinados a circular en vías públicas, están contenidos en el Reglamento (UE) N° 168/2013. No obstante, algunos de los sistemas embarcados en estos vehículos no están incluidos en dicho reglamento.
- Por otro lado, la gran parte de los sistemas de seguridad del motorista intervienen durante la etapa de seguridad secundaria o pasiva, con el objetivo de reducir las consecuencias del accidente una vez que éste ha ocurrido. Son casco, chaqueta y pantalón, guantes, botas, protectores en articulaciones, espalda y pecho, o airbag. Algunos de estos sistemas también contribuyen a la seguridad primaria, mediante la mejora de la visibilidad del motorista. Los requisitos para la homologación de la ropa de protección utilizada por los motoristas están incluidos en el Reglamento (UE) 2016/425 relativo a los equipos de protección individual, aunque los cascos y pantallas quedan excluidos del mismo ya que cuentan con el suyo propio (Reglamento CEPE/ONU 22R05).
- Posteriormente se ha llevado a cabo un análisis de la efectividad de estos sistemas desde el punto de vista de la reducción de accidentes y de las lesiones de los ocupantes accidentados, a partir de la recopilación de la bibliografía científica disponible. Junto a esto, se han examinado las investigaciones desarrolladas en más de 20 proyectos y consorcios internacionales, ejecutados durante los últimos 25 años. Dicho análisis ha permitido concluir lo mostrado en los siguientes apartados.
- En el caso de los sistemas de la motocicleta incorporados más recientemente no se han encontrado todavía evidencias científicas de dicha efectividad, lo cual no invalida a priori su interés para la disminución de los accidentes.

MOTOCICLETA. SEGURIDAD DE LOS NEUMÁTICOS

- Diversos estudios teórico-experimentales han concluido que la disminución de la presión en los neumáticos de la motocicleta respecto a la nominal empeora las condiciones de estabilidad de la misma. No obstante, habitualmente desaparecen las evidencias posteriores a la colisión acerca de la influencia de la pérdida de presión en los neumáticos como causa de ocurrencia de accidentes de tráfico. Por ello, resulta muy difícil el análisis de la efectividad de los sistemas de control de la presión de los neumáticos (TPMS) en relación con la evitación de dichos accidentes.

A pesar de ello, algunos estudios han concluido que el mal estado de mantenimiento de los neumáticos previo a la colisión constituyó el fallo mecánico causante del accidente más habitual, por lo que el control en tiempo real de su presión constituye una medida de prevención relevante. Adicionalmente, la eficacia de los sistemas electrónicos de ayuda embarcados en las motocicletas (sistemas de frenado antibloqueo, combinado y en curva, o sistema de control de estabilidad) está condicionada en gran medida por el estado de mantenimiento de dichos neumáticos.

- Esta efectividad documentada de los sistemas de control de la presión de los neumáticos, que ha justificado su obligatoriedad de montaje en los vehículos de la categoría M1 (Reglamento (UE) N° 661/2009) en 2012 (nuevos tipos) y en 2014 (nuevas matriculaciones), no aplica actualmente a los vehículos de la categoría L.

MOTOCICLETA. SEGURIDAD DURANTE LA FRENADA

234

- La ejecución de una maniobra de frenado severa con una motocicleta entraña un riesgo mucho más elevado que en un vehículo automóvil. Si alguna de las ruedas deja de girar bruscamente se incrementa el riesgo de inestabilidad y la probabilidad de caída es elevada. Dicha tarea se ve agravada por el hecho de que, en muchas de las motocicletas del mercado, el esfuerzo de frenado transmitido a las ruedas delantera y trasera está desacoplado.

Durante la maniobra de frenado se producen elevadas transferencias dinámicas de carga desde la rueda trasera a la delantera. Dicha rueda trasera se descarga significativamente lo cual eleva considerablemente el riesgo de bloqueo en la misma. Adicionalmente, este riesgo de bloqueo puede incrementarse en el caso de conducción sobre superficies con un coeficiente de adherencia reducido, como es el caso de superficies con agua, arena, aceite o hielo; y especialmente cuando se producen cambios súbitos de dicho coeficiente.

La maniobra de frenado resulta especialmente crítica en el caso de circulación en curva. En este caso, la demanda de adherencia lateral disminuye la fuerza máxima de frenado aplicable, aumentando el riesgo de bloqueo o deslizamiento de los neumáticos. Junto a esto, al disminuir la velocidad se modifica el ángulo de inclinación de equilibrio, que deberá ser corregido por parte del motorista. Además, la motocicleta reduce su capacidad de giro y tiende a desplazarse hacia el exterior de la curva. Este efecto no deseado puede reducirse mediante la aplicación del freno trasero, cuya actuación reduce la transferencia de fuerza vertical y el efecto sobre la geometría de la suspensión.

- Tomando en consideración lo descrito en el punto precedente, existen un conjunto de funciones de seguridad requeridas durante la realización de la maniobra de frenado con motocicletas: evitar el bloqueo de las ruedas; equilibrar los esfuerzos de frenado entre ambas ruedas en cualquier situación de circulación, controlando el despegue de la rueda trasera, y especialmente durante la realización de maniobras de frenado en curva reduciendo el riesgo de caída y de modificación de la trayectoria.
- Existen en el mercado distintas tecnologías embarcadas en las motocicletas de ayuda a la tarea de frenado. Este conjunto de tecnologías se incluye dentro de la denominación “sistemas avanzados de frenado” (Reglamento (UE) N° 168/2013):
 - o Sistemas de frenado antibloqueo ABS convencionales, con uno o dos canales, que detectan y limitan el deslizamiento de una o varias ruedas, respectivamente. Reducen el riesgo de caída del motorista durante la maniobra de frenado y la distancia de dicha maniobra.
 - o Sistemas de frenado combinado CBS, que permiten que cuando se accione únicamente el freno trasero, se envíe al mismo tiempo cierta fuerza de frenado a la rueda delantera. Siendo ésta la configuración más habitual, existen también sistemas duales, en los que se envía también cierta fuerza a la rueda trasera cuando se acciona únicamente el mando de frenado delantero.
 - o Sistemas de frenado antibloqueo en curva Cornering ABS, que mejoran la estabilidad de la motocicleta en maniobras de frenado en curva mediante la adaptación de los esfuerzos de frenado entre ambas ruedas, manteniendo la función básica del sistema ABS convencional de detección del deslizamiento de las ruedas.
- El sistema de frenado antibloqueo ABS ha mostrado su eficacia en ensayos experimentales de frenada en línea recta, tanto en superficies secas como mojadas, reduciendo la distancia de frenado y contribuyendo significativamente a la estabilidad de la motocicleta durante la ejecución de una maniobra de frenado severa. Gracias a este dispositivo antibloqueo un motorista promedio e incluso uno novel con formación previa podrían conseguir valores máximos de deceleración próximos a los alcanzables por uno experimentado, con una mejora significativa de la confianza durante la ejecución de dicha maniobra.

Adicionalmente, numerosos autores han llevado a cabo diversos análisis de la efectividad de este sistema en accidentes reales. A pesar de que los resultados son muy variables, dependiendo del tamaño de las muestras analizadas, configuración de los accidentes o zona de ocurrencia del siniestro, puede definirse un rango de accidentes entre el 20% y el 30% que podrían haberse evitado en caso de que la motocicleta implicada hubiera contado con un sistema de frenado antibloqueo.

- El análisis de efectividad del sistema de frenado combinado CBS se ha realizado habitualmente en combinación con el sistema ABS precedente. Dicho sistema CBS ha mostrado su eficacia en ensayos experimentales de frenada en línea recta, posibilitando una reducción de la distancia media de detención.

Junto a lo anterior, diversas publicaciones científicas han llevado a cabo análisis de la efectividad de este sistema CBS en accidentes reales. Como sucedía en el sistema ABS, los resultados son muy variables, aunque puede definirse un rango de accidentes entre el 8% y el 10% que

podrían haberse evitado en caso de que la motocicleta implicada hubiera tenido embarcado un sistema de frenado combinado CBS.

- La efectividad de los sistemas avanzados de frenado descritos está condicionada por la formación de que disponga el motorista sobre su funcionamiento y utilización. Existe una gran variedad de tecnologías disponibles, y la actuación del motorista debe ser adecuada a cada una de ellas. Debido a ello, es indispensable formar correctamente a los motoristas sobre la técnica de frenado, y específicamente sobre el uso de dichos sistemas avanzados de frenado y sus diferentes tipos. Esto ayudaría notablemente a que dichos conductores tomaran conciencia de los posibles riesgos que pueden encontrarse en la carretera con el fin de evitarlos o controlarlos, y a ejecutar las maniobras de emergencia con la confianza requerida.
- Esta efectividad de los sistemas avanzados de frenado, documentada mediante numerosos estudios científicos, ha justificado la obligatoriedad de montaje de sistemas avanzados de frenado en vehículos de la categoría L3e, la cual se estableció en el Reglamento (UE) N° 168/2013, para cualquier vehículo existente, a partir del 1 de enero de 2017. En relación con los requisitos aplicables al frenado de estos vehículos, deberán cumplir los requisitos contenidos en el Anexo 3 del Reglamento CEPE N° 78. En dicho Reglamento se definen las condiciones y procedimientos de ensayo y los requisitos de eficacia, y consisten en pruebas de frenado en línea recta, definiéndose la eficacia de frenado en términos de distancia de parada máxima, o bien de desaceleración media estabilizada mínima. No obstante, estos ensayos no evalúan el comportamiento de los distintos sistemas de frenado en curva.
- La obligatoriedad de instalación de sistemas avanzados de frenado en la categoría L3e ha ayudado notablemente a la presencia masiva del sistema de frenado antibloqueo ABS en el parque de motocicletas. Este sistema en el año 2019 estuvo disponible en el 24% de la flota de vehículos L3e, 21% como equipo de serie y 3% como equipo opcional. Si la tendencia, iniciada en el año 2016, de incorporación masiva del sistema ABS en la flota de vehículos L3e se mantiene, en el año 2025 aproximadamente el 50% de la flota dispondría de este dispositivo de seguridad; siendo el 48% como equipo de serie.
Dicha tendencia se ve favorecida debido a que en el período 2005 – 2019 la proporción promedio de nuevas matriculaciones de vehículos L3e-A1 ascendió al 52%; estos vehículos han incorporado desde el año 2016 el sistema ABS como equipo de serie en más del 90% de los mismos.

236

MOTOCICLETA. SISTEMA DE CONTROL DE ESTABILIDAD

- Como ha sido descrito en los apartados precedentes, la maniobra de frenado en motocicletas resulta especialmente crítica en el caso de circulación en curva. Existen actualmente en el mercado sistemas de ayuda adicionales a los ya mostrados, como el sistema de frenado antibloqueo en curva. Este sistema se ha incorporado recientemente en la flota de vehículos, no existiendo todavía suficientes estudios científicos que avalen su efectividad en accidentes reales.
- Otro de los sistemas embarcado recientemente es el sistema de control de estabilidad MSC, cuya función consiste en mejorar la estabilidad de la motocicleta en maniobras de frenado y

tracción en curva, manteniendo las funciones básicas del: sistema ABS convencional, de detección del deslizamiento de las ruedas y regulación de la presión en el circuito de frenado para limitar su deslizamiento; del sistema de frenado antibloqueo en curva; y del sistema de control de tracción, de detección del deslizamiento de la rueda trasera de la motocicleta durante la maniobra de aceleración y regulación de la propulsión.

- La efectividad del sistema MSC ha sido analizada por algunos autores, los cuales partieron del resultado de que en los accidentes con fallecidos y heridos graves y con implicación de una única motocicleta, más del 60% se produjo por pérdida de control durante la trazada de una curva. A partir de estos resultados concluyeron que aproximadamente un tercio de los accidentes en Alemania habrían sido evitados con la instalación de un sistema de control de estabilidad y sistema de frenado antibloqueo integrado. Además de esto, considerando únicamente la contribución del sistema MSC podrían haber sido evitados el 5% de los accidentes analizados.

MOTOCICLETA. SISTEMA ASISTENTE DE VELOCIDAD INTELIGENTE

- La velocidad de circulación constituye una de las principales variables de influencia tanto en la ocurrencia de los accidentes como en la gravedad de los mismos. Algunos autores estimaron que una disminución del 1% en la velocidad promedio inducía una reducción del 2% en el número de accidentes con víctimas, una disminución del 3% en el número de accidentes con heridos graves y una reducción del 4% en el número de accidentes mortales.
- Otros estudios mostraron que el exceso de velocidad respecto a la del flujo de tráfico y las condiciones del medio fue el principal factor desencadenante del accidente en más del 20% de siniestros con implicación de motocicletas.
- Algunos autores evaluaron el comportamiento de los sistemas asistentes de velocidad inteligente ISA en motocicletas y su aceptación por parte de los motoristas. Se concluyó que los sistemas eran evaluados positivamente desde el punto de vista de los beneficios para la seguridad, sobre todo el sistema de alerta, y especialmente en el caso de su posible implementación en motocicletas conducidas por conductores noveles. Los sistemas ISA informativos son los que tendrían una mejor aceptación. Algunos de los aspectos pendientes de resolución en relación con estos sistemas tendrían que ver con el diseño del dispositivo HMI.
- Estos sistemas ISA, definidos como dispositivos que ayudan al conductor a mantener la velocidad adecuada al entorno de la vía proporcionándole información específica y adecuada, están incluidos en los requisitos de los Reglamentos (UE) N° 661/2009 y N° 2019/2144 (que derogará al anterior a partir del año 2022), pero no aplican actualmente a las motocicletas.
- En cualquier caso, debe disponerse de la posibilidad de desactivar dicho asistente. Esta función de desactivación debe quedar bajo control del conductor.

MOTORISTA. VISIBILIDAD DE CASCO Y ROPA DE PROTECCIÓN

- El casco constituye uno de los elementos del motorista diseñado para incrementar el confort de éste y, por lo tanto, reducir la fatiga durante la conducción, lo cual constituye un factor clave para la prevención de los accidentes.
- La visibilidad del motorista por otros usuarios de la vía desempeña también un papel muy relevante en la ocurrencia de accidentes con implicación de motocicletas. Algunos estudios concluyeron que el uso de chaleco reflectante y casco con colores brillantes fue efectivo en la mejora de la identificación de las motocicletas a larga distancia en entornos urbanos, reduciendo el riesgo de ocurrencia de accidentes en los motociclistas.
- Esta efectividad ha sido recogida en las especificaciones relativas al marcado de visibilidad de los cascos, contenidas en el Reglamento CEPE/ONU 22R05 (y en el Reglamento CEPE/ONU 22R06, que será efectivo a partir del año 2023). Dicho marcado es de obligado cumplimiento en algunos países, como Francia.
- Asimismo, dichas especificaciones también están contenidas en la norma UNE-EN 17092 (en vigor a partir del 1 de marzo de 2023) aplicable a la ropa de protección, que contempla el uso de material retrorreflectante en la misma, aunque dicho uso es opcional.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR EL CASCO

- La efectividad del casco para la prevención de lesiones ha quedado documentada en diversos estudios en las últimas décadas. Según distintos autores se ha estimado: reducción del riesgo de ocurrencia de lesiones en la cabeza debidas al uso de dicho casco entre un 44% y un 69%; disminución de la probabilidad de resultar herido en un accidente en un 25%; y reducción del riesgo de fallecimiento en un 42%. También se ha concluido que cuando no se hacía uso del casco se incrementaba significativamente el riesgo de ocurrencia de lesiones en la cara (3 veces superior), respecto al caso de uso de casco.
- Otros autores estimaron que un incremento del 30% en la capacidad de absorción de energía del casco reduciría un 50% de las lesiones críticas con AIS 5/6, que pasarían a lesiones moderadas con AIS 1/2. También se determinó que al considerar lesiones en la cabeza con AIS ≥ 2 , el 60% fueron causadas por movimientos rotacionales.
- En relación con dispositivos de seguridad adicionales al casco como es el MIPS (Multi-directional Impact Protection System), algunos autores concluyeron que éste posibilitaba una reducción del 91% de la probabilidad de lesión AIS 2 en cabeza.
- Esta efectividad del casco, documentada mediante numerosos estudios científicos, ha justificado la obligatoriedad de su uso por los ocupantes de las motocicletas, según es recogida por el Reglamento General de Circulación en España. Dichos cascos deben ser homologados actualmente en la Unión Europea conforme al Reglamento CEPE/ONU 22R05, el cual define la zona mínima de protección de la cabeza, la exigencia de un sistema de retención bajo la barbilla, el nivel de protección del mentón proporcionada por el casco, así como un conjunto

de requisitos y ensayos: ensayo de absorción de impacto, ensayo de proyección y fricción de superficie, ensayo de rigidez o ensayo dinámico del sistema de retención.

- Adicionalmente, alguno de los estudios referidos ha mostrado el aumento de la efectividad del casco debido al incremento de su capacidad de absorción de energía, así como la importancia de los movimientos rotacionales de la cabeza como generadores de lesiones. Debido a ello, la revisión del Reglamento CEPE/ONU 22R06, que será efectiva a partir del año 2023, incorpora: puntos adicionales de impacto, ensayos de alta energía y un ensayo de rotación.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR CHAQUETAS Y PANTALONES

239

- La efectividad de la ropa de protección para motoristas (chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas) ha sido evaluada en distintos estudios. Según distintos autores, se ha estimado: una reducción de la incidencia de lesiones permanentes en un 60%; una disminución de la probabilidad de resultar herido en un 30%; una reducción de las lesiones en extremidades superiores e inferiores entre un 33% y un 39%; y una disminución del riesgo de ocurrencia de lesiones en la zona superior del tronco en un 23%.
- Algunos autores evaluaron la efectividad de la ropa de protección según las zonas de riesgo definidas en la norma UNE-EN 13595. Concluyeron que, en el caso de no uso de ropa de protección, el riesgo de ocurrencia de cualquier tipo de lesión fue 11 veces superior en la Zona 1, y 2.2 veces superior en la Zona 2.
- A fecha de realización del presente documento no es obligatorio en España el uso de chaquetas, pantalones o trajes por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, la homologación de dicha ropa de protección del motorista deberá cumplir los requerimientos recogidos en las Norma UNE-EN 17092, la cual anulará y sustituirá, antes del 1 de marzo de 2023, a la Norma UNE-EN 13595 (actualmente en vigor).
- En dichas normas se definen varias categorías de riesgo por regiones corporales, así como niveles de rendimiento o clases de protección. Estos niveles o clases determinan diferentes grados de protección frente al impacto y la abrasión. Los principales requisitos, con especificaciones según categoría y nivel de rendimiento o clase, incluyen fundamentalmente: resistencia al desgarro; absorción de la energía del impacto; resistencia a la abrasión; y resistencia de las costuras. Los métodos de ensayo son similares en ambas normas, aunque con distintas especificaciones.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LOS PROTECTORES

- La efectividad de los protectores ha sido evaluada en distintas investigaciones. Algunos autores concluyeron que las chaquetas con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en la zona superior del tronco en un 5%, respecto al caso de uso de chaqueta sin protectores; los pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en la zona inferior del tronco en un 21%, respecto al caso de uso de pantalones sin pro-

tectores; y dichos pantalones con protectores redujeron el riesgo de lesiones por heridas abiertas en las extremidades inferiores en un 54%, respecto al caso de uso de pantalones sin protectores.

- Otros autores evaluaron la efectividad de los protectores según las zonas de riesgo identificadas en la norma UNE-EN 13595. Concluyeron que: en el caso de uso de ropa sin protectores en Zona I, el riesgo de ocurrencia de heridas abiertas fue 2.5 veces superior y el de contusiones fue 2.3 veces superior; en comparación con el uso de ropa con protectores; y el riesgo de ocurrencia de lesiones en la columna fue 2.7 veces superior en el caso de uso de sistemas de baja protección/sin protección, en comparación con el uso de sistemas de alta protección.
- A fecha de realización del presente documento no es obligatorio en España el uso de protectores por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, la homologación de dichos protectores deberá cumplir los requerimientos recogidos en la Norma UNE-EN 1621.
- Los protectores contra impactos en las articulaciones se clasifican según las siguientes zonas del cuerpo: hombro, protector “S”; codo y antebrazo, protector “E”; cadera, protector “H”; rodilla y zona superior de la tibia, protector “K”; rodilla, y zonas superior y media de la tibia, protector “K + L”; y zona de la pierna bajo el protector “K”, protector “L”. Los protectores de espalda se clasifican como sigue: FB, para el protector de espalda integral; CB, para el protector de espalda central; y LB, para el protector de espalda inferior.
- Los principales requisitos de la citada norma son: inocuidad; dimensiones mínimas de la zona de protección; y atenuación de impactos, incluyendo dos niveles de rendimiento: nivel 1 y nivel 2. En el caso de los protectores de pecho se añade el requisito de distribución del impacto (aplicable únicamente a los protectores de nivel 2).

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LOS GUANTES

- La efectividad de los guantes ha sido evaluada en distintas investigaciones. Algunos autores concluyeron que su uso por los motoristas redujo o evitó las lesiones en las manos entre un 44% y un 50%. Además de esto, los guantes de protección reforzados redujeron el riesgo de lesiones por abrasiones, cortes y laceraciones en manos/muñecas en un 62%, y el riesgo de lesiones por heridas abiertas en manos/muñecas en un 73%.
- A fecha de realización del presente documento no es obligatorio en España el uso de guantes por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, es previsible que la obligatoriedad de uso de dichos guantes se haga efectiva a lo largo del presente año de 2021.
- La homologación de dichos guantes de protección debe cumplir los requerimientos recogidos en la norma UNE EN 13594. Existe un aspecto no contemplado en la citada norma y de gran relevancia para el confort del motorista, como es el comportamiento frente al frío. La norma UNE EN 511 especifica los requisitos y métodos de ensayo para los guantes que protegen contra el frío.

- En la norma UNE EN 13594 se especifican dos niveles de rendimiento: nivel 1 y nivel 2. Los principales requisitos de la citada norma son: inocuidad; componentes rígidos; requisitos ergonómicos; tallaje y longitud de puño; sujeción, en la muñeca o en el puño; resistencia al desgarro; resistencia de las costuras; resistencia al corte; resistencia a la abrasión por impacto; y protección de los nudillos frente a impactos (los requisitos para atenuación de impactos son opcionales para los guantes de nivel 1 y obligatorios para los guantes de nivel 2).

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LAS BOTAS

- La efectividad de las botas ha sido evaluada en distintos estudios. Algunos autores concluyeron que el uso de botas de motorista reforzadas podría reducir entre un 33% y un 45% las lesiones en los pies como consecuencia de un accidente, respecto al caso de uso de calzado convencional.
- A fecha de realización del presente documento no es obligatorio en España el uso de botas por parte de los usuarios de motocicletas. No obstante, la homologación de las botas de protección debe cumplir los requerimientos recogidos en la norma UNE EN 13634.
- Esta norma define 4 propiedades específicas para el calzado para motociclistas con 2 posibles niveles de prestaciones (altura del corte, abrasión por impacto, corte por impacto y rigidez transversal). Para cumplir con esta norma, el calzado para motociclistas debe alcanzar al menos el nivel de prestaciones 1 en las cuatro propiedades.
- Los principales requisitos son: diseño, altura del corte; calzado completo, resistencia de la unión corte/piso e inocuidad; empeines, resistencia al corte por impacto; forros, resistencia al desgarro y resistencia a la abrasión; suelas, espesor y altura del relieve, resistencia a la abrasión y resistencia de la unión entre capas; ergonomía; y construcción de la palmilla.

Se proponen también un conjunto de requisitos opcionales: protección del tobillo y/o parte de la espinilla frente al impacto; resistencia a la penetración de agua; resistencia de la suela a los hidrocarburos; resistencia de la suela al deslizamiento; cortes permeables; y absorción y eliminación de agua de plantillas.

MOTORISTA. PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR EL AIRBAG

- La efectividad del airbag de motorista ha sido evaluada en distintas investigaciones. Algunos autores concluyeron que los airbags analizados protegieron convenientemente el tórax de los motoristas hasta velocidades de 40 km/h. Otros concluyeron que el dispositivo airbag redujo significativamente la deflexión del esternón y la gravedad de los daños, desde lesiones AIS 5 sin airbag hasta lesiones AIS 2 con el uso del dispositivo. Además, el nivel de carga sobre la espalda descendía hasta un 80%, y la deformación torácica se reducía en casi un 25%.

- La mayoría de los dispositivos airbag existentes en el mercado han sido certificados conforme a la norma UNE-EN 1621. No obstante, el campo de aplicación de dicha norma abarca únicamente a los protectores inflables para motociclistas activados mecánicamente.
- La citada norma define dos niveles de rendimiento para los protectores inflables: nivel 1 y nivel 2. Los principales requisitos afectan a: elementos rígidos; evaluación de la exposición a la temperatura; determinación del tiempo de inflado; determinación de la duración del estado inflado; atenuación de impactos; zonas de protección; y sujeción del protector inflable.

9

Recomendaciones

243

- La obligatoriedad de montaje de los sistemas de control de la presión de los neumáticos en los vehículos de la categoría M1 (Reglamento (UE) N° 661/2009) en 2012 (nuevos tipos) y en 2014 (nuevas matriculaciones), debería extenderse a los vehículos de la categoría L, tomando en consideración evidencias de efectividad similares a las que justificaron su aplicación a dicha categoría M1.
- Los requisitos de seguridad funcional aplicables a los sistemas de frenado de los vehículos de las categorías L1e, L2e, L3e, L4e y L5e y contenidos en el Reglamento CEPE N° 78, consisten en pruebas de frenado en línea recta, definiéndose la eficacia de frenado en términos de distancia de parada máxima, o bien de desaceleración media estabilizada mínima. Dado que la maniobra de frenado resulta especialmente crítica en el caso de circulación en curva de estos vehículos, debería evaluarse la idoneidad de incorporar en dicho reglamento requisitos de seguridad funcional adicionales que tengan en cuenta dicha maniobra de frenado en curva, y que posibiliten la evaluación del comportamiento de los sistemas de frenado antibloqueo en curva y de los sistemas de control de estabilidad.
- Numerosos estudios han concluido que la velocidad de circulación constituye una de las principales variables de influencia tanto en la ocurrencia de los accidentes como en la gravedad de los mismos. Los sistemas asistentes de velocidad inteligente ISA, como dispositivos que ayudan al conductor a mantener la velocidad adecuada al entorno de la vía proporcionándole información específica y adecuada, van a ser obligatorios según el Reglamento (UE) N° 2019/2144 (que entrará en vigor en el año 2022), pero no aplican actualmente a las motocicletas. Tomando en consideración la efectividad estimada de estos sistemas de asistencia, debería evaluarse la obligatoriedad de su instalación en las motocicletas.
- La obligatoriedad de uso del casco por los ocupantes de las motocicletas es recogida en España por el Reglamento General de Circulación. Dichos cascos deben ser homologados en la Unión Europea conforme al Reglamento CEPE/ONU 22R05, el cual contiene especificaciones relativas al marcado de visibilidad de los mismos. Considerando el papel relevante de la mejora de la visibilidad del motorista por otros usuarios de la vía como factor clave en la disminución de la ocurrencia de accidentes con implicación de motocicletas, debería evaluarse la obligatoriedad de uso de dicho marcado.
- Es previsible que los nuevos requisitos incorporados en la revisión del Reglamento CEPE/ONU 22R06, que será efectiva a partir del año 2023, incrementen la efectividad del casco en

caso de accidente. Cuando comiencen a introducirse en el mercado cascos homologados conforme a esta revisión del reglamento, deberían promoverse investigaciones adicionales para evaluar dicha efectividad en el caso de accidentes reales con implicación de motocicletas.

- Una parte significativa de las lesiones en el cuello de los ocupantes de las motocicletas accidentadas es debida a cargas indirectas. A pesar de la disponibilidad en el mercado de dispositivos protectores del cuello, no existe ninguna norma cuyos requisitos sean aplicables a estos dispositivos. Debido a la importancia de estas lesiones y aunque serían necesarias más investigaciones en el área de la biomecánica del impacto con objeto de definir criterios de lesión del cuello adecuados, debería promoverse el desarrollo de una norma conteniendo requisitos que regulen dichos elementos de protección.
- Debido a la efectividad de la ropa de protección para motoristas (chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas), de los protectores contra impactos en las articulaciones, de los protectores de espalda y pecho, y de los guantes, documentada mediante numerosos estudios científicos, debería evaluarse la obligatoriedad de su uso por los ocupantes de las motocicletas.
- Por otro lado, y con la excepción de los guantes y botas de protección del motorista, la normativa citada aplicable a la ropa de protección para motoristas no contempla la evaluación de su comportamiento frente a condiciones meteorológicas adversas (agua, viento, altas y bajas temperaturas exteriores). Debido a la importancia de este comportamiento sobre el confort del motorista y, por lo tanto, sobre la reducción de su fatiga durante la conducción como un factor clave para la prevención de los accidentes, debería promoverse la incorporación de estos requisitos en la normativa de homologación aplicable a dicha ropa de protección.
- La efectividad del airbag de motorista ha sido evaluada en distintas investigaciones. La mayoría de los dispositivos airbag existentes en el mercado han sido certificados conforme a la norma UNE-EN 1621, la cual únicamente aplica a los protectores inflables para motociclistas activados mecánicamente. Debido a la disponibilidad tanto de protectores activados inalámbicamente mediante sensores de impacto instalados en la motocicleta, como activados mediante sensores instalados en el propio protector, debería promoverse el desarrollo de nuevos requisitos que regulen dichos elementos de protección.

Madrid, 22 de marzo de 2021

FDO: Francisco Javier Páez Ayuso

10

Referencias

- [1]. Dirección General de Tráfico, "La motocicleta," DGT, 2014 <https://www.coruna.gal/descarga/1453609629318/Guia-para-usuarios-de-motocicletas.pdf>.
- [2]. Unión Europea, "Reglamento (UE) N° 168/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de enero de 2013 relativo a la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos, y a la vigilancia del mercado de dichos vehículos", *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2013 <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2013-80407>.
- [3]. Unión Europea, "Reglamento (UE) N° 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2016 relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo", *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2016 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0425&from=LT>.
- [4]. UNECE Inland Transport Committee, "Regulation CEPE/ONU 22R05. Protective helmets", *New York and Geneva*, 2002 <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r022r4e.pdf>.
- [5]. Unión Europea, "Reglamento (UE) N° 661/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de julio de 2009 relativo a los requisitos de homologación de tipo referentes a la seguridad general de los vehículos de motor, sus remolques y sistemas, componentes y unidades técnicas independientes a ellos destinados", *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2009 <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:200:0001:0024:ES:PDF>.
- [6]. Unión Europea, "Reglamento (UE) N° 2019/2144 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de noviembre de 2019 relativo a los requisitos de homologación de tipo de los vehículos de motor y de sus remolques, así como de los sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a esos vehículos, en lo que respecta a su seguridad general y a la protección de los ocupantes de los vehículos y de los usuarios vulnerables de la vía pública, por el que se modifica el Reglamento (UE) 2018/858 del Parlamento Europeo y del Consejo y se derogan los Reglamentos (CE) N° 78/2009, (CE) N° 79/2009 y (CE) N° 661/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo y los Reglamentos (CE) N° 631/2009, (UE) N° 406/2010, (UE) N° 672/2010, (UE) N° 1003/2010, (UE) N° 1005/2010, (UE) N° 1008/2010, (UE) N° 1009/2010, (UE) N° 19/2011, (UE) N° 109/2011, (UE) N° 458/2011, (UE) N° 65/2012, (UE) N° 130/2012, (UE) N° 347/2012, (UE) N° 351/2012, (UE) N° 1230/2012 y (UE) 2015/166

de la Comisión”, *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2019 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX%3A32019R2144> .

- [7]. Unión Europea, “Directiva 2006/126/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 2006, sobre el permiso de conducción”, *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2006 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0126&from=en> .
- [8]. European Road Safety Observatory, “Vehicle Safety 2018 Report”, *European Commission*, 2018 https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/ersosynthesis2018-vehiclesafety.pdf .
- [9]. Aline Delhay y Laura Marot, “European Scanning Tour for Motorcycle Safety (RIDERSCAN). Final report”, *Federation of European Motorcyclists’ Associations*, 2015 <http://www.fema-online.eu/riderscan/IMG/pdf/riderscanfinalreport.pdf> .
- [10]. Consorcio DaCoTa, “eSafety, Deliverable 4.8”, *project DaCoTA*, 2012 https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/specialist/erso/pdf/safety_issues/post_crash/01-esafety_en.pdf .
- [11]. R. Subburaj, “Hydraulic System for Motor Cycle – A Review”, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2017 <http://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol14-issue1/Version-6/J1401067175.pdf> .
- [12]. Dirección General de Tráfico, “Código de Tráfico y Seguridad Vial. Edición actualizada a 11 de noviembre de 2020”, *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*, 2020 https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/codigo.php?modo=2&id=020_Codigo_de_Trafico_y_Seguridad_Vial .
- [13]. UNECE Inland Transport Committee, “Regulation CEPE/ONU 22R06. Protective helmets”, *New York and Geneva*, 2020 <https://undocs.org/ECE/TRANS/WP.29/2020/60> .
- [14]. CMC, “CMC Basic Specification. Application Specification”, *Connected Motorcycle Consortium*, 2020 https://www.cmc-info.net/uploads/1/2/1/4/121453783/00_-_application_specification_v1.0-preamble.pdf .
- [15]. E. D. Bekiaris, A. Spadoni and S. I. Nikolaou, “SAFERIDER Project: New safety and comfort in Powered Two Wheelers,” *2nd Conference on Human System Interactions*, 2009.
- [16]. eSUM Consortium, “BP5 report. PTW Design and Protective Equipment”, *eSUM project*, 2010 https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects_sources/bp5-ptw_design_and_protective_equipment-en.pdf .
- [17]. Consorcio 2BESAFE (Powered Two Wheelers - Safety Measures. Guidelines, Recommendations and Research Priorities). *Comisión Europea*, 2012 https://www.2besafe.eu/sites/default/files/deliverables/2BES_D28_GuidelinesPolicyRecommendationsAndFurtherResearchPriorities.pdf .
- [18]. Consorcio ROSA, “ROSA project (ROsa SAfety for the motorcyclists). Manual de Buenas Prácticas de Seguridad Vial para los Motociclistas”, *proyecto europeo ROSA*, 2010 https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects_sources/rosa_handbook_human_es.pdf .

- [19]. ACEM, "Final Report 2.0", *MAIDS: In-depth Investigations of Accidents Involving Powered Two Wheelers*, 2009 <http://www.maids-study.eu/pdf/MAIDS2.pdf> .
- [20]. Sabino G. et al., "ABRAM Project. Autonomous Braking for Motorcycles. Final results", *Comisión europea*, 2016 <https://cordis.europa.eu/project/id/328067/reporting/es> .
- [21]. R.Aranda-Marco, R.Willinger, S.Peldschus, "MOTORIST project. Deliverable D3.7. New guidelines for standards", *Comisión Europea*, 2018.
- [22]. M. Massaro*, V. Cossalter, G. Cusimano, "The effect of inflation pressure on tyre properties and motorcycle stability", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering*, 2013 https://www.researchgate.net/profile/Matteo_Massaro/publication/261834253_The_effect_of_the_inflation_pressure_on_the_tyre_properties_and_the_motorcycle_stability/links/54b3ccec0cf26833efcf5396/The-effect-of-the-inflation-pressure-on-the-tyre-properties-and-the-motorcycle-stability.pdf .
- [23]. A. Bansal et al., "Significance of Tire Pressure Monitoring System in Motorcycle", *SAE Technical Paper 2016-01-1634*, 2016.
- [24]. L. Peck, E. Deyerl, N. Rose, "The Effect of Tire Pressure on the Deceleration of a Motorcycle under Application of the Rear Brake Only", *National Association of Professional Accident Reconstruction*, 2017 <https://static1.squarespace.com/static/57394f537da24fc27bc554bf/t/5e8e4cb4957b3306a8e3422a/1586384062093/%282017%29+Peck+-+Effect+of+Tire+Pressure+on+the+Deceleration....pdf> .
- [25]. A.P. Morris, L.A. Brown, P.Thomas, R.J. Davidse, V. Phan, D. Margaritis, D. Usami, M. Robibaro, A. Krupińska, K. Sicińska, A. Ziakopoulos, A. Theofilatos, G. Yannis, "SAFERWHEELS. Study on Powered Two-Wheeler and Bicycle Accidents in the EU. Final Report", *Comisión Europea*, 2018 https://repository.lboro.ac.uk/articles/report/SaferWheels_study_on_powered_two-wheeler_and_bicycle_accidents_in_the_EU_-_Final_report/9354305 .
- [26]. Alba Fornells, "State-of-the art review on accident databases. SAFE2WHEELERS COST Action", *Consortio SAFE2WHEELERS*, 2015 https://www.safe2wheelers.eu/wp-content/uploads/2017/05/D1_WGI_COST_Safe2Wheelers_deliverable.pdf
- [27]. H. Baum, U. Westerkamp, T. Geißler, "Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles", *BAST*, 2008 <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/242/file/F68.pdf> .
- [28]. Sporer A., Kramlich, T., "Combination of Primary and Secondary Safety Aspects within motorcycle Collisions", *3rd International Motorcycle Conference, IfZ (Institute for Motorcycle Safety)*, 2000.
- [29]. K.Vavryn, M.Winkelbauer, "Braking Performance of Experienced and Novice Motorcycle Riders - Results of a Field Study", *Austrian Road Safety Board (KfV)*, 2004 https://www.researchgate.net/publication/242453707_Braking_Performance_of_Experienced_and_Novice_Motorcycle_Riders_-_Results_of_a_Field_Study .
- [30]. Green D. "A comparison of stopping distance performance for motorcycles equipped with ABS, CBS and conventional hydraulic brake systems", *International Motorcycle Safety Confer-*

ence, 2006 https://msf-usa.org/downloads/imsc2006/Green-Comparison_of_Stopping_Distance-Paper.pdf .

- [31]. Gwehenberger J, Schwaben I, Sporer A, Kubitzki J. "Schwerstunfälle mit Motorrädern—Analyse der Unfallstruktur und der Wirksamkeit von ABS", *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, Issue 1, 2006 <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1145169/1145169.pdf> .
- [32]. Zimmermann, M., Georgi, A., "Sicherheitstechnik für Zweiräder", *Bosch Accident Research*, 2006.
- [33]. T.L. Robinson; M. McCarthy, M. Pitcher; T. Gibson and C. Visvikis, "Evaluating the impact of possible new measures concerning category L vehicles", *TRL*, 2009 https://ec.europa.eu/growth/content/evaluating-impact-possible-new-measures-concerning-category-l-vehicles-0_nn .
- [34]. E. R. Teoh, "Effectiveness of Antilock Braking Systems in Reducing Motorcycle Fatal Crash Rates", *Traffic Injury Prevention*, 2011 https://www.researchgate.net/publication/51021451_Effectiveness_of_Antilock_Braking_Systems_in_Reducing_Motorcycle_Fatal_Crash_Rates .
- [35]. E. R. Teoh, "Effects of antilock braking systems on motorcycle fatal crash rates: an update", *Insurance Institute for Highway Safety*, 2013 https://www.researchgate.net/publication/303818908_Effects_of_antilock_braking_systems_on_motorcycle_fatal_crash_rates_An_update .
- [36]. Highway Loss Data Institute, "Evaluation of motorcycle antilock braking systems, alone and in conjunction with combined control braking systems", *Bulletin Vol. 30, N° 10*, 2013 https://www.iihs.org/media/d9b615d8-7720-4428-84d0-f43de70974ed/FsRQbA/HLDI%20Research/Bulletins/hldi_bulletin_30.10.pdf .
- [37]. RACC, "Seguridad en Motocicletas Ligeras. Sistemas de frenada en motocicletas ligeras", *FIA*, 2014 https://feuvertemarcha.org/wp-content/uploads/2014/05/67785_Test_Report_FIA_Project_Light_Motorcycle_Safety_ESP_AB.pdf .
- [38]. Lich, T., Kumaresh, G., and Moennich, J., "Benefit Estimation of Anti-Lock Braking System for Powered Two Wheeler On Indian Highways," *SAE Technical Paper 2015-26-0167*, 2015.
- [39]. M. Rizzi et al., "Effectiveness of Motorcycle Antilock Braking Systems (ABS) in Reducing Crashes, the First Cross-National Study", *Traffic Injury Prevention*, 2015.
- [40]. C. van der Zweep, J. Vandenhoudt, "PISa Project. Powered Two Wheeler Integrated safety. Final report", *Comisión Europea*, 2010 <https://cordis.europa.eu/project/id/31360/reporting/es>.
- [41]. M. Rizzi et al., "The Combined Benefits of Motorcycle Antilock Braking Systems (Abs) in Preventing Crashes and Reducing Crash Severity", *Traffic Injury Prevention*, 2015.
- [42]. T. Lich, W. Gordon Block, S. N. Prashanth, B. Heiler, "Motorcycle Stability Control - The Next Generation of Motorcycle Safety and Riding Dynamics", *SAE International Journal of Engines Vol. 9*, 2016 https://www.jstor.org/stable/26284833?seq=1#metadata_info_tab_contents .
- [43]. TRB, "Managing speed; review of current practice for setting and enforcing speed limits", *Special report 254. Transportation Research Board (TRB)*, 1998 <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr254.pdf> .

-
- [44]. R. Elvik, "The Power Model and the relationship between speed and road safety, Update and new analyses", *TOI*, 2009 <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=13206> .
- [45]. G. Nilsson, "Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety", *Lund Institute of Technology*, 2004 <https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4394446/1693353.pdf> .
- [46]. D. Otte, "Technical Parameters for Determination of Impact Speed for Motorcycle Accidents and the Importance of Relative Speed on Injury", *SAE Transactions*, 2006 https://www.jstor.org/stable/44667849?seq=1#metadata_info_tab_contents .
- [47]. OMS, "Control de la velocidad", *OMS*, 2017 <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255305/WHO-NMH-NVI-17.7-spa.pdf;jsessionid=7069F09B07F3845495BA-44024DF7F4B6?sequence=1> .
- [48]. OMS, "Salve VIDAS – Paquete de medidas técnicas sobre seguridad vial", *OMS*, 2017 <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255308/9789243511702-spa.pdf?sequence=1> .
- [49]. O. Carsten, F. Tate, R. Liu, "Assessment of Road Speed Management Methods. D4.3 External Deliverable", *PROSPER Consortium and European Commission*, 2006 https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects_sources/prosper_d4-3.pdf .
- [50]. F. Lai, O. Carsten, F. Tate, "How much benefit does Intelligent Speed Adaptation deliver: An analysis of its potential contribution to safety and environment", *Accident Analysis and Prevention*, 2012.
- [51]. O. Carsten, "Personal communication of additional results to study Lai F, Carsten O and Tate F, (2012) How much benefit does Intelligent Speed Adaptation deliver: An analysis of its potential contribution to safety and environment", 2012.
- [52]. B. Simpkin, F. Lai, K. Chorlton, M. Fowkes, "ISA UK Intelligent Speed Adaptation. Results of Motorcycle Trial", *The University of Leeds and MIRA Ltd*, 2007 <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/isa/deliverables/Results%20of%20Motorcycle%20Trial%20080630.pdf> .
- [53]. O. Carsten, A. Ezenwa, A. Tomlinson, A. Horrobin, "ISA Interface Study", *Institute for Transport Studies, University of Leeds*, 2020 https://www.researchgate.net/publication/342378892_Intelligent_Speed_Assistance_ISA_Interface_Study .
- [54]. J. Happian-Smith, B. P. Chinn, "Simulation of airbag restraint systems in forward impacts of motorcycles", *International Congress and Exposition, Detroit*, 1990.
- [55]. Bogerd C.P., Carley M., Crundall D., Otte D., Shahar A., Shinar D., Webb D., & Brühwiler P.A., "PROHELM. Accident Prevention Options with Motorcycle Helmets. Final Report", *COST Action 357*, 2010 <https://www.cost.eu/actions/357/#> .
- [56]. Susan Wells, Bernadette Mullin, Robyn Norton, John Langley, Jennie Connor, Roy Lay-Yee, Rod Jackson, "Motorcycle rider conspicuity and crash related injury: case-control study", *BMJ Online*, 2004 https://www.researchgate.net/publication/7960135_Motorcycle_rider_conspicuity_and_crash_related_injury_Case-control_study .
- [57]. Pnina Gershon, Noam Ben-Asher, David Shinar, "Attention and search conspicuity of motorcycles as a function of their visual context", *Accident Analysis and Prevention*, 2012 .
-

- [58]. A. Moskal, J. L. Martin, and B. Laumon, "Helmet use and the risk of neck or cervical spine injury among users of motorized two-wheel vehicles," *Inj. Prev.*, 2008.
- [59]. J. König, F.A. Berg, "Powered Two-Wheeler Accidents – First Results of APROSYS SP 4 Implying GIDAS 2002 Data", *BAST*, 2006 https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/453/file/Powered_Two_Wheeler_Accidents.pdf .
- [60]. M. Wisch et al., "Deliverable D1.1", *PIONEERS: Protective Innovations of New Equipment for Enhanced Rider Safety*, 2019 <http://pioneers-project.eu/wp-content/uploads/2020/12/Deliverable-D1.1.pdf> .
- [61]. N. Baldanzini et al., "D.4.1 Personal Protective Equipment (PPE) specifications", *PIONEERS project*, 2019 <http://pioneers-project.eu/wp-content/uploads/2020/12/Deliverable-D4.1.pdf> .
- [62]. B. Chinn et al., "Final Report of the Action", *COST 327 Motorcycle Safety Helmets*, 2001 https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects_sources/cost327_final_report.pdf .
- [63]. B. C. Liu, R. Ivers, R. Norton, S. Boufous, S. Blows, and S. K. Lo, "Helmets for preventing injury in motorcycle riders," *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2008.
- [64]. R. Elvik et al., "The handbook of road safety measures. Second edition", *Emerald Group Publishing Limited*, 2009.
- [65]. ECE/TRANS/WP.29, "The United Nations Motorcycle Helmet Study", *Part of WP.29 "How it works and how to join it" series*, 2016 https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/publications/WP29/United_Nations_Motorcycle_Helmet_Study.pdf .
- [66]. E. Bliven, A. Rouhier, S. Tsai, R. Willinger, N. Bourdet, C. Deck, S M. Madey, M. Bottlang "Evaluation of a novel bicycle helmet concept in oblique impact testing", *Accident Analysis and Prevention*, 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457518303713>
- [67]. Erich Schuller, Gundolf Beier, and Wolfgang Spann, "Disability and Impairment of Protected and Unprotected Motorcycle Riders", *SAE International*, 1986.
- [68]. L. De Rome et al., "Motorcycle protective clothing: Protection from injury or just the weather?" *Accid. Anal. Prev.*, 2011.
- [69]. L. De Rome, L. Meredith, R. Ivers, and J. Brown, "Validation of the principles of injury risk zones for motorcycle protective clothing," *J. Safety Res.*, 2014.
- [70]. Marco Giustini, Sabina Cedri, Marco Tallon, Paolo Roazzi, Rita Formisano and Alessio Pitidis, "Use of back protector device on motorcycles and mopeds in Italy", *International Journal of Epidemiology*, 2014.
- [71]. T. Serre, C. Masson M. Llari, B. Canu, M. Py, C. Perrin, "Airbag Jacket for Motorcyclists: Evaluation of Real Effectiveness", *IRCOBI conference*, 2019. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02958978/document> .
- [72]. A. Molinero et al., "MOSAFIM Project Final Technical Implementation Report", *Comisión Europea*, 2014 https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects_sources/mosafim_final_report.pdf .

- [73]. Thollon, L., Godio, Y., Bidal, S. and Brunet, C., "Evaluation of a new security system to reduce thoracic injuries in case of motorcycle accidents", *International Journal of Crashworthiness*, 2010 https://www.researchgate.net/publication/245314393_Evaluation_of_a_new_security_system_to_reduce_thoracic_injuries_in_case_of_motorcycle_accidents
- [74]. RACE, "Sistemas de protección con airbag para motoristas", *Departamento de Seguridad Vial del RACE*, 2010 <https://www.race.es/wp-content/uploads/2011/06/2010-octubre-SISTEMAS-DE-PROTECCION-CON-AIRBAG-PARA-MOTORISTAS.pdf>.
- [75]. ISO/TC 22/SC 38, "ISO 13232-1: 2005 Motorcycles — Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles — Part 1: Definitions, symbols and general considerations", *ISO*, 2005.
- [76]. Unión Europea, "Directiva 2002/24/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de marzo de 2002 relativa a la homologación de los vehículos de motor de dos o tres ruedas y por la que se deroga la Directiva 92/61/CEE del Consejo", *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 2002 https://industria.gob.es/GIAVEH/DirectivasMarco/Directiva2002_24.pdf.
- [77]. Unión Europea, "Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014 de la Comisión de 24 de octubre de 2013 que complementa el Reglamento (UE) N° 168/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los requisitos de seguridad funcional para la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos", *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2014 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0003>.
- [78]. Unión Europea, "Reglamento Delegado (UE) 2016/1824 de la Comisión de 14 de julio de 2016 que modifica el Reglamento Delegado (UE) N° 3/2014, el Reglamento Delegado (UE) N° 44/2014 y el Reglamento Delegado (UE) N° 134/2014 por lo que respecta, respectivamente, a los requisitos de seguridad funcional de los vehículos, a los requisitos de fabricación de los vehículos y los requisitos generales y a los requisitos de eficacia medioambiental y rendimiento de la unidad de propulsión", *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2016 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L_.2016.279.01.0001.01.SPA.
- [79]. UNECE Inland Transport Committee, "Reglamento N° 78 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE). Disposiciones uniformes sobre la homologación de vehículos de las categorías L1, L2, L3, L4 y L5 con relación al frenado [2015/145]", *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2015 <https://www.boe.es/doue/2015/024/L00030-00059.pdf>.
- [80]. Unión Europea, "Reglamento n° 141 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas. Prescripciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en lo que concierne a sus sistemas de control de la presión de los neumáticos (TPMS) [2018/1593]", *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2018 <https://www3.eic.cat/sites/default/files/nove-tats-nol/20255107.pdf>.
- [81]. Unión Europea, "Reglamento N° 10 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) — Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos en lo que concierne a su compatibilidad electromagnética", *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2010 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A42010X0508%2801%29>.

- [82]. Unión Europea, "Reglamento N° 121 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) sobre disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos por lo que se refiere al emplazamiento e identificación de los mandos manuales, testigos e indicadores [2016/18]", *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2016 <https://www.boe.es/doue/2016/005/L00009-00022.pdf>.
- [83]. ISO/TC 204, "ISO 15622:2018 Intelligent transport systems — Adaptive cruise control systems — Performance requirements and test procedures", *ISO*, 2018.
- [84]. ISO/TC 204, "ISO 17387:2008 Intelligent transport systems — Lane change decision aid systems (LCDAS) — Performance requirements and test procedures", *ISO*, 2008.
- [85]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 13595-1:2002 Ropa de protección para motociclistas profesionales. Chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas. Parte 1: Requisitos generales", *Aenor*, 2002.
- [86]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 13595-2:2002 Ropa de protección para motociclistas profesionales. Chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas. Parte 2: Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión por impacto", *Aenor*, 2002.
- [87]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 13595-3:2002 Ropa de protección para motociclistas profesionales. Chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas. Parte 3: Método de ensayo para determinar la resistencia a la rotura", *Aenor*, 2002.
- [88]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 13595-4:2002 Ropa de protección para motociclistas profesionales. Chaquetas, pantalones y trajes de una o dos piezas. Parte 4: Método de ensayo para determinar la resistencia al corte por impacto", *Aenor*, 2002.
- [89]. IULTCS, "ISO 3377:1975 Leather -- Determination of tearing load", *ISO*, 1975.
- [90]. ISO/TC 45/SC 4, "ISO 4674:1977 Fabrics coated with rubber or plastics — Determination of tear resistance", *ISO*, 1977.
- [91]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 17092-1. Prendas de protección para motociclistas Parte 1: Métodos de ensayo", *Aenor*, 2020.
- [92]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 17092-2. Prendas de protección para motociclistas Parte 2: Prendas de clase AAA. Requisitos", *Aenor*, 2020.
- [93]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 17092-3. Prendas de protección para motociclistas Parte 3: Prendas de clase AA. Requisitos", *Aenor*, 2020.
- [94]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 17092-4. Prendas de protección para motociclistas Parte 4: Prendas de clase A. Requisitos", *Aenor*, 2020.
- [95]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 17092-5. Prendas de protección para motociclistas Parte 5: Prendas de clase B. Requisitos", *Aenor*, 2020.
- [96]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 17092-6. Prendas de protección para motociclistas Parte 6: Prendas de clase C. Requisitos", *Aenor*, 2020.
- [97]. CTN 81/SC 1, "UNE-EN 1150:1999 Equipos de protección. Ropas de visibilidad para uso no profesional. Requisitos y métodos de ensayo", *Aenor*, 1999.

-
- [98]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 1621-1:2013. Ropa de protección frente a impactos mecánicos para motociclistas. Parte 1: Protectores contra impactos en las articulaciones para motociclistas. Requisitos y métodos de ensayo", *Aenor*, 2013.
- [99]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 1621-2:2014. Ropa de protección frente a impactos mecánicos para motociclistas. Parte 2: Protectores de espalda para motociclistas. Requisitos y métodos de ensayo", *Aenor*, 2014.
- [100]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 1621-3:2021. Ropa de protección frente a impactos mecánicos para motociclistas. Parte 3: Requisitos y métodos de ensayo para protectores de pecho", *Aenor*, 2021.
- [101]. CTN 81/SC 1, "UNE-EN 340:2004 Ropas de protección. Requisitos generales", *Aenor*, 2004.
- [102]. Grupo de Trabajo GT-52 de la DGT, "Plan de Medidas Especiales para la Seguridad Vial de las Motocicletas y Ciclomotores 2019-2020", *DGT*; 2019.
- [103]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 13594:2015. Guantes de protección para motociclistas. Requisitos y métodos de ensayo", *Aenor*, 2015.
- [104]. AEN/CTN 81, "UNE-EN 511:2006. Guantes de protección contra el frío", *Aenor*, 2006.
- [105]. AEN/CTN 81, "UNE-EN 420:2004+A1:2010. Guantes de protección. Requisitos generales y métodos de ensayo", *Aenor*, 2010.
- [106]. AEN/CTN 81, "UNE-EN 388:2016+A1:2018. Guantes de protección contra riesgos mecánicos", *Aenor*, 2019.
- [107]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 13634:2017. Calzado de protección para motoristas. Requisitos y métodos de ensayo", *Aenor*, 2017.
- [108]. CTN 81/SC 1, "UNE-EN ISO 20344:2012 Equipos de protección personal. Métodos de ensayo para calzado", *Aenor*, 2012.
- [109]. CTN 81/SC 1, "UNE-EN ISO 20345:2012 Equipo de protección individual. Calzado de seguridad", *Aenor*, 2012.
- [110]. ISO/TC 45/SC 2, "ISO 4649:2017 Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device", *ISO*, 2017.
- [111]. AEN/CTN 147, "UNE-EN 1621-4:2013. Ropa de protección frente a impactos mecánicos para motociclistas. Parte 4: Protectores inflables para motociclistas. Requisitos y métodos de ensayo", *Aenor*, 2013.
- [112]. CTN 22/SC 6, "UNE-EN ISO 14451-1:2013 Artículos pirotécnicos. Artículos pirotécnicos para vehículos. Parte 1: Terminología", *Aenor*, 2013.
-

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Motocicleta de Cross Yamaha YZ450F	14
Figura 2.	Motocicleta de Enduro KTM EXC ENDURO 2020	14
Figura 3.	Motocicleta de Trial TRRS GOLD 2020 / 2021	15
Figura 5.	Motocicleta de Trail convencional BMW R 1200 GS	15
Figura 6..	Motocicleta Superdeportiva Honda CBR 1000 RR	16
Figura 7.	Motocicleta Turismo DUCATI MULTISTRADA 1200 S Touring	17
Figura 8.	Motocicleta Gran Turismo BMW K 1600 GTL	17
Figura 9.	Motocicleta Sport Turismo Yamaha FJR1300	17
Figura 10.	Motocicleta Naked BENELLI 752 S A2.	18
Figura 11.	Motocicleta Retro BMW R nine T Racer	18
Figura 12.	Motocicleta Scrambler Ducati	18
Figura 13.	Motocicleta Supermotard KTM 690 SMC R	19
Figura 14.	Motocicleta Maxiscooter Suzuki Burgman 650	19
Figura 15.	Modelo de seguridad integrada de ACEA (Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles)	26
Figura 16.	Accident sequence model de Rijnaerts and van der Valk's.	26
Figura 17.	Clasificación de los sistemas de seguridad de las motocicletas y los motoristas.	27
Figura 18.	Maniobra de giro a velocidad elevada de una motocicleta	30
Figura 19.	Fuerzas y momentos durante la maniobra de frenado en línea recta de una motocicleta.	32
Figura 20.	Fuerzas y momentos durante la maniobra de tracción en línea recta de una motocicleta.	34
Figura 21.	Sistema TPMS con indicador óptico de presión en la válvula.	35
Figura 22.	HMI de sistema TPMS OEM, con indicador de presión inferior a la nominal en el panel de instrumentos	36
Figura 23.	HMI de sistema TPMS aftermarket, con indicadores de presión y temperatura de cada neumático (Sistema CAREUD TPMS).	37
Figura 24.	Sensor de sistema TPMS instalado en la válvula (Sensor RDC en BMW R1200GS LC).	38
Figura 25.	Sensor de sistema TPMS instalado en el tapón de la válvula (Sistema Fobo Bike)	38
Figura 26.	Componentes básicos de un sistema ABS	40
Figura 27.	Configuración de sistema ABS con un canal. Dispositivo ABS MiniMAB de Continental.	41
Figura 28.	Configuración de sistema ABS con d os canales. Dispositivo ABS MK 100® MAB de Continental	41
Figura 29.	Esquema del sistema de frenado combinado de la motocicleta Honda SH Mode 125	43
Figura 30.	Esquema del sistema de frenado combinado dual	44
Figura 31.	Actuación de sistema Cornering ABS frente a un sistema ABS convencional.	46
Figura 32.	Unidad IMU (Inertial Measurement Unit) del fabricante Bosch	46
Figura 33.	Ejes de medida de una unidad IMU (Inertial Measurement Unit).	47

Figura 34.	Radar de medio alcance (MRR) de Bosch	48
Figura 35.	Modo de activación y sistema HMI del sistema ACC de BMW Motorrad . . .	49
Figura 36.	Sistema asistente de visión lateral SVA de BMW Motorrad	51
Figura 37.	Componentes del sistema asistente de visión lateral SVA de BMW Motorrad	52
Figura 38.	Radar de corto alcance (SRR) de Continental	52
Figura 39.	Sistema HMI del detector de ángulo muerto (BSD) de Continental . . .	53
Figura 40.	Sistema de suspensión electrónica Dynamic ESA de BMW Motorrad .	54
Figura 41.	Válvulas de regulación del amortiguador trasero (Öhlins) en un sistema de suspensión electrónica.	55
Figura 42.	Válvulas de regulación del amortiguador delantero en el sistema de suspensión electrónica de la Ducati Panigale V4 SP	56
Figura 43.	Amortiguador con ajuste electrónico de la precarga (Öhlins) en un sistema de suspensión electrónica.	56
Figura 44.	Sistema airbag en motocicleta Honda Gold Wing	58
Figura 45.	Casco de motorista de alta visibilidad (modelo NOLAN N100.5 HI-VISIBILITY N-COM)	60
Figura 46.	Esquema de un casco de protección de usuario de motocicleta, según se define en los Reglamentos 22R05 y 22R06	61
Figura 47.	Casco de motorista Retro o Classic	63
Figura 48.	Casco de motorista Jet RIDE 701	63
Figura 49.	Casco de motorista Integral Shoei Neotec II.	64
Figura 50.	Casco de motorista Abatible UNIK CM-13.	64
Figura 51.	Casco de motorista Off-Road HJC CS-MXII.	65
Figura 52.	Casco de motorista Trial HEBO Trial Zone Policarbonato.	65
Figura 53.	Casco de motorista Trail Acerbis Reactive Graffix	66
Figura 54.	Casco de motorista Dual AGV AX-8 Dual EVO.	66
Figura 55.	Sistema MIPS (Multi-directional Impact Protection System) incorporado en un casco	68
Figura 56.	Movimiento relativo del sistema MIPS incorporado en un casco	68
Figura 57.	Sistema de control de rotación de la cabeza en el casco 6D ATS-I carbon.	69
Figura 58.	Sistema de Neck Brace de BMW Motorrad	70
Figura 59.	Restricciones de giros y desplazamiento del cuello mediante el sistema de Neck Brace de BMW Motorrad	70
Figura 60.	Chaqueta de moto Turismo DXR DANAKIL.	72
Figura 61.	Chaqueta de moto Aventura RST Pro serie aventura-X Moto.	72
Figura 62.	Chaqueta de moto Deportiva Dainese Super Speed Tex	73
Figura 63.	Chaqueta de moto Roadster de BMW Motorrad	73
Figura 64.	Chaqueta de moto Enduro Kenny Titanium.	74
Figura 65.	Chaqueta de moto Urbana Seventy Degrees Sd-Jc53	74
Figura 66.	Chaqueta de moto Custom Prometheus de Revit.	75
Figura 67.	Chaqueta de moto de Verano Sonic Held	75
Figura 68.	Pantalón de moto de cordura MBSmoto MP5 I Roader	76
Figura 69.	Pantalón de moto de cuero Revit Vertex GT	76
Figura 70.	Pantalón de moto vaquero Dainese Tivoli Regular	77
Figura 71.	Pantalón de moto Offroad Answer Elite Discord	77

Figura 72.	Mono de moto Dainese Assen 2 Profesional perforado	78
Figura 73.	Protector de hombro SAS-TEC SC-1/03.	79
Figura 74.	Protector de codo KIT ELBOW SLIDER de Dainese.	79
Figura 75.	Protector de cadera HARD SHORT EI de Dainese	80
Figura 76.	Protector de rodilla SX-I de Alpinestars	80
Figura 77.	Protector de espalda integral H-Full Back Armor de Hevik.	81
Figura 78.	Protector de espalda central D3O Viper Central Back Protector de RICHIA	81
Figura 79.	Protector de espalda inferior New Bap DI Protector de Dainese.	82
Figura 80.	Protector de pecho DOUBLE CHEST Nivel 1 de Dainese.	82
Figura 81.	Protector de pecho CHEST L2 Nivel 2 de Dainese.	83
Figura 82.	Protector de peto BIONIC ACTION 2021 de Alpinestars	83
Figura 83.	Guantes de motorista de invierno Seventy SD-R23 Lady	85
Figura 84.	Guantes de motorista de entretiempo REV IT SAND 3	85
Figura 85.	Guantes de motorista de verano MOTARDZONE EXL	86
Figura 86.	Guantes de motorista urbanos TUCANO URBANO GIG.	86
Figura 87.	Guantes de motorista Racing Dainese FULL METAL 6	87
Figura 88.	Guantes de motorista Off-road HEBO TRIAL NANO PRO III.	87
Figura 89.	Botas de motorista Touring Dainese FULCRUM GT GORE-TEX	89
Figura 90.	Botas de motorista Deportivas Alpinestars SMX-Plus	89
Figura 91.	Botas de motorista Custom A-pro Biker Custom Cruiser.	89
Figura 92.	Botas de motorista Offroad Sidi Crossfire 3 SRS	90
Figura 93.	Botas de motorista Trail O'Neal Taranis ES	90
Figura 94.	Botas de motorista Urbana Seventy Degrees SD-BC7	90
Figura 95.	Chaleco Airbag de correa Hit-Air MLV-CS	93
Figura 96.	Chaleco Airbag Helite Turtle 2 HI-VIS Electrónico + Sensor Horquilla SDU	93
Figura 97.	Protector de espalda de los chalecos Street-Air y Tech-Air Street (BMW Motorrad y Alpinestars)	94
Figura 98.	Bolsa de aire integrada en los chalecos Street-Air y Tech-Air Street (BMW Motorrad y Alpinestars).	94
Figura 99.	Chaqueta con airbag integrado modelo Dainese MISANO D-AIR® JACKET.	95
Figura 100.	Arquitectura del demostrador desarrollado en el proyecto SAFERIDER	96
Figura 101.	Distribución de las lesiones (totales, con AIS>2) por región corporal en los motoristas y pasajeros. Estudio de Moskal et al., 2008	112
Figura 102.	Distribución de los motoristas y pasajeros según sus lesiones (totales, con AIS>2) por región corporal. Estudio de Moskal et al., 2008.	113
Figura 103.	Distribución de las lesiones con AIS>1 en los motoristas. Proyecto MAIDS	114
Figura 104.	Distribución de las lesiones con AIS>1 en los motoristas. Proyecto PIONEERS. Base de datos GIDAS.	115
Figura 105.	Rango estimado de disminución del número de fallecidos mediante el uso del casco	120
Figura 106.	Rango estimado de disminución del número de heridos graves mediante el uso del casco	121

Figura 107. Zonas del casco de marcado de visibilidad (según Reglamento CEPE/ONU 22R05).	146
Figura 108. Ejemplo de casco con marcado de visibilidad. Marcas reflectantes de 3M Technology™ sobre casco Shark Spartan™	147
Figura 109. Puntos extras para el ensayo de absorción de impacto según CEPE/ONU 22R06	150
Figura 110. Ensayo de proyección y fricción de superficie (Método A), según CEPE/ONU 22R05	151
Figura 111. Ensayo dinámico del sistema de retención, según CEPE/ONU 22R05.	152
Figura 112. Ensayo de desconexión del sistema de retención, según CEPE/ONU 22R05	152
Figura 113. Configuraciones del ensayo de impacto oblicuo rotacional, según CEPE/ONU 22R06	153
Figura 114. Extensión mínima de la protección del casco según CEPE/ONU 22R05	153
Figura 115. Especificaciones del campo vertical de visión periférica del casco según CEPE/ONU 22R05	154
Figura 116. Especificaciones del campo horizontal de visión periférica del casco según CEPE/ONU 22R05	154
Figura 117. Especificaciones del campo de visión periférica del casco en el deflector de respiración según CEPE/ONU 22R05.	155
Figura 118. Especificaciones del ángulo de apertura de la pantalla del casco según CEPE/ONU 22R05	155
Figura 119. Localización de puntos de impacto según CEPE/ONU 22R05	156
Figura 120. Etiqueta de homologación del casco de motorista según CEPE/ONU 22R05	156
Figura 121. Etiqueta de homologación de la pantalla del casco de motorista según CEPE/ONU 22R05	157
Figura 122. Etiquetas de homologación de la pantalla y del casco de motorista según CEPE/ONU 22R05	157
Figura 123. Zonas de riesgo de lesión del motorista según la norma UNE-EN 13595-1:2002.	159
Figura 124. Pictograma de la norma UNE-EN 13595.	161
Figura 125. Zonas de categoría de riesgo según norma UNE-EN 17092-1	162
Figura 126. Pictograma de la norma EN 17092-2:2020. Prendas de clase AAA.	165
Figura 127. Pictograma de la norma EN 17092-3:2020. Prendas de clase AA	168
Figura 128. Pictograma de la norma EN 17092-4:2020. Prendas de clase A.	170
Figura 129. Pictograma de la norma EN 17092-5:2020. Prendas de clase B.	171
Figura 130. Pictograma de la norma EN 17092-6:2020. Prendas de clase C.	173
Figura 131. Pictograma de la norma EN 1621-1:2012	175
Figura 132. Pictograma de la norma EN 1621-2:2014	177
Figura 133. Pictograma de la norma EN 1621-3:2018	178
Figura 134. Pictograma de la norma EN 13594:2015	180
Figura 135. Pictograma de la norma EN 13634:2017	183
Figura 136. Pictograma de la norma EN 1621-4:2012	186
Figura 137. Distribución de nuevas matriculaciones de vehículos L3e por subcategorías, según la Directiva 2006/126/CE (2000 - 2019)	196

Figura 138. Evolución del parque de vehículos L3e por subcategorías y años, según la Directiva 2006/126/CE (2000 - 2019)	196
Figura 139. Distribución del parque de vehículos L3e por subcategorías y años, según la Directiva 2006/126/CE (2000 - 2019).....	197
Figura 140. Distribución del parque de vehículos L3e-A1 por años según la disponibilidad del sistema ABS (2000 - 2019).....	197
Figura 141. Distribución del parque de vehículos L3e-A2 por años según la disponibilidad del sistema ABS (2000 - 2019).....	198
Figura 142. Distribución del parque de vehículos L3e-A3 por años según la disponibilidad del sistema ABS (2000 - 2019).....	198
Figura 143. Distribución del parque de vehículos L3e por años según la disponibilidad del sistema ABS (2000 - 2019)	199

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de regiones corporales para la codificación de las lesiones según la escala AIS.	20
Tabla 2.	Niveles de gravedad de las lesiones según la escala AIS.	20
Tabla 3.	Sistemas de seguridad primaria de las motocicletas evaluados en el informe	28
Tabla 4.	Resultados de reducción estimada de accidentes según el tipo de sistema ISA considerado	108
Tabla 5.	Resultados de análisis de parámetros subjetivos relacionados con el uso del casco según su tipo.	110
Tabla 6.	Listado de publicaciones científicas evaluadas en el meta-análisis de Liu et al.	119
Tabla 7.	Requisitos de eficacia de ensayo de frenada en seco con accionamiento de un solo mando de freno. Reglamento CEPE N° 78.	139
Tabla 8.	Clasificación de los sistemas LCDAS, según la velocidad máxima de aproximación del vehículo a detectar.	143
Tabla 9.	Normativas y procedimientos de ensayo aplicables al casco en función de los países de uso	148
Tabla 10.	Criterios de aceptación de ensayo de absorción de impacto según CEPE/ONU 22R05/06	151
Tabla 11.	Requisitos de resistencia a la abrasión por niveles según norma UNE-EN 13595-1:2002	160
Tabla 12.	Requisitos mínimos de resistencia al corte por impacto por niveles según norma UNE-EN 13595-1:2002	160
Tabla 13.	Requisitos mínimos de resistencia a la rotura por niveles según norma UNE-EN 13595-1:2002	161
Tabla 14.	Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-2. Prendas de clase AAA.	164
Tabla 15.	Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-2. Prendas de clase AAA.	165
Tabla 16.	Requisitos de resistencia al desgarro por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-2. Prendas de clase AAA	165
Tabla 17.	Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-3. Prendas de clase AA	166
Tabla 18.	Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-3. Prendas de clase AA	167
Tabla 19.	Requisitos de resistencia al desgarro por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-3. Prendas de clase AA	167
Tabla 20.	Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-4. Prendas de clase A.	169
Tabla 21.	Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-4. Prendas de clase A.	169
Tabla 22.	Requisitos de resistencia al desgarro por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-4. Prendas de clase A.	169

Tabla 23.	Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-5. Prendas de clase B.	170
Tabla 24.	Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-5. Prendas de clase B.	171
Tabla 25.	Requisitos de resistencia al desgarro por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-5. Prendas de clase B.	171
Tabla 26.	Requisitos de resistencia a la abrasión por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-6. Prendas de clase C.	172
Tabla 27.	Requisitos de resistencia de las costuras por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-6. Prendas de clase C.	172
Tabla 28.	Requisitos de resistencia al desgarro por zona de impacto según norma UNE-EN 17092-6. Prendas de clase C.	173
Tabla 29.	Requisitos de fuerza transmitida en ensayo de atenuación de impactos por nivel de rendimiento según norma UNE-EN 1621-1:2013.	175
Tabla 30.	Requisitos de fuerza transmitida en ensayo de atenuación de impactos por nivel de rendimiento según norma UNE-EN 1621-2:2014.	176
Tabla 31.	Requisitos de fuerza transmitida en ensayo de atenuación de impactos por nivel de rendimiento según norma UNE-EN 1621-3:2021. [100]).	178
Tabla 32.	Resumen de los requisitos contenidos en la norma UNE-EN 1621-4:2013.	185
Tabla 33.	Resultado del proceso de identificación de nuevas matriculaciones de motocicletas por categorías y subcategorías, según la Directiva 2006/126/CE (2000 - 2019)	194

GLOSARIO

- ABS: Anti-lock Braking Systems
- ACC: Adaptive Cruise Control
- ACEM: European Association of Motorcycle Manufacturers
- ADAS: Advanced Driver Assistance Systems
- AEB: Autonomous Emergency Braking
- ARAS: Advanced Rider Assistance Systems
- AIS: Abbreviated Injury Scale
- BriC: Brain Injury Criterion
- BSD: Blind Spot Detection
- CBS: Combined Braking System
- CEPE: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa
- C-ITS: Cooperative Intelligent Transport Systems
- CMC: Connected Motorcycle Consortium
- DGT: Dirección General de Tráfico
- DME: Desaceleración Media Estabilizada
- EPI: Equipos de Protección Individual
- EPS: Expanded Polystyrene
- ESA: Electronic Suspension Adjustment
- FARS: Fatality Analysis Reporting System
- FEMA: Federation of European Motorcyclists' Associations
- FSRA: Full Speed Range Adaptive Cruise Control
- GIDAS: German In-Depth Investigation Accident Study
- HIC: Head Injury Criterion
- IMU: Inertial Measurement Unit
- ISA: Intelligent Speed Adaptation
- ISS: Injury Severity Score
- ITS: Intelligent Transport Systems
- LCDAS: Lane Change Decision Aid Systems

- LSRA: Limited Speed Range Adaptive Cruise Control
- MAEB: Motorcycle Autonomous Emergency Braking
- MAIS: Maximum Abbreviated Injury Scale
- MIPS: Multi-directional Impact Protection System
- Motorista: conductor de una motocicleta
- MRR: Mid-Range Radar
- MSD: Minimum Set of Data
- NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration
- OEM: Original Equipment Manufacturer
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- PPE: Personal Protective Equipment
- PSAP: Public Safety Answering Point
- RASSI: Accident Sampling System for India
- SAS: Speed Alert System
- SRR: Short Range Radar
- SVA: Asistente de visión lateral
- TPMS: Tire Pressure Monitoring System
- TRL: Transport Research Laboratory
- UNECE: United Nations Economic Commission for Europe
- WHO: World Health Organization



Josefa Valcárcel, 44 - 28071 Madrid