

Informe de investigación

Octubre-Diciembre

2012

CASCOLOCK

Estudio multidisciplinar para el desarrollo de un sistema que impida el arranque de una moto en caso de que sus ocupantes no lleven casco



Entidad responsable:

***Centro de Estudios e Investigaciones
Técnicas***



Investigador principal:

Dr. Hugo Álvarez Ponga

Financiado por



**MINISTERIO
DEL INTERIOR**



Nº Exp : 0100DGT21355

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 MOTIVACIÓN.....	2
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO	3
2. SISTEMA INVASIVO	5
2.1 DISEÑO	5
2.1.1 <i>Instalación</i>	6
2.1.2 <i>Características técnicas</i>	6
2.2 FUNCIONAMIENTO.....	7
2.2.3 <i>Estado del arte</i>	7
2.2.4 <i>Sistema propuesto</i>	9
3. SISTEMA NO-INVASIVO	10
3.1 DISEÑO	10
3.1.1 <i>Instalación</i>	10
3.1.2 <i>Características técnicas</i>	11
3.2 FUNCIONAMIENTO.....	11
3.2.3 <i>Estado del arte</i>	11
3.2.4 <i>Sistema propuesto</i>	12
4. EXPERIMENTOS.....	16
4.1 METODOLOGÍA	16
4.1.1 <i>Sujetos del estudio</i>	16
4.1.2 <i>Selección de los sujetos</i>	16
4.1.3 <i>Variables de Estudio</i>	16
4.1.4 <i>Toma de datos</i>	17
4.1.5 <i>Gestión de datos</i>	19
4.1.6 <i>Consideraciones éticas</i>	19
4.2 RESULTADOS	19
5. DISCUSIÓN.....	24

1. Introducción

1.1 Motivación

Según los datos publicados por la Dirección General de Tráfico (DGT) en el *Indicador Rápido de Accidentalidad en Carretera* del año 2011, las motocicletas es el segundo grupo con mayor número de víctimas mortales en carretera. Asimismo, mientras que otros tipos de vehículos muestran mejoras significativas en sus cifras a lo largo de los últimos años, las motocicletas muestran los mismos resultados de hace una década (véase Tabla 1).

	Víctimas mortales en carretera						
	2000	2005	2009	2010	2011	Dist. % 2011	Dist. % 2000
Bicicleta	54	53	37	43	32	2,2%	1,3%
Ciclomotor	227	142	73	44	32	2,2%	5,4%
Motocicleta	259	319	284	244	235	15,9%	6,1%
Turismo	2.730	2.021	1.044	1.006	824	55,7%	64,4%
Furgoneta	239	172	128	92	78	5,3%	5,6%
Autobús	42	22	18	2	3	0,2%	1,0%
Camión	76	58	38	29	47	3,2%	1,8%
Vehículo articulado	132	102	44	45	30	2,0%	3,1%
Otros Vehículos	71	69	60	55	47	3,2%	1,7%
Peatones	411	310	177	169	151	10,2%	9,7%
Total año	4.241	3.268	1.903	1.729	1.479	100,0%	100,0%

Tabla 1 - Vehículos implicados en accidentes mortales en carretera, años 2000-2011.

Por otro lado, el informe de accidentes publicado por la DGT en el primer trimestre del año 2012 evidencia las catastróficas consecuencias derivadas de un accidente de motocicleta. Según los datos registrados, 32 motocicletas estuvieron implicadas en un accidente mortal y supusieron 31 víctimas mortales. Además, estos valores resultan aún más impactantes cuando son comparados con las cifras de los turismos (265 vehículos implicados, 155 víctimas mortales) (véase Tabla 2).

Vehículos implicados y víctimas mortales

Tipo de vehículo	Vehículos	Distribución porcentual	Víctimas mortales
Turismo	265	59%	155
Furgoneta	40	9%	27
Autocar o autobús	6	1%	1
Vehículos pesados	67	15%	12
Motocicleta	32	7%	31
Ciclomotor	9	2%	9
Bicicleta	12	3%	9
Otros vehículos	20	4%	11
Se desconoce	1	0%	0
Total	452	100%	
Peatones			44
TOTAL			299

Tabla 2 - Vehículos implicados y víctimas mortales en accidentes mortales durante el periodo ene-mar 2012.

Por tanto, los recientes informes de siniestralidad publicados por la DGT permiten extraer las siguientes conclusiones:

- Las motocicletas es un grupo con un alto número de siniestros mortales.
- Los accidentes de moto tienen un alto grado de mortalidad.

La primera de las observaciones indica que hay muchos accidentes de motos, mientras que la segunda revela que un accidente de moto tiene alta probabilidad de provocar víctimas mortales. Este último hecho podría justificarse argumentando que es una consecuencia derivada de la menor protección que ofrecen estos vehículos a sus conductores. En caso de accidente los motoristas no cuentan con un chasis exterior que amortigue el golpe, es el propio cuerpo humano el que absorbe todo el impacto. Por tanto, resulta crucial asegurar que los motociclistas cumplan con las normas de seguridad vigentes y hagan un uso de todos los elementos de seguridad.

Dentro de los elementos de seguridad existentes, los cascos son de especial relevancia, ya que protegen la cabeza de los motoristas, la parte más delicada y mortal del cuerpo humano en caso de accidente. Así, el siguiente informe presenta un estudio de las posibles soluciones a implantar para asegurar que los motoristas lleven puesto el casco mientras circulan con las motocicletas.

1.2 Antecedentes

Al igual que actualmente ya existe el *Alcolock* (también llamado *Interlock*) para los vehículos, un dispositivo que impide el arranque del vehículo en caso de que el grado de alcoholemia en el aire espirado del conductor sea mayor que el permitido, el presente estudio pretende evaluar las diferentes opciones para el futuro desarrollo de un sistema similar, pero orientado a los motoristas y al uso obligatorio del casco. La efectividad del *Alcolock* ha sido ampliamente estudiada, reflejando unos resultados muy positivos. Según un estudio publicado en el año 2008 (*Etilómetros de interrupción de encendido para vehículos automóviles*, realizado por la Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad Automóvil en colaboración con el Centro Zaragoza), el uso del *Alcolock* en España podría contribuir a una reducción del 65% en el número de accidentes con víctimas en los que se ven implicados conductores que han sido sancionados y se han adscrito a programas en los que se utiliza este dispositivo. Por tanto, el uso de este tipo de sistemas resulta de gran interés, más aun cuando es posible orientarlos a vehículos con una elevada tasa de mortalidad como son las motocicletas.

Debido a su gran utilidad, actualmente ya existen prototipos que impiden el arranque de una motocicleta en caso de que el conductor no lleve puesto el casco. Uno de ellos ha sido desarrollado en Argentina (llamado *Casco Inteligente*) y está basado en un sistema invasivo que trabaja con una señal de radiofrecuencia desde el casco al arranque de la moto. Así, el casco incorporaría un sensor de presión que notaría cuando el conductor se quita el casco y enviaría una señal para que la motocicleta se detenga. Actualmente se está intentando impulsar su uso en Argentina a través de proyectos de ley.

Aunque en la actualidad ya existe algún prototipo (basado en sensores) que tiene por objeto impedir el uso de la moto en caso de que el conductor no lleve casco, todavía no ha sido llevado a cabo un estudio que especifique la mejor forma de crear un sistema de tales características. Además, la necesidad de este estudio se enfatiza tras considerar el posible uso de nuevos avances tecnológicos, tanto en sensores como en técnicas de análisis de imagen. Con ello el presente estudio tiene un gran valor añadido, ya que pretende crear una sólida base de conocimiento que posteriormente permita desarrollar el sistema más adecuado a la tecnología existente.

1.3 Objetivo del estudio

El objetivo de este estudio consiste en garantizar el uso de un elemento de seguridad, como es el casco, en una población con un alto grado de mortalidad en la actualidad, como son los motoristas. Para ello, en este informe se evalúan diferentes opciones para el desarrollo de un

sistema capaz de impedir el arranque de una motocicleta en caso de que el motorista no lleve puesto el casco. Se analizan dos soluciones alternativas:

- **Uso de sistemas invasivos**, que requieren la implantación de un conjunto de sensores en el casco
- **Uso de sistemas no-invasivos**, basados en técnicas de análisis de imagen.

Este informe, además de presentar una evaluación a nivel técnico de las soluciones, indicando su efectividad y resistencia a la violabilidad, también comprende aspectos económicos como el coste de fabricación y el coste de implantación (véase la Sección 4.2 para más detalle).

2. Sistema invasivo

2.1 Diseño

El sistema invasivo considerado en este estudio se basa en las medidas capturadas por un sensor para decidir si el motorista lleva puesto el casco o no. Convencionalmente, su arquitectura requiere la instalación de tres componentes (dos en el casco y uno en el chasis de la motocicleta):

- Un sensor, instalado en el casco: captura una serie de medidas que son enviadas al receptor instalado en el chasis de la motocicleta y sirven para determinar si el motorista lleva puesto el casco o no.
- Un suministro de energía (generalmente en forma de batería), instalado en el casco: alimenta el sensor y posibilita su funcionamiento.
- Un receptor, instalado en el chasis de la motocicleta: recibe las medidas tomadas por el sensor, las analiza, y comunica a la unidad de control de la motocicleta si debe arrancar o no.

No obstante, este sistema tiene el inconveniente de requerir un mantenimiento considerable. Concretamente, puesto que el suministro de energía suele estar basado en una batería, y esta tiene una capacidad limitada, se necesita realizar una recarga periódica. Esto trae consigo tanto un alto coste económico así como una gran pérdida de efectividad, ya que el sistema dejaría de funcionar hasta que la batería sea nuevamente recargada. Este tipo de sistemas han sido empleados en numerosas aplicaciones, incluyendo la solución *Casco Inteligente* desarrollada en Argentina. Así, los trabajos previos que son capaces de determinar si un motorista lleva puesto el casco o no tienen margen de mejora y no son soluciones definitivas.

En este estudio se propone una arquitectura que emplea la tecnología RFID (*Radio Frequency Identification*), más moderna y válida para dar soporte a soluciones basadas en sensores remotos que prescinden de baterías (véase Figura 1).



Figura 1 – Diseño del sistema invasivo.

Esta nueva arquitectura emplea los siguientes componentes:

- Un sensor, instalado en el casco: captura una serie de medidas que son enviadas a la etiqueta RFID instalada en el casco y sirven para determinar si el motorista lleva puesto el casco o no.
- Tag RFID pasivo, instalado en el casco: es una etiqueta RFID compuesta por un circuito integrado y una antena. Además de proporcionar un identificador único recibe los valores del sensor y los envía al lector RFID instalado en el chasis de la moto.

- Lector UHF RFID, instalado en la motocicleta: mediante la antena (UHF -*Ultra High Frequency*-) envía potencia y se comunica por radiofrecuencia con la etiqueta RFID instalada en el casco. Es el encargado de analizar las medidas del sensor y comunicar a la unidad de control de la motocicleta si debe arrancar o no.

Nótese que este nuevo sistema no requiere de baterías, la alimentación que necesita el sensor es proporcionada por el tag RFID, el cual a su vez se alimenta por las ondas de radiofrecuencia enviadas por el lector RFID. Este último sí que requiere de alimentación, pero la obtiene de la propia motocicleta.

El sistema descrito es válido independiente del sensor que se quiera utilizar. Así, se podría optar por un sensor de presión instalado en el interior del casco para observar si la cabeza del motorista está dentro del mismo (similar a la solución *Casco Inteligente* mencionada en el apartado anterior), o por un sensor laser instalado en el interior del casco que informa si el rayo laser ha colisionado con la cabeza del motorista o no. No obstante, en este estudio se ha considerado el uso de un sensor magnético instalado en la correa del casco, capaz de indicar si el casco está abrochado o no. Esta información, junto con el hecho de que para que el sistema funcione se necesita que el emisor y lector estén próximos entre sí, es utilizada para determinar si el motorista lleva puesto el casco (correa abrochada y sensor emitiendo) o no (correa desabrochada o sensor no emitiendo). Se ha optado por este diseño teniendo en cuenta que el coste de implantación que supone cambiar las correas de los cascos es mucho menor que las alternativas que requieren modificaciones más agresivas y caras en el casco. Adicionalmente, este diseño también permite identificar si el motorista lleva correctamente colocado el casco, es decir, si lo lleva abrochado o no.

También habría que señalar que actualmente no existe un desarrollo comercial del presente diseño, ya que la tecnología RFID aplicada a sensores es bastante nueva. No obstante, ya hay empresas especializadas en esta tecnología que han desarrollado prototipos con otros tipos de sensores (Sección 2.1.2), de tal manera que la solución propuesta en este estudio resultaría viable en un futuro medio/cercano. Así, esta alternativa se ha estudiado desde un punto de vista teórico.

2.1.1 Instalación

El lector UHF RFID debería ser instalado en una zona próxima al cuadro de mandos de la motocicleta. Esto supondría dos ventajas: por un lado se evitarían los posibles daños que el calor desprendido por el motor podría causar en el lector, y por otro, se minimizaría la distancia entre el lector y el emisor RFID, mejorando su comunicación.

Por su parte, la instalación del elemento compuesto por el tag RFID pasivo y el sensor es dependiente de las medidas que se quieran tomar. En este estudio se ha optado por un sensor magnético en la correa del casco, y por tanto, su instalación necesariamente debe ser en ese mismo punto.

2.1.2 Características técnicas

Puesto que la adaptación de la tecnología RFID al ámbito de los sensores es un concepto nuevo, existen pocas empresas especializadas en ello. *Farsens Solutions* (<http://www.farsens.com/>) es una de estas pocas empresas que ya ha desarrollado prototipos con diferentes tipos de sensores. Por tanto, a continuación se muestran las características técnicas del sistema RFID que ofrece la empresa *Farsens Solutions*, el cual ha sido utilizado como base para la realización de este estudio.

- Tiene una alta conectividad, ya que utiliza estándares de comunicación:

- El protocolo de comunicación de radio frecuencia está basado en el estándar EPC C1G2 (el estándar de comunicación para UHF RFID).
- El tag RFID pasivo utiliza el estándar SPI (*Serial Peripheral Interface*) para comunicarse con los sensores externos comerciales. Para ello, el tag RFID pasivo incorpora un maestro SPI capaz de gestionar la comunicación (Figura 2).

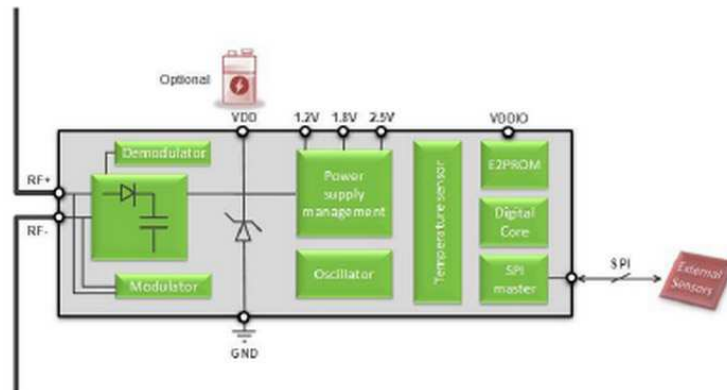


Figura 2 – Diseño del tag RFID pasivo de la empresa *Farsens Solutions* (©Farsens Solutions).

- No requiere de baterías auxiliares para alimentar a los sensores, aunque ofrece la posibilidad de ello (Figura 2). La alimentación es proporcionada por el tag RFID pasivo, el cual extrae la alimentación de las ondas de radiofrecuencia emitidas por el lector RFID:
 - El tag RFID pasivo es capaz de ofrecer voltajes de 1.2V, 1.8V y 2.5V a los sensores.
- Tiene unas dimensiones reducidas:
 - Los dispositivos prototipo desarrollados por Farsens, que incluyen toda la integración del tag RFID pasivo, una antena y el sensor externo, tienen unas dimensiones de 128-20mm (Figura 1).

2.2 Funcionamiento

2.2.3 Estado del arte

A continuación se detallan algunos de los prototipos basados en sensores que han sido desarrollados con el objeto de detectar si un motorista lleva puesto el casco o no:

- Casco inteligente (2008) [1]: requiere de un sensor de presión instalado en el interior del casco, que identifica si el conductor se lleva puesto el casco o no. Así, esta información es enviada mediante la señal correspondiente (por radiofrecuencia) al receptor, que está instalado en el chasis de la motocicleta. Finalmente, el receptor procesa los datos recibidos y le comunica a la unidad de control de la motocicleta si debe permitir el arranque o no. Ha sido desarrollado en Argentina y actualmente su uso se está intentando impulsar a través de proyectos de ley. Su principal desventaja es que el sensor instalado en el casco requiere de una batería adicional que lo alimente.
- Patente [2]: El sistema se compone de dos partes (ver Figura 3): una asociada a la motocicleta (A) y otra asociada al casco (B). La parte asociada al vehículo (A) se trata de un emisorreceptor (célula fotoeléctrica, láser o similar) que se alimenta de la batería del vehículo e impide el encendido de este a no ser que el casco esté situado en tal

posición que (B) devuelva la señal emitida por (A). La unidad (B) asociada al casco se trata, en el caso de utilizar una célula fotoeléctrica, de un sistema reflectante que se puede adherir a la parte del casco que permita un óptimo alineamiento con la unidad (A). Su principal desventaja radica en que es necesario un buen alineamiento entre emisorreceptor de la moto y el reflectante del casco, lo cual limita su robustez.

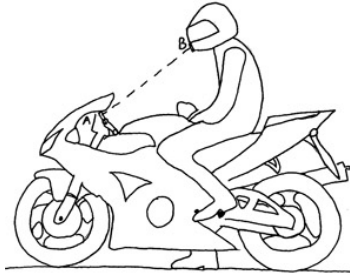


Figura 3 – Sistema que detecta la presencia de un casco mediante el uso de un reflectante instalado en el casco (B).

- Patente [3]: El sistema (ver Figura 4) requiere de un sensor de contacto (15) situado dentro del casco de protección (1), que al detectar la cabeza del usuario dentro del casco de protección envía una señal al dispositivo de control (110) instalado en la motocicleta. Posteriormente, el dispositivo de control instalado en la motocicleta se pone en contacto con el lector de tarjetas inteligentes (11) ubicado en el casco, el cual leerá y reconocerá el código de la tarjeta inteligente instalada en la correa del casco (12). Una vez que el dispositivo de control haya recibido y reconocido el código de la tarjeta, este enviará una señal a la unidad de control de la motocicleta, permitiendo su ignición. Como resultado, la ignición de la motocicleta es imposible excepto si el usuario lleva puesto el casco de protección. Su principal desventaja es que los dispositivos instalados en el casco requieren de una batería adicional que los alimente.

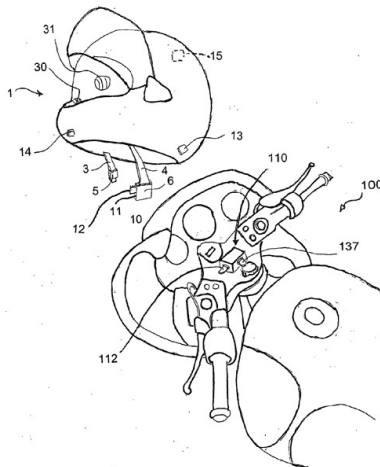


Figura 4 – Sistema que detecta la presencia de un casco mediante el uso de un sensor y una tarjeta inteligente.

Referencias:

[1] <http://solooffroad.com/1/1228312058/actualidad/sin-casco-la-moto-no-arranca#.UKYjM-Tbrh4> (2012)

[2] Dispositivo de seguridad cuyo objeto es evitar el encendido de una motocicleta o ciclomotor en el caso de que el conductor no lleve el casco debidamente colocado. Pelayo Alonso Atienza.

Número de publicación: 2 211 340, Número de solicitud: 200202975, Int. Cl.: B62H 5/00, A42B 3/04. 01/07/2004

[3] KNOW HOW S.R.L., Sistema de seguridad para casco de protección para motoristas. Massimiliano Luciani. Número de publicación: EP1746910B1, Int. Cl.: B62H 5/00, A42B 3/30, B62J 27/00, A42B 3/04. 09/09/2010.

2.2.4 Sistema propuesto

El sistema propuesto comparte varias similitudes con los prototipos existentes presentados en la Sección 2.2.3. No obstante, el sistema descrito en esta memoria presenta varias ventajas, tales como poder prescindir de una batería adicional en el casco (los sensores del casco se autoalimentan) o un menor coste de implantación (solo requiere modificar las correas de los cascos).

Asumiendo el sistema invasivo mostrado en la Figura 1, donde el tag RFID pasivo es soldado a un soporte que incluye una antena y un sensor magnético y está instalado en la correa del casco, y que el lector RFID está instalado en el chasis de la moto, el funcionamiento sería el siguiente (Figura 5):

1. El lector UHF RFID envía la potencia y la comunicación por radio frecuencia, pidiendo el número de identificación de los tag en el área de influencia.
2. El tag RFID pasivo recibe la potencia y la comunicación desde la antena, desmodula la comunicación, procesa la información y envía su ID único al lector.
3. El lector pide los datos del sensor magnético al tag específico (utilizando su ID único).
4. El tag RFID pasivo correspondiente se comunica con el sensor magnético integrado.
5. El sensor magnético obtiene las medidas y se las envía al tag RFID pasivo.
6. El tag RFID pasivo modula las medidas obtenidas por el sensor y las envía de vuelta al lector UHF RFID.
7. En caso de que se haya detectado la presencia de un casco (tag RFID dentro del área de influencia del lector y casco abrochado), permitir arrancar la moto. En caso contrario, bloquear el arranque de la moto hasta detectar la presencia de un casco.

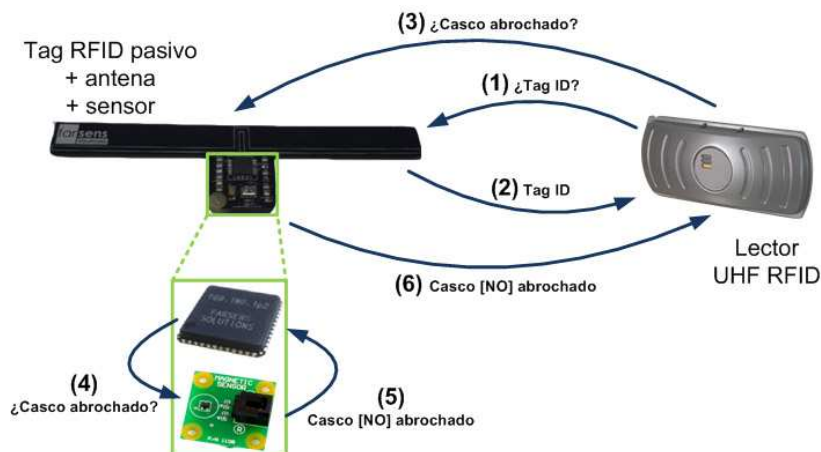


Figura 5 – Funcionamiento del sistema invasivo.

3. Sistema no-invasivo

3.1 Diseño

El sistema no-invasivo considerado en este estudio se basa en el análisis de imagen para determinar si el motorista lleva puesto el casco o no. Su arquitectura requiere la instalación de dos componentes en el chasis de la motocicleta¹ (véase Figura 6):

- Una cámara: obtiene imágenes de la parte superior del cuerpo del conductor (principalmente la cabeza).
- Una unidad de procesamiento: analiza la imagen capturada por la cámara y determinar en base a ello si el conductor lleva puesto el casco o no. Además, es la encargada de comunicar a la unidad de control de la motocicleta si debe arrancar o no.



Figura 6.- Diseño del sistema no-invasivo.

3.1.1 Instalación

No existe ninguna limitación sobre la ubicación de la unidad de procesamiento, puede ser instalada en cualquier parte del chasis de la motocicleta. No obstante, deberá ser un lugar en el que la unidad de procesamiento no se vea dañada por unas condiciones ambientales extremas. Así, por ejemplo, la unidad de procesamiento debería ubicarse a una distancia mínima del vano motor, asegurando que el calor desprendido por el motor no dañe sus componentes electrónicos.

La instalación de la cámara, sin embargo, requiere de mayor atención, ya que en el campo de visión de la cámara debe aparecer totalmente visible la cabeza del conductor. Debido a este requisito, el lugar idóneo para su instalación es el cuadro de mandos (véase Figura 6). Desde esa posición es posible obtener una buena imagen de la cabeza del conductor, sin obstáculos

¹ Aunque esta alternativa implica la instalación de dos componentes en el chasis de la moto, no necesita adecuar el casco del motorista, razón por la cual se ha denominado sistema no-invasivo.

intermedios que dificulten la visibilidad. Nótese que esta última característica es extrapolable a todas las motocicletas, ya que por el diseño de estas necesitan que la línea de visión entre los ojos del motorista y el cuadro de mandos sea directa, facilitando la lectura de los indicadores del cuadro de mandos.

3.1.2 Características técnicas

La unidad de procesamiento no requiere de unas características hardware concretas. No obstante, cuanto mayor sean sus capacidades de cómputo, menor será el tiempo de respuesta del sistema.

Tampoco hace falta instalar una cámara de altas prestaciones, basta con una cámara convencional capaz de grabar videos con una resolución de 640x480 pixeles a 25 fotogramas por segundo. No obstante, cámaras como las utilizadas en la industria de los videojuegos (por ejemplo en el dispositivo Kinect para la consola Xbox), son capaces de ofrecer una estimación de profundidad (distancia) para cada uno de los pixeles de la imagen, lo que simplifica el funcionamiento del sistema al poder eliminar todas aquellas zonas de la imagen que están alejadas de la cámara (véase Sección 3.2.4 para más detalle). En este informe se presentan resultados para ambas configuraciones (véase Sección 4.2).

3.2 Funcionamiento

3.2.3 Estado del arte

Existen varios trabajos de visión por computador relacionados con la monitorización del tráfico de motocicletas [1,2]. Sin embargo, pocos trabajos de investigación son capaces de determinar si una persona lleva puesto el casco o no en base al análisis de imagen (se trata de una técnica novedosa que aun no ha sido explorada totalmente). A continuación se enumeran las ideas propuestas por algunos autores:

- Técnicas como [3,4] se basan en la forma circular de los cascos. Para ello hacen una búsqueda de objetos circulares en la imagen, y en caso de encontrar círculos de un tamaño considerable en la imagen asumen la presencia de un casco. No obstante, la cabeza humana también tiene una forma ovalada, por lo que este tipo de técnicas tienen dificultad para determinar si una persona lleva puesto el casco o no. Así, una clasificación basada únicamente en la forma sufre de un considerable número de falsos positivos (clasificar un objeto circular como casco cuando realmente no lo es).
- Otras técnicas se basan en la apariencia (color, textura, etc.) de los objetos para determinar su presencia en la imagen [5,6]. Dado un conjunto de imágenes de referencia, estas técnicas extraen un conjunto de características visuales (puntos, líneas, círculos, etc.) de la apariencia del objeto. Así, cuando llega una nueva imagen tratan de encontrar un emparejamiento positivo entre las características visuales de la nueva imagen y las características visuales de referencia. Sin embargo, a pesar de ser técnicas que han demostrado muy buenos resultados en algunos casos, estas no son válidas para la detección de cascos, ya que la variabilidad de la apariencia de los cascos es intratable. Existen numerosos modelos de casco, cada uno de ellos con una apariencia diferente (diferentes colores y dibujos impresos sobre su superficie).
- Recientemente, en [7] se ha presentado un trabajo basado en las diferentes propiedades reflectantes que tienen los cascos respecto a las cabezas humanas. Según este estudio, en los cascos la parte media superior es más brillante que la parte media inferior (Figura 7 (a)), mientras que las cabezas de las personas presentan un brillo más constante en ambas zonas.

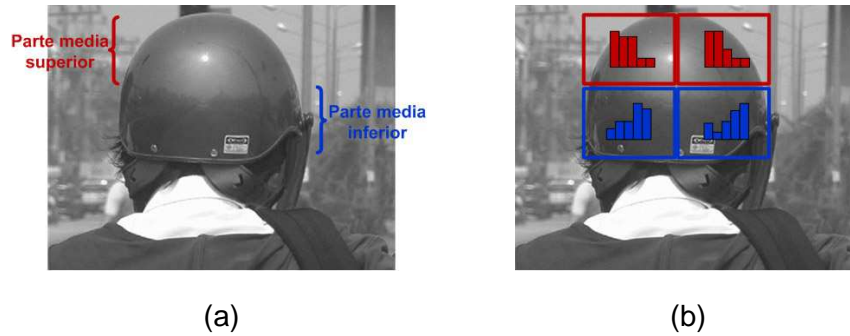


Figura 7.- Diferencia de brillo entre las partes media superior e inferior de un casco.

Para explotar esa diferencia, [7] calcula un histograma de los niveles de intensidad en cada una de las 4 subregiones de la región donde se estima la presencia de un casco o una cabeza (véase Figura 7 (b)). Esta región de interés es obtenida a partir de la detección completa de la motocicleta. Inicialmente se detecta la motocicleta en la imagen, y posteriormente, la región que contiene el casco es extraída en base a unas proporciones. Así, si existe una diferencia notable entre las subregiones superiores e inferiores de esta área, el objeto en cuestión se clasifica como casco, y en caso contrario se asume que es una cabeza. Además, esta decisión se realiza mediante un clasificador que ha sido entrenado previamente con un conjunto de imágenes conocidas, donde se sabe cuál es la región de interés en la imagen y si se trata de un casco o una cabeza. Según el autor del estudio, los resultados han sido positivos, obteniendo una clasificación correcta en más del 90% de los casos analizados.

3.2.4 Sistema propuesto

Para poder detectar si un motorista lleva puesto el casco o no en base al análisis de imagen hay que resolver las siguientes dificultades:

1. Detectar la región de interés donde potencialmente se encuentra el casco del motociclista.
2. Determinar si el contenido de la región de interés es un casco o no.

Nótese que debido al diseño del sistema no-invasivo las imágenes capturadas por la cámara únicamente ofrecen visibilidad de la parte superior del motociclista. Por tanto, no pueden utilizarse técnicas basadas en la detección completa de la moto y que posteriormente extraen la región del casco en base a proporciones [7]. Así, el primero de los problemas se ha resuelto con una técnica similar a la utilizada en [3,4]. No obstante, en vez de hacer una búsqueda de círculos/elipses en la imagen, se ha optado por buscar en la imagen el patrón mostrado en la Figura 8. Este patrón es genérico, ya que es compartido por todo tipo de cascos (integral, jet y modular). Asimismo, ofrece más flexibilidad que los/las círculos/elipses, ya que este patrón es detectable a pesar de que la parte superior e inferior del casco estén parcialmente fuera de la imagen (Figura 9). Además, esta casuística es generada como consecuencia de un acercamiento entre el casco y la cámara, el cual resulta un movimiento muy común y natural en los motoristas.

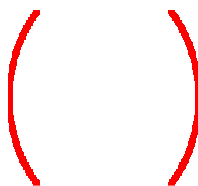


Figura 8.- Patrón de referencia utilizado para detectar un casco en la imagen.

Para detectar la presencia del patrón de la Figura 8 en la imagen se ha utilizado la técnica descrita en [8]. Los pasos a ejecutar son los que se detallan a continuación (Figura 9):

1. Se calculan los bordes de la imagen de la cámara (cambios bruscos de intensidad).
2. Se desplaza el patrón de referencia a lo largo de la imagen de bordes, aplicándole diferentes rotaciones y factores de escala. Además, se evalúa cada una de las transformaciones del patrón mediante el emparejamiento de los bordes entre la imagen y el patrón de referencia transformado. Esta evaluación es definida por una función de similitud basada en la dirección de los gradientes (véase [8] para más detalles sobre esta función).
3. El reconocimiento se considera positivo en caso de que el valor máximo de la función de similitud esté por encima de un umbral prefijado; y los parámetros de posición, rotación y escala del patrón reconocido son aquellos donde se ha obtenido el valor máximo de la función de similitud.
4. Se refinan los parámetros obtenidos mediante mínimos cuadrados. Se minimiza la distancia entre el patrón de referencia y los bordes de la imagen más cercanos. Puesto que en el paso 2 se ha discretizado la búsqueda de la parametrización óptima, este paso de refinamiento genera una solución más precisa partiendo de una solución cercana a la óptima.

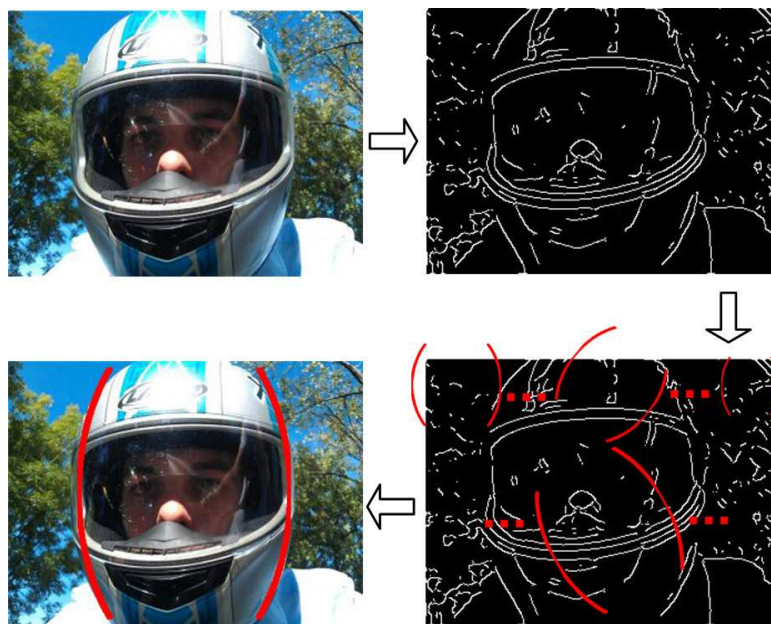


Figura 9.- Pasos a ejecutar para detectar la presencia de un patrón de referencia en una imagen.

Nótese que esta técnica puede tener dificultades en aquellos escenarios en los que hay un gran número de bordes en la imagen, generalmente localizados en el fondo de la imagen. Esto podría provocar una evaluación muy positiva en zonas donde hay mucho borde pero no hay casco. Por tanto, para minimizar este efecto el sistema propuesto podría incorporar una cámara capaz de estimar la profundidad de cada píxel de la imagen. Con ello se podría filtrar la imagen de entrada y no procesar aquellos píxeles de la imagen cuya profundidad (distancia) sea mayor que un umbral prefijado (Figura 10). Puesto que la cámara va instalada en el cuadro de mandos, relativamente cerca de la cabeza del motorista, todos aquellos píxeles que presenten una profundidad elevada pueden considerarse como píxeles pertenecientes al fondo de la imagen.



Figura 10.- Extracción de bordes (imagen derecha) para una imagen de entrada (imagen izquierda) tras eliminar los píxeles cuya distancia a la cámara es mayor que un umbral prefijado (imagen central).

Este tipo de cámaras han evolucionado en los últimos años, e incluso ya se han comercializado en el sector de los videojuegos. Un ejemplo de ello es el dispositivo Kinect para la consola Xbox (Figura 11), que incorpora un laser infrarrojo, un sensor de imagen CMOS que detecta los reflejos del haz infrarrojo, y un sensor de imagen CMOS que captura imágenes RGB. Así, los puntos proyectados por el laser infrarrojo son detectados por el sensor infrarrojo, y en función de la intensidad de cada punto se estima su profundidad. El color de cada punto es asignado en función de los valores registrados por el sensor RGB.

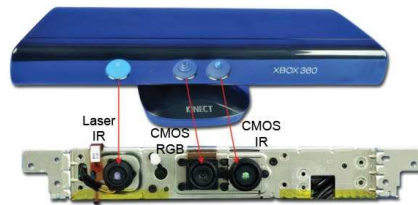


Figura 11.- Dispositivo Kinect para la consola Xbox.

A pesar de que las ventajas que ofrece Kinect en la detección de cascos en base al análisis de imagen son evidentes, actualmente su precio ronda los 100 euros. Así, en el siguiente informe se han estudiado ambas posibilidades (véase Sección 4.2), utilizando una cámara convencional (*cámara RGB*) y utilizando un dispositivo Kinect (*cámara profundidad*), con el objeto de ponderar tanto la efectividad como el coste del sistema no-invasivo.

Una vez se ha detectado la región de interés en la imagen, la siguiente dificultad que hay que abordar consiste en determinar si dicha región es un casco o se trata de cualquier otro objeto. A diferencia de las técnicas descritas en [3,4], el sistema propuesto no determina la presencia de un casco en la imagen simplemente por haber detectado el patrón de referencia. Se ha empleado la misma técnica que [7] (explicada en el apartado anterior), que se basa en las diferentes propiedades reflectantes que tienen los cascos respecto a las cabezas humanas, y que reduce los falsos positivos. Así, se calcula un histograma de los niveles de intensidad para cada una de las 4 zonas en las que se divide la región de interés, y se concatenan todos ellos para formar un único vector descriptor de la región global (Figura 12).

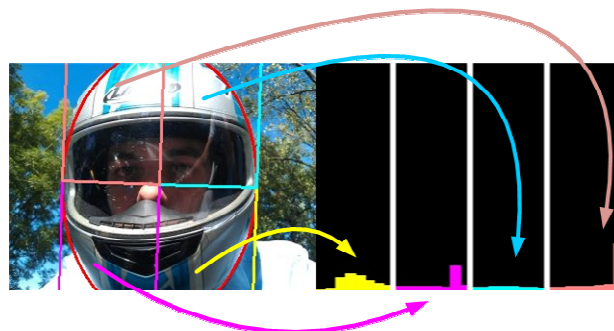


Figura 12.- Vector descriptor (derecha) de una región de interés (izquierda).

Además, para determinar si el vector descriptor obtenido se corresponde con un casco o no se ha utilizado un clasificador de aprendizaje supervisado llamado *Support Vector Machine* (SVM). Inicialmente se ha creado un conjunto de imágenes conocidas, donde se sabe cuál es la región de interés en la imagen y si se trata de un casco o no. Posteriormente se ha calculado el vector descriptor de cada una de las regiones seleccionadas, y se han utilizado estos vectores para entrenar el clasificador. Así, tras finalizar el entrenamiento el clasificador extrae unas reglas de decisión que le permiten determinar si una nueva región de entrada es un casco o no, es decir, si la nueva región se asemeja a los ejemplos de casco introducidos o no.

Con todo ello, el funcionamiento del sistema no-invasivo podría resumirse en:

- 1. Detectar en la imagen la región donde se estima que hay un casco.**
- 2. Calcular el vector descriptor de la región de interés y determinar si dicho vector se corresponde con el de un casco (compararlo con la base de datos de ejemplos disponibles mediante un clasificador SVM).**
- 3. En caso de que se haya detectado la presencia de un casco, permitir arrancar la moto. En caso contrario, bloquear el arranque de la moto hasta detectar la presencia de un casco.**

Referencias:

- [1] Kanhere, N.K., Birchfield, S.T., Sarasua, W.A., Khoeini, S., "Traffic monitoring of motorcycles during special events using video detection", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2160, no. 1, pp. 69–76, Dec. 2010.
- [2] Buch, N., Velastin, S.A., Orwell, J., "A Review of Computer Vision Techniques for the Analysis of Urban Traffic", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol.12, no. 3, pp. 920-939, Sept. 2011.
- [3] Wen, C.Y., Chiu, S.H., Liaw, J.J., Lu, C.P., "The safety helmet detection for ATM's surveillance system via the modified Hough transform", *IEEE 37th Annual International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)*, pp. 364–369, Oct. 2003.
- [4] Chiu, C.C., Ku, M.Y., Chen, H.T., "Motorcycle detection and tracking system with occlusion segmentation", *IEEE CS Eighth International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services (WIAMIS)*, pp. 32–32, Jun. 2007.
- [5] Lowe, D. G., "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints", *International Journal of Computer Vision*, vol. 60, no. 2, pp. 91-110, 2004.
- [6] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Van Gool, L. "SURF: Speeded Up Robust Features", *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, vol. 110, No. 3, pp. 346--359, 2008.
- [7] Chiveron, J., "Helmet presence classification with motorcycle detection and tracking," *IET Intelligent Transport Systems*, vol.6, no.3, pp.259-269, Sep. 2012.
- [8] Steger, C., "Occlusion, Clutter, and Illumination Invariant Object Recognition", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIV, part 3A, pp. 345-350, 2002.

4. Experimentos

4.1 Metodología

4.1.1 Sujetos del estudio

Este estudio tiene por objeto evaluar un sistema genérico, válido para todos los motoristas (hombres y mujeres) y tipos de casco (modular, integral y jet). Sin embargo, cuando un casco modular está cerrado, su apariencia es similar a la de un casco integral, y cuando un casco modular está abierto, su apariencia es similar a la de un casco jet (Figura 13). Así, dado que el tipo de casco modular no supone mayor casuística, no se han tomado medidas para este tipo de casco.



Figura 13 – Tipos de casco.

Los sujetos utilizados han resultado ser un hombre y una mujer, ambos equipados con dos tipos de casco, integral y jet (Figura 14).



Figura 14 – Clasificación tipo-sujeto / tipo-casco.

Nótese que la distinción entre los diferentes tipos de motoristas y tipos de cascos no es crítica para los sistemas invasivos, pero podría tener gran importancia en los sistemas no invasivos debido a que estos están basados en el análisis de imagen, y por tanto, dependen de la apariencia de las personas/objetos.

4.1.2 Selección de los sujetos

Puesto que en el estudio no influyen las habilidades de conducción, los sujetos han sido reclutados dentro de la propia organización del CEIT atendiendo a sus cualidades físicas. Esta decisión no desvía los resultados y ha acelerado el proceso de reclutamiento.

4.1.3 Variables de Estudio

Para evaluar las diferentes soluciones que impiden el uso de las motocicletas en aquellos casos en los que los motoristas no llevan casco se han tenido en cuenta las siguientes variables:

1) **Coste económico:** coste económico que supone la fabricación de cada una de las soluciones.

2) **Coste de implantación:** dificultad de implantación de cada una de las soluciones teniendo en cuenta la infraestructura actual.

3) **Efectividad:** tasa de éxito de cada una de las soluciones a la hora de detectar la no presencia de casco.

4) **Violabilidad:** dificultad para engañar a cada una de las soluciones (simular el uso del casco).

Así, el sistema ideal sería aquel con un coste económico bajo y un coste de implantación mínimo, pero con una alta efectividad y sin violabilidad aparente.

4.1.4 Toma de datos

Para generar el conjunto de datos que ha sido utilizado en la evaluación de las dos alternativas (invasivo y no-invasivo), se ha solicitado a los sujetos que simulen diferentes posturas encima de la motocicleta. Concretamente, han simulado 3 posiciones diferentes, que difieren en la distancia entre el casco y el componente que toma las medidas (el sensor para el sistema invasivo y la cámara para el sistema no-invasivo, ambos instalados en el cuadro de mandos) (véase Figura 15). Estas 3 posiciones se han correspondido con las siguientes distancias: 70-90 cm (distancia lejana, columna izquierda de la Figura 15), 50-70 cm (distancia media, columna central de la Figura 15), 30-50 cm (distancia cercana, columna derecha de la Figura 15).

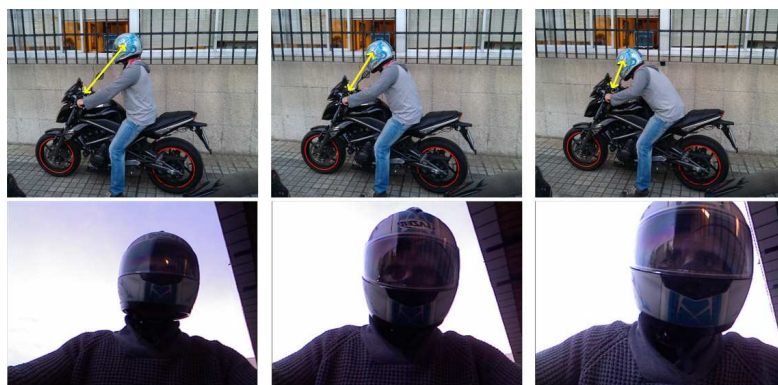


Figura 15 – Diferentes posturas simuladas por un sujeto. En color amarillo se ha resaltado la distancia entre el casco y el cuadro de mandos de la motocicleta.

Además, para cada una de estas posturas se han generado diferentes condiciones ambientales (Figura 16), como por ejemplo, que la visera del casco esté subida o bajada, o que el fondo de la imagen esté más o menos despejado (con o sin la presencia de otros objetos). Asimismo, se han hecho pruebas con diferentes condiciones de iluminación, es decir, de día y de noche (para la obtención de imágenes nocturnas se incorporó una linterna al sistema, véase la imagen derecha de la Figura 16). El objetivo ha sido generar una casuística suficientemente representativa de la realidad como para que los resultados obtenidos sean válidos.



Figura 16 – Diferentes condiciones ambientales simuladas para la toma de datos.

Sistema invasivo

Para la solución basada en sensores solo se han anotado las distancias entre el tag RFID pasivo, situado en el casco, y el lector RFID, instalado en el cuadro de mandos de la motocicleta. Es decir, se han registrado las distancias entre el casco y el cuadro de mandos de la motocicleta. Estas distancias, junto con las especificaciones de los sensores, bastan para determinar si los sensores están dentro del área de influencia, y por consiguiente, saber si el sistema funciona.

Sistema no-invasivo

Para la alternativa basada en el análisis de imagen se han capturado imágenes de los sujetos en cada una de las posiciones simuladas encima de la motocicleta. Para la toma de estas imágenes se ha utilizado un dispositivo Kinect instalado en el cuadro de mandos (Figura 17), a modo de prototipo del diseño propuesto en la Sección 3.1. Así, mediante este dispositivo se han capturado dos imágenes para cada simulación: una imagen RGB, y una imagen de profundidad. Con ello se ha conseguido poder comparar los efectos de disponer de una cámara con profundidad (que ofrece la imagen de profundidad) frente a una cámara convencional (que ofrece la imagen RGB) (véase Sección 4.2).

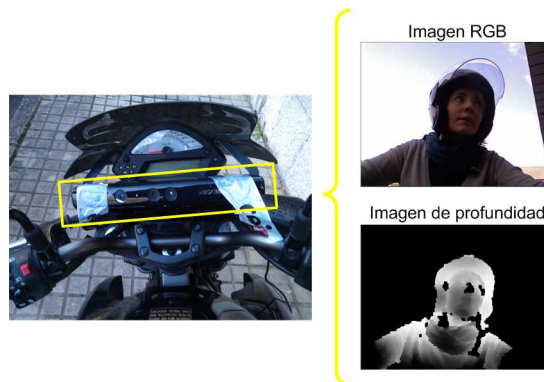


Figura 17 – Prototipo del sistema no-invasivo equipado con un dispositivo Kinect (izquierda). Imágenes proporcionadas por el dispositivo Kinect (derecha).

Estas imágenes se han utilizado como entrada para el módulo de software desarrollado, capaz de detectar automáticamente si hay un casco en la imagen o no. La descripción de este módulo de software se corresponde con la Sección 3.2.4.

Por otro lado, también se han utilizado imágenes de diferentes cascos y objetos, donde los objetos (balones, cabezas, etc.) tienen forma ovalada y una apariencia semejante a la de un casco (véase Figura 18). Las imágenes donde hay un casco se han utilizado como ejemplos positivos de la apariencia de un casco, mientras que las imágenes con objetos se han utilizado a modo de ejemplos negativos. Así, todos los ejemplos han sido utilizados para entrenar el clasificador encargado de decidir si el objeto detectado en la imagen es un casco o no (Sección 3.2.4).



Figura 18 – Algunos ejemplos utilizados para entrenar el clasificador encargado de decidir si el objeto detectado en la imagen es un casco o no.

4.1.5 Gestión de datos

Los datos obtenidos durante el proceso de toma de medidas han sido guardados en formato digital para facilitar su posterior tratamiento y consulta. Se han registrado cada una de las pruebas realizadas con cada sujeto, posibilitando la posterior consulta de cualquier medida tomada.

4.1.6 Consideraciones éticas

A pesar de que se han sacado fotos de la parte superior de los sujetos, incluyendo su rostro, en ningún caso han sido publicadas ni asociadas a una identidad concreta (los datos de este estudio se proporcionan de forma anónima), garantizando su confidencialidad. Asimismo, los sujetos involucrados en la toma de datos han sido informados de esta garantía de confidencialidad.

4.2 Resultados

A continuación se muestran los resultados de cada uno de los sistemas (invasivo y no-invasivo) para cada una de las variables estudiadas:

Coste económico:

Los siguientes datos muestran la estimación del coste que supondría fabricar una unidad de cada uno de los sistemas. No obstante, estos precios son una estimación a la alza, ya que los fabricantes de motos obtendrían cuantiosos descuentos al hacer compras de grandes volúmenes.

Invasivo		No-invasivo	
Concepto	Coste € (Aprox.)	Cámara RGB	Cámara Profundidad
Lector RFID	500	Coste € (Aprox.)	Coste € (Aprox.)
Etiqueta RFID	15	Cámara	100
Sensor magnético	5	Unidad de procesamiento	200
TOTAL	520	TOTAL	300

NOTA: Los valores estimados para el sistema invasivo han sido proporcionados por la empresa Farsens Solutions, mientras que los valores estimados para el sistema no-invasivo se han obtenido tras analizar el mercado.

Así pues, el sistema no-invasivo resulta más económico de fabricar que el sistema invasivo, aunque esta diferencia se vería reducida tras actualizar las estimaciones con volúmenes de compras mayores.

Coste de implantación:

Asumiendo que el parque nacional de motocicletas es de 2.798.043² y que cada motorista dispone de un solo casco, el coste de adecuar todos estos elementos para el sistema invasivo implicaría tener que llevar al taller 2.798.043 motocicletas (para instalar el lector RFID) y cambiar 2.798.043 correas de casco (para instalar la etiqueta RFID y el sensor magnético). El

² Dato obtenido del Anuario Estadístico General del año 2011, publicado por la DGT.

sistema no-invasivo, por el contrario, solo implicaría tener que llevar al taller 2.798.043 motocicletas (para instalar la cámara y la unidad de procesamiento).

Tanto la adaptación de la motocicleta como la del casco resultan viables teniendo en cuenta sus características técnicas. Tanto el sistema invasivo como el no-invasivo se pueden alimentar de la batería de la motocicleta (12V), y en caso de necesitar un voltaje mayor se podría instalar un transformador (cierto es que habría que realizar un estudio sobre su consumo). Así mismo, todos los cascos disponen de correa, la cual puede ser intercambiada por una que sí disponga de la etiqueta RFID y sensor adecuados.

A pesar de que el coste de implantación del sistema no-invasivo es menor que el del sistema invasivo, el coste de cambiar una correa es bastante menor que tener que adaptar una motocicleta, por lo que la diferencia en el coste de implantación se reduce entre ambos sistemas.

No obstante, el coste de implantación de ambos sistemas es elevado si se desea adaptar el parque de motocicletas existentes (de forma retroactiva). Este coste se vería sustancialmente reducido si el sistema se instalase solo en las nuevas motocicletas, integrando su instalación dentro del proceso de fabricación de la propia motocicleta.

Efectividad:

Sistema invasivo

La empresa Farsens Solutions ha experimentado con varias configuraciones diferentes de su sistema RFID (Figura 19). Por ejemplo, al combinar su sistema RFID con un sensor de temperatura ha obtenido un alcance máximo de 2 metros en interiores y 2,8 metros en exteriores. Asimismo, al equipar su sistema RFID con un acelerómetro ha registrado un alcance máximo de 1,2 metros en interiores y 2,2 metros en exteriores. Por tanto, el rango de aplicabilidad del sistema RFID de la empresa Farsens Solutions está comprendido entre 1,2 y 2,8 metros.



Figura 19 - Escenarios indoor (izquierda) y outdoor (derecha) utilizados por la empresa Farsens Solutions con el objeto de comprobar el alcance de su sistema RFID ((©Farsens Solutions).

Por otro lado, puesto que todos los casos simulados en este estudio muestran una distancia entre el casco (etiqueta RFID) y el cuadro de mandos de la motocicleta (lector RFID) menor de 1,5 metros, el sistema invasivo tiene una tasa de éxito teórica del 100%.

Sistema no-invasivo

Las siguientes tablas muestran la tasa de éxito del sistema no-invasivo para la cámara RGB y para la cámara de profundidad. Con la cámara RGB solo se procesa la imagen RGB, mientras que con la cámara de profundidad se utiliza la imagen de profundidad para detectar la región

de casco en la imagen, y la imagen RGB para identificar si dicha región se trata de un casco o no. Además, se ha diferenciado entre la tasa de éxito en la detección de la región del casco (detectar en que zona de la imagen está el casco) y la tasa de éxito en la identificación del casco (decidir si la región seleccionada es un casco o no). También se ha desglosado la tasa de éxito para cada uno de los diferentes contextos que se han simulado durante la toma de datos.

Al utilizar la cámara RGB (Tabla 3), la región de casco es detectada en la imagen con una tasa de éxito del 62,5%, y el casco es correctamente identificado en el 80% de esos casos.

	Criterio selección	Detección Region			Identificación Casco		
		Tamaño muestra	Éxito	% Éxito	Tamaño muestra	Éxito	% Éxito
	Todo	72	45	62,50	45	36	80,00
Tipo casco	Jet	36	14	38,89	14	12	85,71
	Integral	36	31	86,11	31	24	77,42
Entorno	Despejado	24	24	100,00	24	21	87,50
	Ruido	24	14	58,33	14	14	100,00
	Noche	24	7	29,17	7	1	14,29
	Visera arriba	36	22	61,11	22	19	86,36
	Visera abajo	36	23	63,89	23	17	73,91
Sexo	Chica	36	21	58,33	21	20	95,24
	Chico	36	24	66,67	24	16	66,67

Tabla 3 – Tasa de éxito usando una cámara RGB.

Utilizando la cámara de profundidad (Tabla 4), los resultados obtenidos han sido un 41,67% de éxito en la detección de la región de casco y un 73,33% en la identificación del casco.

	Criterio selección	Detección Region			Identificación Casco		
		Tamaño muestra	Éxito	% Éxito	Tamaño muestra	Éxito	% Éxito
	Todo	72	30	41,67	30	22	73,33
Tipo casco	Jet	36	17	47,22	17	13	76,47
	Integral	36	13	36,11	13	9	69,23
Entorno	Despejado	24	8	33,33	8	8	100,00
	Ruido	24	13	54,17	13	13	100,00
	Noche	24	9	37,50	9	1	11,11
	Visera arriba	36	16	44,44	16	11	68,75
	Visera abajo	36	14	38,89	14	11	78,57
Sexo	Chica	36	15	41,67	15	11	73,33
	Chico	36	15	41,67	15	11	73,33

Tabla 4 – Tasa de éxito usando una cámara de profundidad.

Atendiendo a los diferentes contextos, en la cámara RGB se obtienen muy buenos resultados con el casco integral (86,11% y 77,42%) o en aquellos casos en los que no hay ruido en la imagen (100% y 87,5%). Por el contrario, en condiciones de baja luminosidad (noche), los resultados no son satisfactorios (29,17% y 14,29%). Con la cámara de profundidad ninguno de los resultados es aceptable, independientemente del contexto.

Aunque estos resultados no son positivos, esta perspectiva cambia cuando se introduce el factor distancia en la evaluación. Hay que considerar que la cámara de profundidad solo ofrece información de profundidad para aquellos objetos que están a más de 40-50cm de distancia de la cámara. Por consiguiente, si solo se consideran aquellos ejemplos en los que el casco está a una distancia superior a la requerida (simulaciones con distancia lejana, 70-90 cm, columna izquierda de la Figura 15), los resultados de la cámara de profundidad resultan considerablemente positivos (100% y 70,83%, ver Tabla 5).

	Criterio selección	Detección Región			Identificación Casco		
		Tamaño muestra	Éxito	% Éxito	Tamaño muestra	Éxito	% Éxito
	Todo	24	24	100,00	24	17	70,83
Tipo casco	Jet	12	12	100,00	12	9	75,00
	Integral	12	12	100,00	12	8	66,67
Entorno	Despejado	8	8	100,00	8	8	100,00
	Ruido	8	8	100,00	8	8	100,00
	Noche	8	8	100,00	8	1	12,50
	Visera arriba	12	12	100,00	12	8	66,67
	Visera abajo	12	12	100,00	12	9	75,00
Sexo	Chica	12	12	100,00	12	9	75,00
	Chico	12	12	100,00	12	8	66,67

Tabla 5 – Tasa de éxito para la cámara de profundidad cuando el casco está distante.

De forma análoga, cuando se utiliza la cámara RGB interesa que el casco esté relativamente cerca de la cámara, ya que de esta forma la mayor parte de la imagen pertenece a la superficie del casco, y no a otros objetos presentes en la escena (ruido). Así, si solo se evalúan aquellos ejemplos en los que la cámara y el caso están próximos entre sí (distancia cercana, 30-50 cm, columna derecha de la Figura 15), entonces la tasa de éxito para la cámara RGB se incrementa notablemente (75% y 77,78%, ver Tabla 6).

	Criterio selección	Detección Región			Identificación Casco		
		Tamaño muestra	Éxito	% Éxito	Tamaño muestra	Éxito	% Éxito
	Todo	24	18	75,00	18	14	77,78
Tipo casco	Jet	12	6	50,00	6	5	83,33
	Integral	12	12	100,00	12	9	75,00
Entorno	Despejado	8	8	100,00	8	7	87,50
	Ruido	8	6	75,00	6	6	100,00
	Noche	8	4	50,00	4	1	25,00
	Visera arriba	12	9	75,00	9	8	88,89
	Visera abajo	12	9	75,00	9	6	66,67
Sexo	Chica	12	9	75,00	9	8	88,89
	Chico	12	9	75,00	9	6	66,67

Tabla 6 – Tasa de éxito para la cámara RGB cuando el casco está próximo a la cámara.

Por tanto, aunque debido al alcance de este estudio no se ha podido valorar una opción combinada, en la que dependiendo de la distancia se utiliza la versión RGB (distancia cercana) o la versión de profundidad (distancia lejana), los resultados individuales de cada una de las versiones muestran que sería la solución más adecuada.

Violabilidad:

Sistema invasivo

Cada etiqueta RFID tiene un identificador único, lo que garantiza que la motocicleta no arrancará al menos que el correspondiente casco se encuentre en su radio de alcance, es decir, a una distancia menor de 1,5 metros. Además, puesto que cada identificador es exclusivo, no habrá conflictos entre cascos con diferentes etiquetas RFID. Así, la motocicleta no arrancará aunque en sus inmediaciones haya otro motorista con un casco que incorpore otra etiqueta RFID diferente.

Sin embargo, este sistema no garantiza que el motorista lleve puesto el casco. Basta con que el motorista acerque el casco a la motocicleta a una distancia menor de 1,5 metros y abroche la correa del mismo, independientemente de donde lo lleve puesto. Por ejemplo, el motorista podría llevar el casco en la mano, y aun así, la motocicleta arrancaría. Además, en caso de

poder extraer la etiqueta RFID del casco, el sistema podría permitir el arranque de la motocicleta incluso sin la presencia de ningún casco.

Sistema no-invasivo

El sistema no-invasivo permite el arranque de la motocicleta cuando detecta un casco delante de la cámara, independientemente de si el casco lo lleva puesto una persona o no. Por tanto, si se coloca un casco delante de la cámara, por ejemplo sujetado con un brazo, el sistema reconocerá el casco y permitirá el arranque (Figura 20).



Figura 20 – Ejemplo en el que se rompe la seguridad del sistema no-invasivo.

Por otro lado, a diferencia del sistema invasivo, en el que cada lector RFID es configurado para leer un solo RFID, el sistema no-invasivo no se ha configurado de tal manera que cada casco es asociado a una sola moto. No obstante, aplicar esta asociación es completamente viable desde el punto de vista técnico, e incluso mejoraría los resultados a la hora de clasificar la región detectada como casco o no (Sección 4.2). Así, asumiendo que cada casco es asociado a una sola motocicleta (el propietario sería el responsable de indicar la apariencia de su casco al sistema de detección instalado en la motocicleta), idealmente la motocicleta no arrancaría si se pusiese delante de la cámara un casco diferente al que corresponde (no habría conflictos entre diferentes motoristas/cascos). Hay que señalar que dos motoristas pueden tener el mismo casco o que diferentes cascos pueden tener una apariencia muy similar, por lo que en el comportamiento real del sistema no-invasivo si podrían aparecer conflictos entre motoristas. En estos casos, la motocicleta permitiría arrancar al detectar un motorista con un casco de apariencia similar dentro del campo de visión de la cámara.

5. Discusión

En el siguiente estudio se han presentado dos alternativas diferentes para impedir el arranque de una motocicleta en caso de que el motorista no lleve puesto el casco. La primera de ellas (sistema invasivo) hace uso de un sensor instalado en el casco para detectar si el casco está abrochado y próximo a la motocicleta, mientras que la segunda (sistema no-invasivo) se basa en capturar y procesar imágenes de la parte superior del motorista por medio de una cámara instalada en la motocicleta, pudiendo identificar la presencia de un casco en la imagen.

Respecto a las soluciones existentes, el sistema invasivo descrito en este documento aporta la ventaja de utilizar la tecnología RFID, que permite prescindir de la instalación de baterías adicionales en el casco. La etiqueta RFID instalada en el casco recibe alimentación a través de ondas de radiofrecuencia, y esta a su vez suministra potencia al sensor instalado en el casco. Esta ventaja se traduce en unos costes de fabricación menores (no hay que fabricar baterías), y sobre todo en una reducción notable del coste de mantenimiento (no hay que recargar ni sustituir baterías).

Por su parte, el sistema no-invasivo propuesto en este trabajo de investigación resulta totalmente novedoso. Aunque existen algunas soluciones que identifican motoristas sin casco a través de las cámaras de tráfico, no se ha encontrado ningún trabajo previo o patente basado en el procesamiento de imágenes que impida el arranque de una motocicleta en caso de que el motorista no lleve puesto el casco. Además, se han estudiado dos variantes, una utilizando una cámara convencional que proporciona imágenes RGB, y otra utilizando una cámara capaz de proporcionar imágenes de profundidad.

Comparando ambas soluciones, el sistema no-invasivo parte con la ventaja de no tener que modificar o adaptar el casco, es decir, su implantación es más sencilla teniendo en cuenta la infraestructura actual. Asimismo, el sistema no-invasivo resulta más barato de fabricar, ya que elimina la necesidad de incorporar ningún elemento en el casco. Las vulnerabilidades de ambos sistemas son similares, aunque las del sistema no-invasivo resultan más asumibles (además de acercar el casco a la motocicleta como en el sistema invasivo, el casco debe ser visible por la cámara). Finalmente, el sistema invasivo ha resultado ser más efectivo a la hora de decidir si la motocicleta debe arrancar o no en función de la presencia de un casco (véase la Tabla 7, donde se resume la comparativa entre ambos sistemas).

No obstante, los resultados del sistema no-invasivo hay que valorarlos teniendo en cuenta que no se dispone de trabajos previos (no existe una base de conocimiento previa) y que se ha desarrollado un prototipo inicial en un corto periodo de tiempo dada la complejidad que tiene el sistema. Así, habría que realizar un estudio más profundo, combinando la información proporcionada por las dos variantes propuestas, la imagen RGB y la imagen de profundidad. Además, sería conveniente introducir nuevos métodos de detección e identificación del casco en base al procesamiento de imágenes. Adicionalmente, el sistema no-invasivo evaluado en este estudio no ha impuesto restricciones desde el punto de vista de su funcionamiento, cosa que también habría que considerar (por ejemplo, obligar a que el usuario coloque el casco totalmente visible dentro de la imagen, a una distancia concreta, o que haga un pequeño movimiento con la cabeza para filtrar los objetos que están en movimiento y facilitar su detección).

Así, las conclusiones que se pueden extraer de este estudio son que el sistema invasivo es efectivo a costa de suponer unos costes de fabricación e implantación notables. Por su parte, el sistema no-invasivo tiene unos costes de fabricación e implantación menores, pero su efectividad actualmente no cumple con los valores deseados en todos los entornos. Sin embargo, el sistema no-invasivo si que ha demostrado tener un gran potencial, y sería

necesario llevar a cabo un estudio más profundo para determinar concluyentemente su viabilidad.

	Sistema invasivo	Sistema no-invasivo
Coste de fabricación <i>(sin considerar descuentos por grandes volúmenes de compra)</i>	520 € / unidad	Con cámara RGB: 215 € / unidad Con cámara profundidad: 300 € / unidad
Coste implantación	Habría que instalar un lector RFID en 2.798.043 motocicletas y una etiqueta RFID más un sensor por cada casco.	Habría que instalar una unidad de procesamiento y una cámara en 2.798.043 motocicletas
Efectividad	Tasa teórica del 100% a una distancia menor de 1,5 metros.	Con cámara RGB: 62,5% de éxito en la detección de la región de casco y 80% de éxito en la identificación del casco dentro de la región detectada. Para casos óptimos (distancia 40-50 cm) 75% de éxito en la detección de la región de casco y 77,78% de éxito en la identificación del casco dentro de la región detectada. Con cámara profundidad: 41,67% de éxito en la detección de la región de casco y 73,33% de éxito en la identificación del casco dentro de la región detectada. Para casos óptimos (distancia 70-90 cm) 100% de éxito en la detección de la región de casco y 70,83% de éxito en la identificación del casco dentro de la región detectada.
Violabilidad	Basta con que el motorista acerque el casco a la motocicleta a una distancia menor de 1,5 metros y abra la correa del mismo, independientemente de donde lo lleve puesto.	Basta con poner un casco delante de la cámara, independientemente de si el casco lo lleva puesto una persona o no.

Tabla 7 – Tabla comparativa entre el sistema invasivo y el sistema no-invasivo.