



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
ICAI  
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
Área de mecánica**

## **Herramienta de estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

**Autor: Óscar García Amorós  
Director: Juan de Norverto Moriñigo**

**Madrid  
Junio 2017**



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### **1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.**

El autor D \_\_\_\_\_ ÓSCAR GARCÍA AMORÓS \_\_\_\_\_  
DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:  
\_\_\_\_\_HERRAMIENTA ESTUDIO BIOMECÁNICO ACCIDENTES A BAJA VELOCIDAD\_\_\_\_\_, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2º. Objeto y fines de la cesión.**

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### **3º. Condiciones de la cesión y acceso**

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### **4º. Derechos del autor.**

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### **5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a ...13..... de ...JUNIO..... de ...2017.....

**ACEPTA**

Fdo.....



Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**HERRAMIENTA DE ESTUDIO BIOMECÁNICO ACCIDENTES A BAJA VELOCIDAD** en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2016-2017 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: ÓSCAR GARCÍA AMORÓS

Fecha: 13/ JUNIO/2017



Autorizada la entrega del proyecto  
**EL DIRECTOR DEL PROYECTO**

Fdo.: JUAN DE NORVERTO MORIÑIGO

Fecha: 13/ JUNIO/2017







**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
ICAI  
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
Área de mecánica**

## **Herramienta de estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

**Autor: Óscar García Amorós  
Director: Juan de Norverto Moriñigo**

**Madrid  
Junio 2017**



# **HERRAMIENTA DE ESTUDIO BIOMECÁNICO ACCIDENTES A BAJA VELOCIDAD**

**Autor: García Amorós, Óscar.**

Director: de Norverto Moriño, Juan.

Entidad colaboradora: ICAI–Universidad Pontificia Comillas.

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

### **Introducción:**

Durante muchos años, los accidentes de tráfico han sido una de las principales causas de mortalidad. Su propia naturaleza, capaz de permitir los largos desplazamientos alcanzando elevadas velocidades, los convierte en potencialmente peligrosos. Sin embargo, el continuo avance en la implementación de sistemas de seguridad en los coches ha dado lugar a una paulatina disminución de este índice de mortalidad. En concreto, en el 2015 se cumplió el duodécimo año consecutivo de descenso de dicho índice [1], por contra, el número de accidentes a baja velocidad que terminan en reclamaciones por lesión parece seguir un crecimiento inversamente proporcional, provocando enormes costes sociales [2].

Con este proyecto se persigue el estudio y comprensión en profundidad de los mecanismos biomecánicos que intervienen en los accidentes de baja velocidad. En concreto, se prestará atención a aquellos incidentes que deriven en lesiones físicas personales y en especial, el conocido como Síndrome del Latigazo Cervical (SLC).

El conocimiento adquirido servirá de base para la programación de una herramienta útil para el peritaje de accidentes. Esta herramienta se alimentará de los datos accesibles tras el incidente para evaluar la severidad del mismo. Se pretende servir al perito ingeniero de una herramienta práctica para la elaboración de sus informes periciales.

Para la adecuada creación de esta herramienta, es necesario conocer y comprender en profundidad el proceso físico que interviene en todo proceso de choque. Sin embargo, esto no es suficiente. Por su naturaleza imprevista, es complicado que el mismo instante del choque quede monitorizado de tal forma que se puedan despejar (sin posibilidad de error) todas las circunstancias que rodearon el incidente. Es por este motivo fundamental no solo el conocimiento de la física de los choques, sino el manejo de las herramientas suficientes que permitan la recopilación (a posteriori) de todos los datos necesarios para poder esclarecer el suceso.

Con este fin, se analizarán los distintos conocimientos y herramientas que ayudarán al perito a recopilar tanta información como sea posible, dando así sustento objetivo a cualquier consideración recogida en el informe pericial.

## **Objeto del proyecto:**

Desde que en 1908 Henry Ford comenzase a producir automóviles en su cadena de montaje, este vehículo se ha convertido en el más utilizado a nivel mundial. La facilidad que ofrece a la hora de desplazarse, recorriendo grandes distancias en un tiempo razonable, ha dado lugar a que prácticamente cada familia disponga de al menos un automóvil en los países más desarrollados. En el caso concreto de España, el parque de vehículos ha pasado de 10 a 29 millones entre los años 1980 y 2006 [3].

Precisamente uno de sus atractivos, la alta velocidad que alcanzan en carretera facilitando el rápido desplazamiento, es el origen de su mayor debilidad, los accidentes. Cuando dos coches impactan a velocidades elevadas, los pasajeros terminan sufriendo las consecuencias.

Los accidentes de tráfico han sido históricamente una de las principales fuentes de mortalidad en Europa. Al producirse un choque, la fragilidad del ser humano queda patente. Hasta el año 2009 los accidentes de transporte eran la principal fuente de mortalidad [4]. Para revertir esta situación, y gracias a la continua innovación técnica, se han comenzado a producir vehículos cada vez más seguros, consiguiéndose reducir considerablemente las muertes en carretera.

Si anteriormente la preocupación principal eran los accidentes graves, durante los últimos años comienza a prestársele mayor atención a los conocidos como accidentes de baja velocidad. Estos son accidentes que, si bien no revierten ningún peligro para la vida de los pasajeros, sí pueden ser desencadenantes de lesiones de larga duración como el ya presentado Síndrome del Latigazo Cervical.

El SCL es una afección bastante frecuente, estimándose que entre el 20 y el 52% de los afectados por un accidente de tráfico pueden sufrir esta lesión [5]. Aunque no reviste demasiada gravedad, el problema fundamental que el cuerpo médico se encuentra a la hora de diagnosticarlo es la ausencia de síntomas claros. Para dificultar aún más, en muchas ocasiones, las molestias no aparecen en el momento del accidente sino varios días después.

Estas características tan especiales: alta probabilidad de producirse, ausencia de medios objetivos para su diagnóstico y carácter muchas veces crónico, convierten al SCL en objeto permanente de disputas legales entre los afectados y las empresas aseguradoras. Los primeros exigen una compensación económica por una lesión que merma sus capacidades de llevar una vida normal, mientras que los segundos tienden a ampararse en la subjetividad del diagnóstico (y la, en teoría fácil, simulación de los síntomas) para evitarse el pago de estas indemnizaciones. Las indemnizaciones asociadas en Europa han sido estimadas entre los 5 y los 10.000 millones anuales, con una clara tendencia creciente [5].

Por todo lo expuesto anteriormente, es claro el papel clave que puede desempeñar el perito ingeniero en este tipo de procesos. Un profundo conocimiento de la física de los accidentes puede ayudar a determinar la gravedad del mismo. El ingeniero, por tanto, se erige como figura clave adquiriendo una importante responsabilidad para con la sociedad. Su opinión acerca del accidente, revelada a través de un informe pericial, puede resultar determinante en la decisión final del juez.

Surge así la motivación de ofrecer a través de este proyecto final de máster una visión profunda de toda la problemática ya comentada. Siempre desde el punto de vista de la ingeniería con un claro enfoque técnico. Con la ayuda de los conocimientos técnicos en física y mecánica, se pretende elaborar una herramienta que pueda servir a cualquier perito ingeniero para ofrecer en sus peritajes opiniones fundadas.

En primer lugar, se estudiará el proceso legal que da origen a la necesidad del peritaje. Es imprescindible comprender todo el proceso, así como los requerimientos, para poder elaborar una solución práctica y de utilidad para los peritos. Una vez conocido todo el proceso en profundidad, se analizará el estado del arte asociado a los accidentes de tráfico. Especial atención se pondrá al proceso de recogida de datos. Son muchos los aspectos a tener en cuenta cuando se trata de reconstruir un accidente de tráfico, muchas veces son pequeños detalles los que marcan la diferencia.

Conocidas todas las variables que intervienen en los accidentes, así como las evidencias que dejan tras de sí, se analizará la física detrás de los accidentes de tráfico. Se trata fundamentalmente de mecánica básica, pero debe ser bien entendida, no solo para la reconstrucción del accidente, sino para transmitir al juez (generalmente sin conocimientos de física) lo sucedido, de forma que sea fácilmente comprensible. En este apartado se hará una distinción entre dos modelos diferentes de aproximación al fenómeno de los choques, por un lado, el modelo de choque elástico y por otro, el modelo de choque inelástico.

Se analizará también la importancia que tiene el correcto análisis de las deformaciones sufridas por los vehículos, estudiándose diversos modelos de reconstrucción basados en la deformación sufrida. Este tipo de modelos, aunque interesantes bajo el contexto general de los accidentes de tráfico, tienen poca utilidad a nivel de accidentes a baja velocidad, por ser muy limitados en estos casos las deformaciones que se producen.

A continuación, se analizarán en profundidad las características propias de los choques a baja velocidad, qué los hace diferentes al resto de accidentes y cuáles podrían ser las claves de su análisis. En concreto se prestará especial atención a la comprensión del Síndrome del Latigazo Cervical (SLC) por ser la dolencia más común en este tipo de accidentes y el principal motivo de desacuerdo entre aseguradoras y clientes.

Paralelamente se desarrollará un análisis de algunas de las herramientas disponibles en el mercado enfocadas a la reconstrucción de los accidentes de tráfico. En concreto se analizarán tres herramientas bien diferenciadas entre ellas por el modelo que siguen. RACTT es una herramienta basada fundamentalmente en facilitar ecuaciones al perito, cumpliendo la función de base de datos de fórmulas relevantes en el campo de los choques. BeamNG es una herramienta enfocada a la recreación visual del accidente, no facilita datos numéricos pero su física híper realista permite hacerse una idea muy clara de cómo debió suceder el accidente. Se presenta como una herramienta interesante de apoyo. Por último, se analizará Virtual Crash, la herramienta más potente de las tres que facilita tanto resultados numéricos como visuales.

Una vez se dispone del conocimiento necesario, se procede a la elaboración de una herramienta propia que sirva de ayuda en el proceso de peritaje. La intención es facilitar el trabajo a los peritos a través de un programa sencillo pero útil. Para la elaboración de esta herramienta se utilizará Microsoft Excel por tratarse de una herramienta de uso muy

común y ampliamente extendida en el mercado a nivel mundial. Junto con Microsoft Excel se recurrirá al lenguaje de programación Visual Basic para programar la herramienta.

La herramienta contará con tres apartados bien diferenciados. En primer lugar, un apartado destinado a facilitar el proceso de recogida de datos. Se le ofrece al perito una serie de formularios que contemplan todos los posibles datos a recoger del accidente, divididos en cuatro categorías: datos de la vía, datos del entorno, datos del vehículo y datos de las personas implicadas. El perito deberá limitarse a rellenar los campos que se le solicite y tras finalizar, el programa generará un informe redactado conteniendo toda esta información. De esta forma, el perito se ahorra el trabajo de elaborar un informe tras el proceso de recogida de datos, a la vez que se asegura que es minucioso en su recopilación pues los formularios contienen todo lo necesario. Para la creación automática de los informes se enlazará el programa principal contenido en Microsoft Excel con Microsoft Word a través de la programación en Visual Basic.

En segundo lugar, se implementarán una serie de algoritmos para la reconstrucción del accidente basándose en el modelo de choque elástico. A partir de la velocidad inicial de los vehículos y la masa de éstos, el programa generará un informe con todos los resultados relevantes: aceleración, variación de velocidad, variación de energía cinética y probabilidad de sufrir lesión entre otros. Se acompañará este informe con una serie de gráficos que pueden resultar interesantes al perito para la interpretación del accidente y poder extraer conclusiones sobre la gravedad del mismo.

En tercer lugar, se completará el programa con una serie de algoritmos para la reconstrucción del accidente basándose en el modelo de choque inelástico. También a partir de la velocidad inicial y las masas de los vehículos, se generará de forma automática un informe con todas las variables relevantes. Para la elaboración de los algoritmos de este modelo se utilizarán tres aproximaciones distintas al cálculo del coeficiente de restitución. Se acompañará el modelo con gráficas explicativas. Como ejemplo del potencial de la herramienta, ésta se utilizará para la elaboración de un contrainforme en un caso real de alcance a baja velocidad.

Por último, se propondrán soluciones alternativas a los problemas que actualmente presenta el peritaje de los accidentes a baja velocidad. En concreto, se analizarán los últimos dispositivos disponibles en el mercado enfocados a la medición a tiempo real de las velocidades de los vehículos. Con especial mención del Event Data Recorder (EDR), y el potencial que podría tener sirviendo como “caja negra” de los vehículos.

## Conclusiones:

El tipo de accidentes estudiados en este proyecto, esto es, los accidentes a baja velocidad, presentan un grave problema que no tiene fácil solución. Generalmente, en el caso de accidentes a elevada velocidad hay una serie de rastros que pueden ser seguidos y que facilitan el esclarecimiento de los hechos. A partir de la huella de frenada es fácil saber la velocidad a la que circulaba un vehículo, o también, midiendo la deformación sufrida se puede establecer la violencia del impacto.

Por el contrario, en el caso de los accidentes a baja velocidad las velocidades son tan limitadas que en muchas ocasiones no queda rastro alguno que poder seguir. Al mismo tiempo, los márgenes que deben manejarse son muy limitados, la probabilidad de sufrir el SLC varía considerablemente si el impacto es a 5 km/h (probabilidad prácticamente nula) o a 9 km/h (probabilidad razonable).

Más allá de poder trabajar con ciertos márgenes, los métodos actuales basados en ecuaciones físicas no resultan definitivos. Por ejemplo, si el vehículo objeto de estudio presenta daños leves como abolladuras, podremos afirmar que el impacto sucedió a más de 4 km/h puesto que la normativa obliga a diseñar los parachoques para soportar esta velocidad sin deformarse. Sin embargo, lo contrario no sería cierto, no se puede afirmar que un impacto sucedió a menos de 4 km/h simplemente porque el vehículo no presente deformaciones visibles. Son numerosos los fabricantes de paragolpes y en muchas ocasiones soportan velocidades superiores a este mínimo de 4 km/h que marca la normativa antes de deformarse. Este es solo un ejemplo de la problemática que presenta este tipo de accidentes.

Se confía en que la herramienta desarrollada en este proyecto sirva de apoyo a cualquier perito interesado en los accidentes a baja velocidad. Ha sido desarrollada poniendo especial énfasis en la sencillez y la comodidad, tratando de liberar al perito del trabajo de elaborar informes. Si bien este objetivo se puede considerar alcanzado, también es cierto que deben reconocerse ciertas limitaciones. El input fundamental del modelo es la velocidad inicial de los vehículos, precisamente una de las cosas sobre las que más incertidumbre hay. Este problema está presente incluso en los softwares de reconstrucción más avanzados, siempre es necesario suponer algún dato para poder finalizar la reconstrucción.

Se propone, por tanto, como solución a esta limitación la utilización de nuevas tecnologías que monitoricen en todo momento la velocidad del vehículo, y de esta forma, se pueda esclarecer sin lugar a dudas las condiciones bajo las que se produjeron el accidente. En especial, se aboga por la integración de tecnologías como el Event Data Recorder (EDR) de tal forma que los peritos puedan acceder al histórico de velocidades del vehículo pudiendo reconstruirse el accidente de forma fiel sin recurrir a datos cuestionables o rebatibles.



# **BIOMECHANICAL STUDY TOOL FOR LOW SPEED ACCIDENTS**

**Author: García Amorós, Óscar.**

Director: de Norverto Moriñigo, Juan.

Collaborative entity: ICAI– Universidad Pontificia Comillas.

## **ABSTRACT**

### **Introduction:**

For many years, traffic accidents have been a major cause of death. Its own nature, capable of allowing long journeys at a very high speed, makes them potentially dangerous. However, the continuous development and implementation of safety systems in the cars, has resulted in a gradual decrease in this mortality rate. Specifically, 2015 was the twelfth consecutive year in which this index declined [1], by contrast, the number of low-speed accidents that end producing injury claims, appears to follow an inversely proportional growth, producing enormous social costs [2].

The objective of this project is the study and in-depth understanding of the biomechanical mechanisms involved in low-speed crashes. In particular, attention will be paid to those incidents that result in personal physical injuries and specially the one known as Whiplash Associated Disorder (WAD).

The acquired knowledge will serve as a basis for programming a useful tool for accident assessment. This tool will feed on the data that is accessible after the incident, to assess the severity of the accident. It is intended to serve the expert engineer with a practical tool for the preparation of their reports of expertise.

To properly create this tool, it is necessary to understand in depth the physical process involved in any crash process. However, this is not enough. Due to its unforeseen nature, it is difficult that the exact moment of the crash is monitored in such a way that all the circumstances surrounding the incident can be cleared (without possibility of error). For this reason, it is fundamental not only the knowledge of the physics of the crashes, but also, the handling of the sufficient tools that allow the collection (a posteriori) of all the necessary data, to be able to clarify the event.

To this end, the different knowledge and tools that will help the expert to collect as much information as possible will be analysed, thus giving objective support to any consideration contained in the expert report.

## **Aim of Project:**

Since 1908, when Henry Ford started producing cars in its assembly line, this vehicle has become the most widely used worldwide. The ease of traveling, making it possible to travel great distances in a reasonable time, has led to practically every family having at least one car in the most developed countries. In the specific case of Spain, the vehicle fleet has gone from 10 to 29 million between the years 1980 and 2006 [3].

Precisely, one of its attractions, the high speed reached that allows to travel really fast, is the source of its greatest weakness, accidents. When two cars crash at high speeds, passengers end up suffering the consequences.

Traffic accidents have historically been one of the main sources of mortality in Europe. When a crash occurs, the fragility of the human being is evident. Until the year 2009, the transport accidents were the main source of mortality [4]. To reverse this situation, and thanks to continuous technical innovation, increasingly safer vehicles have begun to be produced, achieving a significant reduction in road deaths.

If previously the main concern was serious accidents, during the last years, attention has begun to be focused to those known as low speed accidents. These are accidents that, although they do not revert any danger to the live of the passengers, they can be triggers of injuries of long duration like the already presented Whiplash Associated Disorder (WAD).

WAD is a fairly frequent condition, it has been estimated that between 20 and 52% of those affected by traffic accidents may end up suffering from this injury [5]. Although not very serious, the fundamental problem that doctors are finding when diagnosing is the absence of clear symptoms. To make it even more difficult, in many cases, the discomfort does not appear at the time of the accident but several days later.

These very special characteristics: high probability of occurrence, absence of objective means for its diagnosis and its often-chronic character, make the WAD a permanent object of legal disputes between the affected and the insurance companies. Ones require economic compensation for an injury that detracts from their ability to lead a normal life, while the others tend to rely on the subjectivity of diagnosis (and in theory, easy to simulate symptoms) to avoid payment of these compensations. The associated compensations in Europe has been estimated at between 5 and 10 billion yearly, with a clear upward trend [5].

For all the above, it is clear the key role that can be played by the expert engineer in this type of processes. A thorough knowledge of the physics of accidents can help determine the severity of the accident. The engineer, therefore, stands as a key figure acquiring an important responsibility towards society. His opinion about the accident, revealed through an expert report, can be decisive in the final decision of the judge.

This gives rise to the motivation of offering through this final master project a deep vision of all the problems already discussed. Always from the point of view of engineering with a clear technical focus. With the help of technical knowledge in physics and mechanics, it is tried to elaborate a tool that can serve to any expert engineer to help in the development of his expert opinions.

First, the legal process that gives rise to the need of expertise will be studied. It is imperative to understand the whole process, as well as the requirements to be able to elaborate a practical and useful solution for the experts. Once the whole process is known in depth, the state of the art associated with traffic accidents will be analysed. Special attention will be given to the data collection process. There are many aspects to take into account when it comes to reconstruct a traffic accident, and often it is small details that make the difference.

Known all the variables involved in accidents, as well as the evidence left behind, the physics behind traffic accidents will be analysed. It is mainly basic mechanics, but it must be well understood, not only for the reconstruction of the accident, but also to convey to the judge (generally someone without knowledge of physics) what happened, in a way that can be easily understood. In this section, a distinction between two different models of approach to the phenomenon of crashes will be made: on one hand, the elastic crash model and on the other hand the inelastic crash model.

The importance of the correct analysis of the deformations suffered by the vehicles will also be analysed, studying different reconstruction models based on the deformation suffered. These types of models, although interesting under the general context of traffic accidents, have little usefulness in terms of accidents at low speed, since the deformations that occur are very limited in these cases.

After that, the characteristics of low-speed crashes will be analysed in depth, what make them different from other accidents and what could be the keys to their analysis. Particular attention will be given to the understanding of the Whiplash Associated Disorder, as the most common ailment in this type of accident and the main reason for disagreement between insurers and clients.

In parallel, an analysis of some of the tools available in the market focused on the reconstruction of traffic accidents will be developed. In particular, three well differentiated tools in terms of the model they follow, will be analysed. RACTT is a tool based mainly on facilitating equations to the expert, fulfilling the database function of relevant formulas in the field of crashes. BeamNG is a tool focused on the visual recreation of the accident, it does not provide numerical data but its hyper realistic physics allows to get a very clear idea of how the accident should have happened. It is presented as an interesting complementary tool. Finally, Virtual Crash, the most powerful tool of the three, facilitating both numerical and visual results, will be analysed.

Once the necessary knowledge is available, a tool that will help in the process of expertise will be elaborated. The intention is to facilitate the work to the experts through a simple but useful program. For the development of this tool, Microsoft Excel will be used as it is a very common tool widely used in the market worldwide. Together with Microsoft Excel, Visual Basic programming language will be used to program the tool.

The tool will have three distinct section. First, a section to facilitate the process of data collection. A series of forms are offered to the expert, including all possible data to be collected from the accident, divided into four categories: track data, environment data, vehicle data and data of the persons involved. The expert should limit himself to fill in the fields that he is asked for and after finishing, the program will generate a written report

containing all this information. In this way, the expert saves the work of preparing a report after the data collection process, while ensuring that it is meticulous in its compilation thanks to the forms containing everything necessary. For the automatic creation of reports, the main program contained in Microsoft Excel will be linked with Microsoft Word through programming in Visual Basic.

Secondly, a series of algorithms will be implemented for the reconstruction of the accident based on the elastic crash model. Receiving as inputs the initial speed of the vehicles and the mass of these, the program will generate a report with all relevant results: acceleration, speed variation, kinetic energy variation and probability of injury among others. This report will be accompanied by a series of graphs that may be interesting to the expert for the interpretation of the accident and concluding about the seriousness of the accident.

Third, the program will be completed with a series of algorithms for accident reconstruction based on the inelastic crash model. Also, receiving as input the initial speed and the masses of the vehicles, a report will automatically be generated with all the relevant variables. For the elaboration of the algorithms of this model, three different approaches to the calculation of the coefficient of restitution will be used. The model will be accompanied by explanatory graphs. As an example of the potential of the tool, it will be used for the development of a counter-report in a real case of low speed accident.

Finally, alternative solutions to the currently presented low-speed accident assessment problems will be proposed. Specifically, the latest devices available in the market focused on the real-time measurement of vehicle speeds will be analysed. With special mention to the Event Data Recorder (EDR), and its potential to serve as a “black box” of vehicles.

## Conclusions:

The type of accidents studied in this project, that is, accidents at low speed, present a serious problem that does not have an easy solution. Generally, in the case of high-speed crashes there are a series of traces that can be followed and that facilitate the clarification of the facts. From the brake footprint, it is easy to know the speed at which a vehicle circulated, or also, by measuring the deformation suffered can establish the violence of the impact.

On the contrary, in the case of low speed accidents, the speeds are so limited that in many cases there is no trace left to follow. At the same time, the margins to be handled are very limited, the probability of suffering WAD varies considerably if the impact is at 5 km/h (practically zero probability) or at 9 km/h (reasonable probability).

Beyond being able to work with certain margins, the current methods based on physical equations are not definitive. For example, if the vehicle under study has slight damages such as dents, we can say that the impact happened at more than 4 km/h since the regulation forces the design of the bumpers to support this speed without deforming. However, the other way around would not be true, it cannot be said that an impact happened at less than 4 km/h simply because the vehicle has no visible deformations. There are numerous manufacturers of bumpers and in many cases, these bumpers support speeds above this minimum of 4 km/h that marks the norm before deforming. This is just one example of the problems that presents this type of accidents.

It is hoped that the tool developed in this project will be useful for any expert interested in low speed accidents. It has been developed with a special emphasis on simplicity and comfort, trying to free the expert from the work of producing reports. While this objective can be considered achieved, it is also true that certain limitations must be recognized. The fundamental input of the model is the initial speed of the vehicles, precisely one of the things about which there is more uncertainty. This problem is present even in the most advanced reconstruction software, it is always necessary to assume some data in order to complete the reconstruction.

It is proposed, therefore, as a solution to this limitation, the use of new technologies to monitor the speed of the vehicle at all times, and this way, it is possible to clarify without doubt, the conditions under which the accident occurred. In particular, it is advocated the integration of technologies such as the Event Data Recorder (EDR) so that experts can access the history of vehicle speeds and can thus faithfully reconstruct the accident without recourse to questionable or rebuttable data.



# Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

## Índice

<b>1. 1. MEMORIA .....</b>	<b>9</b>
1.1 INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO .....	11
1.1.1 Origen y motivación del proyecto .....	11
1.1.2 Los accidentes de tráfico y su proceso de peritaje .....	11
1.1.2.1 Introducción al accidente de tráfico, definición y problemática social .....	12
1.1.2.2 Incertidumbres existentes que motivan este proyecto .....	13
1.1.2.3 El proceso legal y la reconstrucción de accidentes .....	13
1.1.2.4 Factores a considerar en el desarrollo de los accidentes de tráfico .....	15
1.1.2.4.1 Fases del accidente de tráfico .....	16
1.1.2.4.2 Clasificación de los accidentes de tráfico .....	18
1.1.2.5 Elementos a considerar en el proceso de reconstrucción del accidente .....	19
1.1.2.5.1 Huellas y vestigios .....	20
1.1.2.5.2 Inspección de lámparas .....	21
1.1.2.5.3 Sistemas de seguridad pasiva .....	21
1.1.2.5.4 Daños estructurales .....	22
1.1.2.6 Toma de datos para la elaboración del informe pericial .....	22
1.1.2.6.1 Datos de la vía .....	24
1.1.2.6.2 Datos del entrono .....	25
1.1.2.6.3 Datos del vehículo .....	26
1.1.2.6.4 Datos referentes a las personas .....	27
1.1.2.6.5 Datos referentes a huellas, vestigios y posiciones finales .....	28
1.1.2.7 Fundamentos físicos detrás de los accidentes .....	28
1.1.2.7.1 Choque plenamente elástico .....	32
1.1.2.7.2 Choque inelástico .....	33
1.1.2.7.3 La energía de deformación .....	36
1.1.2.7.4 Velocidad equivalente de barrera (EBS) .....	40
1.1.2.8 Elaboración y defensa del informe técnico ante el juzgado .....	40
1.1.3 Consideraciones respecto de los accidentes a baja velocidad .....	41
1.1.3.1 El Síndrome del Latigazo Cervical .....	41
1.1.3.1.1 Criterios de gravedad, Neck Injury Criterion .....	42
1.1.3.2 Comportamiento elástico-plástico de los vehículos .....	43
1.1.3.3 Umbral de las lesiones relacionadas con el cambio de velocidad .....	46
1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS .....	49
1.2.1 Herramientas estudiadas .....	49
1.2.1.1 RACTT .....	49
1.2.1.2 BeamNG .....	52
1.2.1.3 Virtual Crash .....	53
1.2.2 Software disponible .....	55
1.2.2.1 Visual Basic .....	55
1.2.2.2 Integración de Visual Basic con Microsoft Excel .....	56
1.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DESARROLLADO .....	57
1.3.1 Objetivos y especificación .....	57
1.3.2 Recogida de datos .....	58
1.3.2.1 Datos o inputs requeridos .....	58
1.3.2.2 Algoritmos .....	61
1.3.2.3 Implantación final .....	70
1.3.3 Modelo choque elástico .....	83
1.3.3.1 Datos o inputs requeridos .....	83

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

1.3.3.2 Algoritmos.....	84
1.3.3.3 Implantación final.....	88
<b>1.3.4 Modelo choque inelástico.....</b>	<b>97</b>
1.3.4.1 Datos o inputs requeridos.....	97
1.3.4.2 Algoritmos.....	98
1.3.4.3 Implantación final.....	100
<b>1.3.5 Diferencias entre métodos.....</b>	<b>111</b>
<b>1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>113</b>
<b>1.4.1 Aplicación a un caso real.....</b>	<b>113</b>
1.4.1.1 Informe pericial de la aseguradora.....	114
1.4.1.2 Informe pericial empleando modelo desarrollado en este proyecto.....	116
<b>1.5 PROBLEMÁTICA ENCONTRADA Y SOLUCIONES ALTERNATIVAS.....</b>	<b>121</b>
1.5.1 Tacógrafo.....	121
1.5.2 Event Data Recorder (EDR).....	122
1.5.3 Cámaras para el vehículo.....	123
1.5.4 Aplicaciones móviles de medición de velocidad.....	124
<b>1.6 CONCLUSIONES.....</b>	<b>131</b>
1.6.1 Conclusiones sobre la metodología y resultados.....	131
1.6.2 Recomendaciones para futuros estudios.....	133
<b>2. 2. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>135</b>
<b>3. 3. ANEXOS.....</b>	<b>141</b>
<b>3.1 RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTE EMPLEANDO EL SOFTWARE VIRTUAL CRASH.....</b>	<b>143</b>
3.1.1 <i>Introducción al accidente</i> .....	143
3.1.2 <i>Simulación con virtual crash</i> .....	147
3.1.2.1 RECONSTRUCCIÓN 1.....	149
3.1.2.1.1 Consideraciones fundamentales:.....	149
3.1.2.1.2 Sucesos:.....	149
3.1.2.1.3 Conclusiones:.....	151
3.1.2.2 RECONSTRUCCIÓN 2.....	152
3.1.2.2.1 Consideraciones fundamentales:.....	152
3.1.2.2.2 Sucesos:.....	152
3.1.2.2.3 Conclusiones:.....	153
3.1.2.3 RECONSTRUCCIÓN 3.....	155
3.1.2.3.1 Consideraciones fundamentales:.....	155
3.1.2.3.2 Sucesos:.....	155
3.1.2.3.3 Conclusiones:.....	155

## **Índice de figuras**

ILUSTRACIÓN 1: PRINCIPALES CAUSAS DE MUERTE EN EUROPA [4] .....	12
ILUSTRACIÓN 2: INFORMACIÓN CONTENIDA POR EL ATESTADO ENTREGADO AL JUEZ [11].....	15
ILUSTRACIÓN 3: FASE DE PERCEPCIÓN, CUANDO EL CONDUCTOR SE PERCATA DE LA PRESENCIA DEL ANIMAL [14].....	17
ILUSTRACIÓN 4: ESQUEMA CON LAS DISTINTAS FASES DEL ACCIDENTE.....	17
ILUSTRACIÓN 5: ALCANCE CENTRAL ENTRE DOS VEHÍCULOS [15].....	19
ILUSTRACIÓN 6: CLASIFICACIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO [11].....	19
ILUSTRACIÓN 7: MARCAS DE NEUMÁTICO EN UNA CARRETERA [16] .....	20
ILUSTRACIÓN 8: ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ESTADO DE LAS LÁMPARAS DEL VEHÍCULO DURANTE EL ACCIDENTE [11] .....	21
ILUSTRACIÓN 9: ÁNGULOS DE ACTIVACIÓN DEL AIRBAG FRONTAL Y LATERAL [17] .....	22
ILUSTRACIÓN 10: PLANTILLA DE DATOS A RECOGER REFERENTES A LA VÍA [11] .....	24
ILUSTRACIÓN 11: PLANTILLA DE DATOS A RECOGER REFERENTES AL ENTORNO [11] .....	25
ILUSTRACIÓN 12: PLANTILLA DE DATOS A RECOGER REFERENTES AL VEHÍCULO [11] .....	26
ILUSTRACIÓN 13: PLANTILLA DE DATOS A RECOGER REFERENTES A LAS PERSONAS [11].....	27
ILUSTRACIÓN 14: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ACELERACIÓN NORMAL Y TANGENCIAL [11].....	29
ILUSTRACIÓN 15: COMPARACIÓN DEL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RESTITUCIÓN E EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE IMPACTO SEGÚN LOS DISTINTOS MODELOS ESTUDIADOS [20] .....	36
ILUSTRACIÓN 16: DEFORMACIÓN RESIDUAL FRENTE A VELOCIDAD DE IMPACTO, MÉTODO CAMPBELL [26].....	36
ILUSTRACIÓN 17: DEFORMACIÓN DEL VEHÍCULO EN FUNCIÓN DE LA FUERZA DEL IMPACTO, MODELO DE MCHENRY [11].....	37
ILUSTRACIÓN 18: TOMA DE MEDIDAS DE ANCHURA Y PROFUNDIDAD DE DEFORMACIÓN [11] .....	39
ILUSTRACIÓN 19: ÁREA DE IMPACTO [11].....	39
ILUSTRACIÓN 20: COEFICIENTES DE RIGIDEZ ESTABLECIDOS POR EL ORGANISMO NHTSA [11].....	39
ILUSTRACIÓN 21: HIPEREXTENSIÓN E HIPERFLEXIÓN TRAS ALCANCE A BAJA VELOCIDAD [31].....	41
ILUSTRACIÓN 22: LOCALIZACIÓN DE LAS VÉRTEBRAS CERVICALES C1 A C7 [34] .....	43
ILUSTRACIÓN 23: CURVA DE PROBABILIDAD DE LESIÓN ACUMULADA EN FUNCIÓN DEL NIC [5] .....	43
ILUSTRACIÓN 24: ACEROS EMPLEADOS EN LA CARROCERÍA [35] .....	44
ILUSTRACIÓN 25: DIFERENTES MODELOS DE PARAGOLPES [37] .....	45
ILUSTRACIÓN 26: RESUMEN DE UMBRALES LESIVOS POR DIFERENTES INVESTIGACIONES [39].....	47
ILUSTRACIÓN 27: UMBRALES RECOMENDADOS PARA EL CRITERIO DE INTENSIDAD EN EL ESTUDIO DE LA CAUSALIDAD MÉDICO- LEGAL DEL SPC [39].....	47
ILUSTRACIÓN 28: SELECCIÓN PROYECTO CON RACTT [40].....	49
ILUSTRACIÓN 29: RACTT PÁGINA PRINCIPAL .....	50
ILUSTRACIÓN 30: FORMATOS DE EXPORTACIÓN RESULTADO FINAL RACTT .....	50
ILUSTRACIÓN 31: FRAGMENTO DEL INFORME GENERADO DE FORMA AUTOMÁTICA POR RACTT .....	51
ILUSTRACIÓN 32: PLANES DE PAGO RACTT.....	52
ILUSTRACIÓN 33: EJEMPLO SIMULACIÓN ACCIDENTE EN BEAMNG .....	52
ILUSTRACIÓN 34: PRECIO DE VENTA BEAMNG EN LA PLATAFORMA ONLINE DE VIDEOJUEGOS STEAM.....	53
ILUSTRACIÓN 35: INTERFAZ 3D PARA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES CON VIRTUAL CRASH [41] .....	53
ILUSTRACIÓN 36: PRECIOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS VERSIONES 3 Y 4 DE VIRTUAL CRASH .....	54
ILUSTRACIÓN 37: FORMULARIO DE RECOGIDA DE DATOS DE LA VÍA.....	59
ILUSTRACIÓN 38: FORMULARIO DE RECOGIDA DE DATOS DEL ENTORNO.....	59
ILUSTRACIÓN 39: FORMULARIO DE RECOGIDA DE DATOS DEL VEHÍCULO .....	60
ILUSTRACIÓN 40: FORMULARIO DE RECOGIDA DE DATOS DE LAS PERSONAS IMPLICADAS EN EL ACCIDENTE.....	61
ILUSTRACIÓN 41: INTERFAZ DE VISUAL BASIC DISPONIBLE A TRAVÉS DE MICROSOFT EXCEL .....	62

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

ILUSTRACIÓN 42: BOTÓN DE ACCESO A LOS FORMULARIOS .....	62
ILUSTRACIÓN 43: PRIMER FORMULARIO PARA SELECCIÓN DE TIPO DE DATOS A INTRODUCIR .....	62
ILUSTRACIÓN 44: OPCIONES DE APERTURA DE NUEVOS FORMULARIOS DISPONIBLES .....	63
ILUSTRACIÓN 45: ÁRBOL DE PROYECTO MOSTRADO DESDE LA VENTANA DE VISUAL BASIC.....	65
ILUSTRACIÓN 46: FORMULARIO EN BLANCO.....	65
ILUSTRACIÓN 47: CUADRO DE HERRAMIENTAS DE VB.....	65
ILUSTRACIÓN 48: ETIQUETA .....	66
ILUSTRACIÓN 49: CUADRO DE TEXTO.....	66
ILUSTRACIÓN 50: CUADRO COMBINADO .....	66
ILUSTRACIÓN 51: CASILLA .....	66
ILUSTRACIÓN 52: MARCO .....	66
ILUSTRACIÓN 53: BOTÓN DE COMANDO .....	66
ILUSTRACIÓN 54: PROPIEDADES ASOCIADAS A LOS ELEMENTOS DEL FORMULARIO .....	67
ILUSTRACIÓN 55: FORMULARIO DE RECOGIDA DE DATOS REFERENTES A LA VÍA.....	68
ILUSTRACIÓN 56: INFORMACIÓN RECOGIDA EN CELDA A2 .....	68
ILUSTRACIÓN 57: DATOS REFERENTES A LA VÍA RELLENOS POR EL USUARIO .....	71
ILUSTRACIÓN 58: INFORMACIÓN RECOGIDA DEL FORMULARIO Y ALMACENADA EN EXCEL.....	71
ILUSTRACIÓN 59: DATOS ETIQUETADOS .....	72
ILUSTRACIÓN 60: PLANTILLA WORD PARA GENERACIÓN INFORME SOBRE DATOS DE LA VÍA .....	73
ILUSTRACIÓN 61: PLANTILLA WORD PARA GENERACIÓN DE INFORME SOBRE DATOS DEL ENTORNO .....	74
ILUSTRACIÓN 62: PLANTILLA WORD PARA GENERACIÓN INFORME SOBRE DATOS DEL VEHÍCULO .....	76
ILUSTRACIÓN 63: PLANTILLA WORD PARA GENERACIÓN INFORME SOBRE DATOS DE LAS PERSONAS.....	77
ILUSTRACIÓN 64: INFORMACIÓN DE COMUNICACIÓN ENTRE EXCEL Y WORD .....	78
ILUSTRACIÓN 65: INFORME FINAL CON LOS DATOS DE LA VÍA.....	79
ILUSTRACIÓN 66: INFORME FINAL CON LOS DATOS DEL ENTORNO.....	80
ILUSTRACIÓN 67: INFORME FINAL CON LOS DATOS DEL VEHÍCULO .....	81
ILUSTRACIÓN 68: INFORME FINAL CON LOS DATOS DE LA PERSONA IMPLICADA.....	82
ILUSTRACIÓN 69: INICIO PROGRAMA CÁLCULO CHOQUES.....	84
ILUSTRACIÓN 70: SELECCIÓN TIPO DE CÁLCULO EMPLEADO .....	84
ILUSTRACIÓN 71: FORMULARIO INTRODUCCIÓN DATOS PARA CÁLCULO SEGÚN CHOQUE ELÁSTICO .....	84
ILUSTRACIÓN 72: FORMULARIO INTRODUCCIÓN DATOS PARA CÁLCULO SEGÚN CHOQUE ELÁSTICO .....	85
ILUSTRACIÓN 73: CURVA DEL NECK INJURY CRITERION .....	87
ILUSTRACIÓN 74: PLANTILLA PARA INFORME DE RECOGIDA DE RESULTADOS DEL CHOQUE SEGÚN MODELO ELÁSTICO .....	90
ILUSTRACIÓN 75: INTRODUCCIÓN DATOS MODELO CHOQUE ELÁSTICO.....	91
ILUSTRACIÓN 76: INFORME FINAL CHOQUE ELÁSTICO.....	92
ILUSTRACIÓN 77: FORMULARIO INTRODUCCIÓN DATOS PARA CÁLCULO SEGÚN CHOQUE INELÁSTICO .....	97
ILUSTRACIÓN 78: PLANTILLA PARA INFORME DE RECOGIDA DE RESULTADOS DEL CHOQUE SEGÚN MODELO INELÁSTICO PARTE 1 .....	102
ILUSTRACIÓN 79: PLANTILLA PARA INFORME DE RECOGIDA DE RESULTADOS DEL CHOQUE SEGÚN MODELO INELÁSTICO PARTE 2 .....	103
ILUSTRACIÓN 80: PLANTILLA PARA INFORME DE RECOGIDA DE RESULTADOS DEL CHOQUE SEGÚN MODELO INELÁSTICO PARTE 3 .....	104
ILUSTRACIÓN 81: INTRODUCCIÓN DATOS MODELO CHOQUE INELÁSTICO.....	104
ILUSTRACIÓN 82: INFORME FINAL CHOQUE INELÁSTICO PARTE 1 .....	106
ILUSTRACIÓN 83: INFORME FINAL CHOQUE INELÁSTICO PARTE 2 .....	107
ILUSTRACIÓN 84: INFORME FINAL CHOQUE INELÁSTICO PARTE 3 .....	108

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

ILUSTRACIÓN 85: PORTADA INFORME PERICIAL DE LA PRIMERA PARTE IMPLICADA .....	113
ILUSTRACIÓN 86: LUGAR DEL ACCIDENTE .....	113
ILUSTRACIÓN 87: FOTOGRAFÍA PARTE DELANTERA CITROEN C4 QUE ORIGINA EL IMPACTO.....	114
ILUSTRACIÓN 88: FOTOGRAFÍA PARTE TRASERA AUDI A3 QUE RECIBE EL IMPACTO .....	115
ILUSTRACIÓN 89: RESULTADO CÁLCULOS PERITAJE ASEGURADORA .....	115
ILUSTRACIÓN 90: ARGUMENTOS SOBRE LÍMITES RAZONABLES PARA PRODUCIRSE LESIÓN .....	116
ILUSTRACIÓN 91: CONCLUSIONES DEL INFORME PERICIAL ASEGURADORA .....	116
ILUSTRACIÓN 92: INTRODUCCIÓN INFORMACIÓN EN MODELO CHOQUE ELÁSTICO.....	118
ILUSTRACIÓN 93: RESULTADO MODELO CHOQUE ELÁSTICO A 10 KM/H .....	118
ILUSTRACIÓN 94: TACÓGRAFO DIGITAL .....	121
ILUSTRACIÓN 95: GARMIN DASH CAM 65W [46].....	123
ILUSTRACIÓN 96: INFORMACIÓN SOBRE GARMIN DASH CAM 65W [46] .....	124
ILUSTRACIÓN 97: SPEED TRACKER DESARROLLADA POR APPANNEX.....	125
ILUSTRACIÓN 98: CAR CAMERA DVR DESARROLLADA POR APPANNEX.....	125
ILUSTRACIÓN 99: RUTA REALIZADA EN COCHE .....	126
ILUSTRACIÓN 100: DATOS RESUMEN DE LA RUTA REALIZADA EN COCHE .....	126
ILUSTRACIÓN 101: PARTE DE LOS DATOS DE SPEED TRACKER EXPORTADOS A EXCEL .....	127
ILUSTRACIÓN 102: GRÁFICA DE VELOCIDAD RESPECTO DEL TIEMPO RECORRIDO EN COCHE .....	127
ILUSTRACIÓN 103: GRÁFICA DE ALTITUD RESPECTO DEL TIEMPO RECORRIDO EN COCHE .....	127
ILUSTRACIÓN 104: GRÁFICA DE VELOCIDAD RESPECTO DEL TIEMPO RECORRIDO ANDANDO.....	128
ILUSTRACIÓN 105: GRABACIÓN TRAYECTO EN COCHE .....	129
ILUSTRACIÓN 106: GRABACIÓN TRAYECTO A PIE.....	129
ILUSTRACIÓN 107: ATESTADO POR ACCIDENTE.....	143
ILUSTRACIÓN 108: DECLARACIONES DE LA PERSONA QUE ORIGINA EL ACCIDENTE.....	144
ILUSTRACIÓN 109: LUGAR DEL ACCIDENTE SEGÚN RECOGE EL INFORME POLICIAL .....	145
ILUSTRACIÓN 110: ESTADO FINAL DACIA .....	146
ILUSTRACIÓN 111: ESTADO FINAL MOTOCICLETA .....	147

***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

## ***Índice de tablas***

TABLA 1: ESTIMACIÓN VELOCIDAD SEGÚN EL ESTADO DEL VEHÍCULO.....	46
TABLA 2: PROBABILIDAD DE LESIÓN EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE IMPACTO .....	48
TABLA 3: PROBABILIDAD DE LESIÓN EN FUNCIÓN DE LA ACELERACIÓN DE IMPACTO .....	48
TABLA 4: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL CÁLCULO ELÁSTICO .....	86
TABLA 5: CURVA NIC PASADA A TABLA.....	88
TABLA 6: INFORMACIÓN OBTENIDA SOBRE EL CHOQUE ELÁSTICO CON SUS ETIQUETAS ASOCIADAS.....	89
TABLA 7: NIC EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL COCHE QUE IMPACTA Y DEL TIEMPO DE IMPACTO MODELO CHOQUE ELÁSTICO .....	93
TABLA 8: PROBABILIDAD DE SUFRIR UNA LESIÓN DE DURACIÓN MAYOR A 1 MES EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD INICIAL Y EL TIEMPO DE IMPACTO MODELO CHOQUE ELÁSTICO.....	94
TABLA 6: RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MODELO DE CHOQUES INELÁSTICO .....	100
TABLA 10: INFORMACIÓN OBTENIDA SOBRE EL CHOQUE INELÁSTICO CON SUS ETIQUETAS ASOCIADAS.....	101

## ***Índice de código***

CÓDIGO 1: PRIMERA MACRO DE ACCESO A LOS FORMULARIOS.....	61
CÓDIGO 2: OPCIONES DE SELECCIÓN DE TIPO DE DATOS A INTRODUCIR.....	63
CÓDIGO 3: APERTURA DE UN NUEVO FORMULARIO .....	64
CÓDIGO 4: RECOGIDA DE INFORMACIÓN DE UN CUADRO DE TEXTO .....	68
CÓDIGO 5: RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN UNA CASILLA.....	69
CÓDIGO 6: RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL CUADRO DE TEXTO OBSERVACIONES .....	69
CÓDIGO 7: ACCIÓN QUE EJECUTA EL BOTÓN CANCELAR .....	69
CÓDIGO 8: PROGRAMACIÓN DE UN IF ELSE .....	70
CÓDIGO 9: GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL INFORME FINAL A PARTIR DE LA PLANTILLA Y LOS DATOS DEL EXCEL [44].....	78
CÓDIGO 10: PROGRAMACIÓN CUADRO COMBINADO PARA SELECCIÓN TIPO DE CÁLCULO .....	85
CÓDIGO 11: SELECCIÓN FORMULARIO CHOQUES SEGÚN ELECCIÓN USUARIO .....	85
CÓDIGO 12: COPIA DATOS EN PESTAÑA AUXILIAR_RECOGIDA_DATOS .....	88
CÓDIGO 13: GENERACIÓN AUTOMÁTICA INFORME CHOQUE ELÁSTICO .....	91
CÓDIGO 14: COPIA DATOS MODELO INELÁSTICO EN PESTAÑA AUXILIAR_RECOGIDA_DATOS .....	100
CÓDIGO 15: GENERACIÓN AUTOMÁTICA INFORME CHOQUE INELÁSTICO .....	105

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

## ***1. MEMORIA***

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

# ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

## ***1.1 Introducción y planteamiento del proyecto***

### ***1.1.1 Origen y motivación del proyecto***

Este proyecto nace como una propuesta de un perito ingeniero con elevada experiencia en el campo de la reconstrucción de accidentes de tráfico. Se busca estudiar en profundidad todo lo relacionado con el proceso de peritaje para entender el contexto y la problemática asociada a la actividad del perito. Este proyecto no surge con la motivación de desarrollar un software muy potente basado en entornos gráficos y complejas ecuaciones, pues ya hay en el mercado soluciones disponibles. Por el contrario, el objetivo fundamental de este proyecto es, una vez entendido en detalle el contexto actual, describir con precisión las soluciones disponibles, las limitaciones existentes y adelantar posibles alternativas futuras. Junto con esto, se busca facilitar el proceso de peritaje a través de una herramienta basada en Microsoft Excel que beba de los conocimientos previamente desarrollados.

### ***1.1.2 Los accidentes de tráfico y su proceso de peritaje***

El continuo avance en la implementación de sistemas de seguridad en los coches ha dado lugar a una paulatina disminución del índice de mortalidad en carretera. En 2015 se cumplió el duodécimo año consecutivo de descenso de dicho índice [1], sin embargo, el número de accidentes a baja velocidad que terminan en reclamaciones por lesión parece seguir un crecimiento inversamente proporcional, provocando enormes costes sociales [2].

Con este proyecto se persigue el estudio y comprensión en profundidad de los mecanismos biomecánicos que intervienen en los accidentes de baja velocidad. En concreto, se prestará atención a aquellos incidentes que deriven en lesiones físicas personales y en especial el conocido como Síndrome del Latigazo Cervical (SLC).

El conocimiento adquirido servirá de base para la programación de una herramienta útil para el peritaje de accidentes. Esta herramienta se alimentará de los datos accesibles tras el incidente para evaluar la severidad del mismo. Se pretende servir al perito ingeniero de una herramienta práctica para la elaboración de sus informes de peritaje.

Para la adecuada creación de esta herramienta, es necesario conocer y comprender en profundidad el proceso físico que interviene en todo proceso de choque. Sin embargo, esto no es suficiente. Por su naturaleza imprevista, es complicado que el mismo instante del choque quede monitorizado de tal forma que se puedan despejar (sin posibilidad de error) todas las circunstancias que rodearon el incidente. Es por este motivo fundamental no solo el conocimiento de la física de los choques, sino el manejo de las herramientas suficientes que permitan la recopilación (a posteriori) de todos los datos necesarios para poder esclarecer el suceso.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

En las páginas siguientes se analizarán los distintos conocimientos y herramientas que ayudarán al perito a recopilar tanta información como sea posible, dando así sustento objetivo a cualquier consideración recogida en el informe pericial.

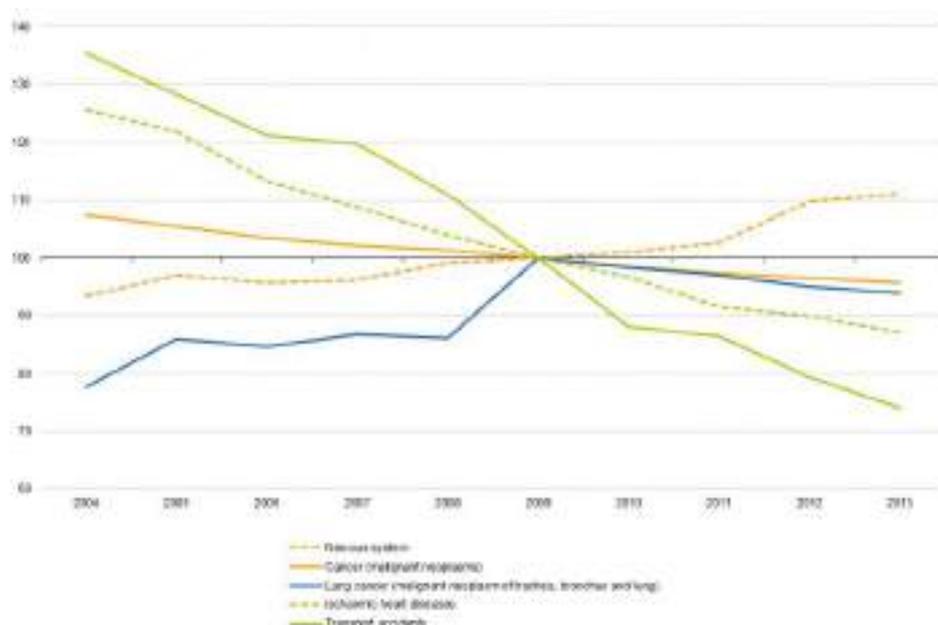
### ***1.1.2.1 Introducción al accidente de tráfico, definición y problemática social***

Desde que en 1908 Henry Ford comenzase a producir automóviles en su cadena de montaje, este vehículo se ha convertido en el más utilizado a nivel mundial. La facilidad que ofrece a la hora de desplazarse, recorriendo grandes distancias en un tiempo razonable, ha dado lugar a que prácticamente cada familia disponga de al menos un automóvil en los países más desarrollados. En el caso concreto de España, el parque de vehículos ha pasado de 10 a 29 millones entre los años 1980 y 2006 [3].

Precisamente uno de sus atractivos, la alta velocidad que alcanzan en carretera facilitando el rápido desplazamiento, es el origen de su mayor debilidad, los accidentes. Cuando dos coches impactan a velocidades elevadas, los pasajeros terminan sufriendo las consecuencias.

Los accidentes de tráfico han sido históricamente una de las principales fuentes de mortalidad en Europa. Al producirse un choque, la fragilidad del ser humano queda patente. Hasta el año 2009 los accidentes de transporte eran la principal fuente de mortalidad [4].

Para revertir esta situación, y gracias a la continua innovación técnica, se han comenzado a producir vehículos cada vez más seguros, consiguiéndose reducir considerablemente las muertes en carretera. En 1948 se comenzó a emplear el cinturón de seguridad de dos puntos, posteriormente, en 1959 Volvo introdujo el de tres puntos [6]. En 1971 Mercedes-Benz inventó el airbag [7], el cual no sería introducido en un coche hasta 1981. Estos son algunos ejemplos de las continuas mejoras incorporadas con el paso de los años.



*Ilustración 1: Principales causas de muerte en Europa [4]*

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

En este afán por mejorar la seguridad, enfocándose especialmente en reducir las lesiones mortales, los resultados obtenidos son claros y se reflejan en números tales como la siniestralidad en vías urbanas. Esta figura se ha visto reducida en España desde las casi 6.000 muertes en 1989 hasta las 1.126 del 2015 [8].

### ***1.1.2.2 Incertidumbres existentes que motivan este proyecto***

Por todo lo expuesto anteriormente, es claro el papel clave que puede desempeñar el perito ingeniero en este tipo de procesos. Un profundo conocimiento de la física de los accidentes puede ayudar a determinar la gravedad del mismo.

El ingeniero, por tanto, se erige como figura clave adquiriendo una importante responsabilidad para con la sociedad. Su opinión acerca del accidente, revelada a través de un informe pericial, puede resultar determinante en la decisión final del juez.

Surge así la motivación de ofrecer a través de este proyecto final de máster una visión profunda de toda la problemática ya comentada. Siempre desde el punto de vista de la ingeniería con un claro enfoque técnico. Con la ayuda de los conocimientos técnicos en física y mecánica, se pretende elaborar una herramienta que pueda servir a cualquier perito ingeniero para ofrecer en sus peritajes opiniones fundadas.

De esta forma, se persigue aportar un pequeño granito de arena en un campo en el que los ingenieros tienden a olvidar que pueden aportar mucho. Sus extensos conocimientos técnicos y su capacidad de análisis los hacen ideales para desempeñar cualquier labor de peritaje.

### ***1.1.2.3 El proceso legal y la reconstrucción de accidentes***

Es claro el impacto tanto social como económico que los accidentes de tráfico tienen en España. Con esta preocupación en mente, y ya desde bastante tiempo atrás, el gobierno español lo ha tenido muy en consideración creando la Comisión Nacional de Seguridad de la Circulación Vial por el decreto 1089/1976, de 23 de abril. Este mismo organismo elaboró la orden de 13 de marzo de 1981 por la que se modifica la estadística de accidentes de circulación en carretera y demás vías públicas.

Precisamente este documento introduce los elementos necesarios que deben tener lugar para que un incidente sea considerado accidente de tráfico [9]. En concreto son tres:

- 1) Que se produzca en una vía abierta a la circulación pública teniendo lugar en ella su origen
- 2) Que, a causa de los mismos, una o varias personas resulten muertas o heridas o se produzcan daños materiales
- 3) Que al menos un vehículo en movimiento esté implicado

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

En muchos casos, y precisamente debido a la naturaleza imprevista y prácticamente instantánea de los accidentes de tráfico, no queda claro quién es el responsable del incidente. Dado que los accidentes terminan siempre generando algún daño ya sea material o personal (tal y como exige la definición arriba contemplada), es fundamental determinar el responsable del mismo que deberá responder ya sea de forma económica o cualquier otra ante los daños causados.

En muchas ocasiones la identificación del responsable es compleja. Dado que asumir la responsabilidad podría acarrear indemnizaciones económicas o incluso imputaciones penales, los conductores accidentados suelen parapetarse defendiendo en cualquier caso su inocencia. Cuando las consecuencias del accidente son graves, es preciso establecer un procedimiento legal que determine de quién fue la culpa y si el afectado debe recibir alguna indemnización a cambio de los daños (ya sean físicos o materiales) que le hayan causado.

Ante esta situación, los juicios se suceden para dirimir quién lleva razón. Como ya se ha comentado, el conductor accidentado, ante la negativa inicial de la aseguradora del causante del accidente de ofrecerle una indemnización, termina recurriendo a los juzgados. Éste suele asegurar que la lesión le ha dificultado el correcto desempeño de sus actividades diarias, requiriendo una compensación.

Por el contrario, las aseguradoras suelen ampararse en la dificultad del diagnóstico, así como en la subjetividad del mismo para negar al accidentado cualquier tipo de indemnización. Los juicios se alargan suponiendo un elevado coste social al entorpecer un sistema judicial ya de por sí bastante colapsado [10].

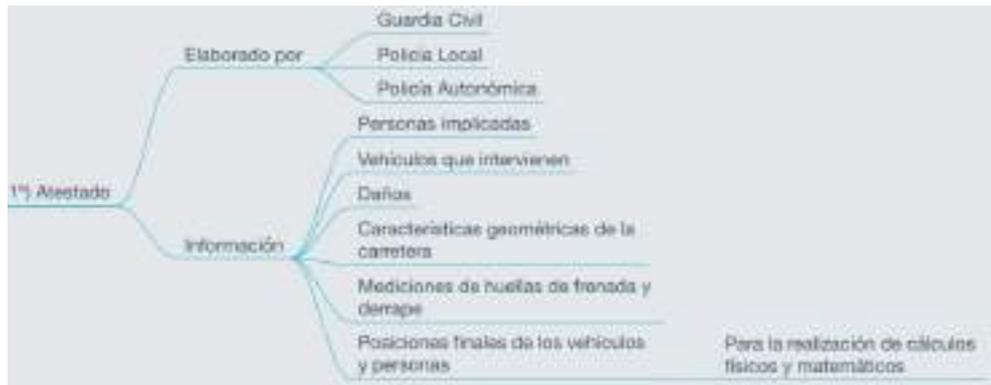
Para identificar al responsable, surge lo que se conoce como reconstrucción de accidentes de tráfico. Consiste en una serie de procedimientos y conocimientos aplicados todos ellos al esclarecimiento del suceso. Es un procedimiento complejo y costoso por lo que no es recomendable su uso salvo que suceda alguno de los siguientes tres supuestos [11]:

- Se prevean unos costes materiales o personales elevados
- Las declaraciones de los implicados sean contradictorias
- No exista consenso con respecto a la causa del accidente

Cuando converja alguno de estos casos, generalmente se inicia un proceso judicial como consecuencia de una denuncia interpuesta por alguno o varios de los afectados. La decisión final respecto de la responsabilidad del incidente, así como la cuantía de la indemnización corresponderá al juez quien se apoya fundamentalmente en dos documentos.

En primer lugar, el atestado, elaborado por un miembro de la guardia civil, la policía local o autonómica. Contiene información recogida al asistir a la llamada de aviso tras el accidente. A continuación, se muestra un esquema con la información más relevante.

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**



*Ilustración 2: Información contenida por el atestado entregado al juez [11]*

En segundo lugar, el informe del perito. El perito suele ser una persona con amplios conocimientos en el campo de los accidentes de tráfico y su reconstrucción. A partir de los datos que facilita el atestado, el perito saca sus primeras conclusiones realizando algún que otro cálculo general. Si lo considerase necesario procedería a recopilar más datos del accidente como pueden ser: características geométricas de la vía, estado del pavimento, medición de las posiciones finales de los afectados y posible punto de impacto, medición de las huellas dejadas por los vehículos y estado de los neumáticos. También podría necesitar información más detallada de las características de los vehículos implicados: potencia, peso, dimensiones, aceleración...

Con toda esta información procede a la elaboración del informe pericial. Al ser un documento en el que el juez se apoyará para tomar una decisión, debe ser completamente objetivo aportando datos, cálculos e imágenes que den soporte a las conclusiones extraídas.

### **1.1.2.4 Factores a considerar en el desarrollo de los accidentes de tráfico**

Son muchos los factores que intervienen en el devenir de un accidente de tráfico. En ocasiones tiende a pensarse en el conductor como artífice fundamental, sin embargo, muchas veces convergen otros elementos los cuales contribuyen de forma fundamental.

Pueden establecerse tres factores como posibles causantes: el conductor, la vía y el vehículo [12]. El conductor generalmente puede decirse que contribuye al accidente como consecuencia de elementos internos o externos. Los elementos internos son aquellos propios del conductor tales como su percepción visual o auditiva, su motricidad y su salud. Resulta obvio que una persona con una percepción visual o auditiva limitada presenta una mayor probabilidad de sufrir un accidente. Es por este motivo que a la hora de realizar la renovación del carnet de conducir se exige el superar una serie de test psicotécnicos, que aseguren unas condiciones del conductor adecuadas para poder manejar un vehículo. Los elementos externos son aquellos no intrínsecos al propio conductor, sino que se sobrevienen por diversos motivos. El abuso de alcohol o de fármacos, el estrés, la fatiga y el sueño son claros ejemplos.

La vía desempeña un papel importante en cualquier accidente de tráfico, influyendo también en la gravedad del mismo. Pueden destacarse tres elementos a considerar en relación a la vía, en primer lugar, la propia arquitectura de la misma. Generalmente los puntos más críticos

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

suelen ser en presencia de curvas cerradas o desniveles importantes, son lugares donde cualquier mínimo despiste o exceso de velocidad podría resultar fatal. En segundo lugar, las condiciones climatológicas. Un día lluvioso con la carretera mojada, el pavimento puede resultar deslizante incrementando la distancia de frenado. Los días de niebla, la visibilidad se reduce enormemente. Incluso el viento fuerte puede provocar la salida del carril.

Por último, el vehículo es en muchas ocasiones el desencadenante del incidente. Todos los fabricantes establecen una serie de plazos de revisión, precisamente para evitar que cualquier problema o desperfecto pueda resultar crucial a la hora de generar un accidente. Un mal mantenimiento de las ruedas, por ejemplo, podría incrementar muchos metros la distancia de frenado, aumentando considerablemente el tiempo de reacción.

Debe tenerse en cuenta que generalmente los accidentes de tráfico nunca son resultado de un único factor, actuando de forma independiente, sino que es la suma de distintos elementos la que incrementa enormemente la probabilidad del mismo.

### ***1.1.2.4.1 Fases del accidente de tráfico***

El accidente no tiene lugar de forma instantánea, sino que es el resultado final de un proceso que puede fijarse en tres etapas fundamentales: fase de percepción, fase de decisión y fase de conflicto [13].

**Fase de percepción:** es la fase en la cual el conductor se percata del obstáculo o circunstancia adversa a la que debe hacer frente. Debe distinguirse entre el punto de percepción posible y el punto de percepción real. El primero es el punto donde un observador de a pie tendría visión clara del obstáculo o circunstancia adversa, sería el punto óptimo, es decir lo antes posible que cualquier conductor se podría percatar. El segundo es el punto donde el conductor realmente se percata del peligro. En el caso ideal, estando el conductor plenamente atento, ambos puntos coincidirían. Por el contrario, la diferencia entre el primero y el segundo (siendo más tardío el segundo) marca el nivel de atención del conductor.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad



Ilustración 3: Fase de percepción, cuando el conductor se percató de la presencia del animal [14]

**Fase de decisión:** instante en el que, tras percatarse del peligro, se inicia la maniobra evasiva. Se distingue entre dos tipos de maniobras; la maniobra simple, distinguiendo a su vez entre pasiva como tocar el claxon o dar las luces y la maniobra activa como reducir o aumentar la velocidad o incluso detenerse. La maniobra evasiva compleja como frenada intensa con giro o salida de la carretera para evitar una colisión.

**Fase de conflicto:** momento en que los vehículos o distintos elementos involucrados entran en contacto.



Ilustración 4: Esquema con las distintas fases del accidente

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.1.2.4.2 Clasificación de los accidentes de tráfico***

Los accidentes de tráfico pueden clasificarse atendiendo a distintos criterios [11]. Según su localización éstos pueden tener lugar en zona urbana o interurbana. Definiendo zona urbana como toda zona situada dentro de poblado y, por tanto, se consideran interurbanas el resto de zonas.

Atendiendo a los resultados del mismo, los accidentes pueden ser mortales, con víctimas ya sean graves o leves y/o con daños materiales. Esta última suele estar siempre presente resultando como parámetro diferenciador la presencia o no de víctimas mortales y en caso contrario la gravedad de las lesiones provocadas.

Otra forma de clasificación también aplicada en informes periciales, así como en el atestado, suele ser según el número de implicados en el mismo. Distinguiendo de esta forma entre accidentes simples, en los que interviene solamente un vehículo; y complejos, en los que se ven involucrados más vehículos.

Por último, se puede realizar una clasificación atendiendo a la forma en que el accidente tiene lugar. Podría diferenciarse entre tres formas. Un choque, cuando el vehículo impacta con un elemento fijo u otro obstáculo presente en la vía; una colisión, entre dos vehículos en movimiento; y una salida de carretera. En el caso de la colisión, se establece una subclasificación:

- Choque frontal: cuando impactan las partes frontales de ambos vehículos
  - Central: los ejes longitudinales de ambos vehículos coinciden aproximadamente
  - Excéntricas: los ejes longitudinales de ambos vehículos, aunque paralelos, no son coincidentes
  - Angulares: los ejes longitudinales de ambos vehículos, forman un ángulo menor de 90°
- Embestida: cuando la parte frontal de uno de los vehículos impacta con el lateral de otro
  - Perpendicular: los ejes longitudinales de ambos vehículos son perpendiculares
  - Oblicua: los ejes longitudinales de ambos vehículos forman un ángulo distinto a 90°
- Refleja: cuando los vehículos colisionan dos o más veces entre sí
- Por alcance: cuando la parte frontal de un vehículo impacta con la parte posterior de otro. Este tipo de colisión será mencionado a lo largo del proyecto pues supone el origen más común del Síndrome del Latigazo Cervical
  - Central: cuando los ejes longitudinales de ambos vehículos coinciden
  - Excéntrico: cuando los ejes longitudinales de ambos vehículos, aunque paralelos, no son coincidentes
  - Angular: cuando los ejes longitudinales de ambos vehículos forman un ángulo inferior a 90°



## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.1.2.5.1 Huellas y vestigios***

La propia naturaleza de los accidentes asegura que los distintos elementos materiales involucrados en el mismo (ya sean los propios vehículos u otros elementos propios de la vía), se vean expuestos a un nivel elevado de agresividad. Como consecuencia de esto, los materiales sufren, dejando tras de sí pistas reconocibles de este desgaste [11].

Los neumáticos, por ejemplo, según la huella apreciable en la propia vía, estarán dando indicaciones claras para aquel ojo experto que sepa analizarlas. Según el tamaño de las señales dejadas en la carretera durante el proceso de frenado se podría conocer si el nivel de presión de las ruedas era o no el adecuado en el momento del accidente. Una marca más ancha que el ancho propio del neumático, sería indicativo de un defecto de presión. El peso del vehículo deforma la goma haciendo que la superficie que toca la carretera sea mayor que la debida. Cuando el ancho de la marca es idéntico al de la rueda, es señal inequívoca de que la presión del neumático es la adecuada. Siguiendo el mismo razonamiento, si la presión fuese excesiva, la marca que el neumático dejaría en la carretera sería de una anchura menor a la propia. Una presión excesiva deforma la goma obligando a reducir la superficie en contacto con la carretera.

De igual forma, las marcas de neumáticos podrán indicar si el vehículo estaba acelerando o decelerando en el instante del accidente. En caso de aceleración, el centro de gravedad se retrasa tendiendo a dejar más marca las ruedas motoras. Si, por el contrario, el vehículo experimenta una deceleración, el centro de gravedad tiende a desplazarse hacia las ruedas delanteras, dejando éstas una huella más marcada. En ambos casos, al tener lugar la rodadura del neumático a una velocidad distinta a la de desplazamiento del vehículo, la marca dejada en la carretera tenderá a estar emborronada, distorsionándose ligeramente la marca natural del neumático.



*Ilustración 7: Marcas de neumático en una carretera [16]*

En caso de que el vehículo estuviese girando, las ruedas exteriores soportarían la mayor parte del peso, dejando éstas una marca clara. Por el contrario, las ruedas interiores dejarían una fina marca sobre el asfalto.

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

Además de las marcas de neumático, los materiales duros tales como la carrocería del coche dan lugar también a marcas y señales que pueden dar pistas sobre la evolución del accidente. No es lo mismo si se produce un arañazo sobre el asfalto que una hendidura. El segundo caso será indicativo de una mayor violencia en el incidente, mayores velocidades y aceleraciones presentes.

Por último, las huellas biológicas son también una pista clara que arroja cierta luz. Una mancha de sangre es indicativa de posición estática, por el contrario, una salpicadura indica la trayectoria que la persona herida ha experimentado. Otros restos biológicos tales como cabellos o piel ayudan a identificar a la víctima, así como también son indicativos del lugar del cuerpo en el que recibieron el impacto.

### **1.1.2.5.2 Inspección de lámparas**

La inspección de las lámparas de los vehículos es útil para determinar si éstas estaban encendidas o no en el momento del accidente. Sería relevante por ejemplo en el caso de que el incidente haya tenido lugar por la noche, la ausencia de luces sería indicativo de negligencia por parte del conductor. A continuación, se presenta un esquema que especifica el estado de las lámparas según distintos aspectos a considerar:



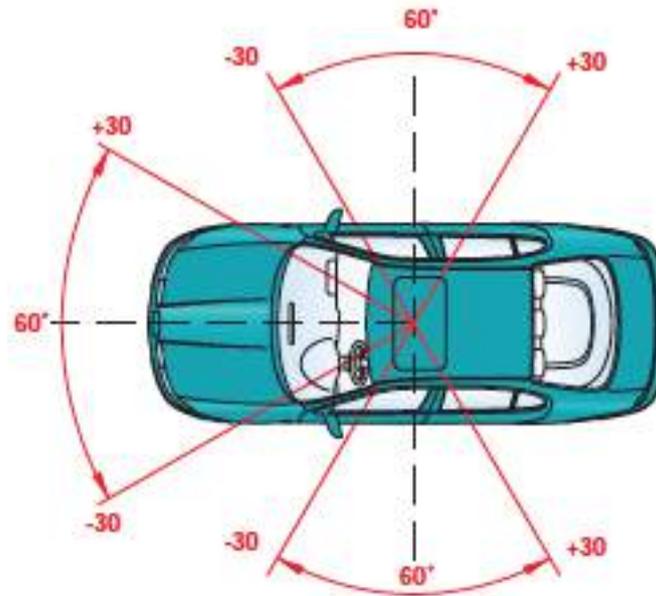
*Ilustración 8: Esquema explicativo del estado de las lámparas del vehículo durante el accidente [11]*

Otra información relevante que aporta el estudio de las lámparas es la dirección del impacto. Como consecuencia del material de los filamentos, generalmente éstos tenderán a deformarse en la dirección en la que el impacto tenga lugar.

### **1.1.2.5.3 Sistemas de seguridad pasiva**

En la actualidad todos los coches cuentan con sistemas de seguridad pasiva. Cabe destacar dos fundamentalmente: los pretensores de cinturones y los airbags. Los primeros se activan cuando se supera un nivel de deceleración determinado retrotrayendo unos centímetros el cinturón de seguridad para retener mejor al conductor o pasajero. Los segundos se activan cuando el nivel de deceleración supera un segundo umbral (superior al primero), de tal forma que generan una bolsa que protege las partes más frágiles como la cabeza.

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**



*Ilustración 9: Ángulos de activación del airbag frontal y lateral [17]*

Que estos sistemas se hayan activado o no durante el accidente darán una pista bastante clara del nivel de deceleración que ha experimentado el vehículo, por tanto, será un indicativo de la violencia del mismo. Del mismo modo, según qué airbags se hayan activado (los frontales o laterales) se podrá conocer el lugar donde el vehículo recibió el impacto

### ***1.1.2.5.4 Daños estructurales***

Una inspección visual del estado del vehículo podrá resultar clave. El perito experimentado podrá extraer mucha información según el tipo de deformaciones y la gravedad de las mismas presentes en el vehículo objeto del accidente. Más adelante, cuando se definan los procesos de cálculo físicos y matemáticos empleados para la reconstrucción del accidente, se darán indicaciones más extensas sobre cómo interpretar estos daños.

### ***1.1.2.6 Toma de datos para la elaboración del informe pericial***

Ya se han descrito anteriormente los elementos con mayor influencia en los accidentes de tráfico. Son muchos los factores a tener en cuenta, por lo que el perito deberá seguir un proceso sistemático para no pasar ninguno por alto.

A lo largo de este proyecto, se desarrollará una herramienta en Microsoft Excel que sirva de guía para la recogida de los datos, ayudando a sistematizar el proceso. De esta forma, el perito contará con una herramienta potente que le resultará de gran ayuda en la determinación de los hechos y la posterior elaboración del informe pericial de forma exhaustiva.

En cualquier caso, debe tenerse presente la existencia de dos tipos de datos según su duración en el tiempo. Ciertos elementos tales como las huellas en la carretera, los restos de los

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

vehículos implicados o el reportaje fotográfico corren el riesgo de no poder recogerse y registrarse pasado un tiempo tras accidente. Serán estos los datos que deberán ser recogidos en primer lugar. Por el contrario, otra información como el punto kilométrico donde tuvo lugar, las dimensiones de la carretera o la visibilidad de la misma, podrá ser comprobada en cualquier momento sin depender de ello el tiempo transcurrido desde el accidente.

Fundamentalmente el perito debe recoger datos correspondientes a cinco aspectos diferentes. Se tomará como referencia las indicaciones recogidas en el Manual de Reconstrucción de Accidentes de Cesvimap [11].

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### 1.1.2.6.1 Datos de la vía

N.º Referencia <input type="text"/>		Vehículos	
<b>DATOS REFERENTES A LA VÍA</b>		1. <input type="text"/>	<input type="text"/>
		2. <input type="text"/>	<input type="text"/>
		3. <input type="text"/>	<input type="text"/>
		4. <input type="text"/>	<input type="text"/>
		5. <input type="text"/>	<input type="text"/>
<b>TIPO DE VÍA</b>		<b>Denominación</b>	
<input type="checkbox"/> Vía interurbana <input type="checkbox"/> Travesía <input type="checkbox"/> Vía urbana <input type="checkbox"/> Calle / Avenida <input type="checkbox"/> Plaza / Glorieta		<input type="text"/> Punto km. <input type="text"/> Hm. <input type="text"/> Término municipal <input type="text"/> Localidad <input type="text"/>	
		Sentido vehículo 1 <input type="text"/> Sentido vehículo 2 <input type="text"/> Sentido vehículo 3 <input type="text"/> Sentido vehículo 4 <input type="text"/> Sentido vehículo 5 <input type="text"/>	
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA</b>			
<input type="checkbox"/> Autopista <input type="checkbox"/> Autovía <input type="checkbox"/> Vía rápida <input type="checkbox"/> Vía convencional <input type="checkbox"/> Carretera vecinal <input type="checkbox"/> Vía de servicio <input type="checkbox"/> Ramal de enlace <input type="checkbox"/> Otro		<b>Régimen de circulación</b>	
		<input type="checkbox"/> Sentido único <input type="checkbox"/> Doble sentido <input type="checkbox"/> Vía de dos calzadas <input type="checkbox"/> Pista de ciclistas <input type="checkbox"/> Pista vehículos lentos	
		<b>Sentido de orientación</b> <input type="text"/>	
		Anchura calzada <input type="text"/> m Anchura carriles <input type="text"/> m	
N.º de carriles <input type="text"/>		<b>Arcén pavimentado</b> Sí No <input type="checkbox"/> Inexistente <input type="checkbox"/> Impracticable	
		Anchura arcén <input type="text"/> IZ <input type="text"/> DE <input type="text"/> Anchura cuneta <input type="text"/> Anchura acera <input type="text"/>	
<b>DISEÑO TRAZADO</b>			
<b>Elementos de seguridad</b>		<b>Peralte %</b>	
<input type="checkbox"/> Mediana <input type="checkbox"/> Barreras <input type="checkbox"/> Hitos de arista <input type="checkbox"/> Captafaros <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>		<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> Asc. Des. Pendiente	
<input type="checkbox"/> Recta <input type="checkbox"/> Curva <input type="checkbox"/> Curva suave <input type="checkbox"/> Curva sin visibilidad <input type="checkbox"/> Resalte <input type="checkbox"/> Badén <input type="checkbox"/> Estrechamiento <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>		<b>Intersección</b> Con carretera <input type="text"/> Con calle <input type="text"/>	
		<input type="checkbox"/> En T o Y <input type="checkbox"/> En X o + <input type="checkbox"/> Enlace carr. <input type="checkbox"/> Acceso <input type="checkbox"/> Giratoria <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>	
		<input type="checkbox"/> Paso de peatones <input type="checkbox"/> Isletas <input type="checkbox"/> Raqueta de giro <input type="checkbox"/> Mediana <input type="checkbox"/> Carril arcén de espera <input type="checkbox"/> Nada especial <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>	
<b>FIRME</b>		<b>SEÑALIZACIÓN</b>	
<input type="checkbox"/> Asfalto <input type="checkbox"/> Hormigón <input type="checkbox"/> Adoquín <input type="checkbox"/> Loseta <input type="checkbox"/> Tierra batida <input type="checkbox"/> Empedrado <input type="checkbox"/> Macadam <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>		<b>Vertical</b> <input type="checkbox"/> Existentes <input type="checkbox"/> Inexistentes <input type="checkbox"/> Innecesaria	
<b>Estado</b> <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> Baches <input type="checkbox"/> Lomas <input type="checkbox"/> Nidos <input type="checkbox"/> Badén		<b>Regulada por</b> <input type="checkbox"/> Agente <input type="checkbox"/> Semáforo <input type="checkbox"/> Señal stop <input type="checkbox"/> Señal ceda el paso <input type="checkbox"/> Sólo marcas viales <input type="checkbox"/> Paso de peatones <input type="checkbox"/> Ninguna señal <input type="checkbox"/> Señal de prioridad	
		<b>Marcas viales</b> <input type="checkbox"/> Inexistentes <input type="checkbox"/> Borradas <input type="checkbox"/> Solo bordes <input type="checkbox"/> Solo carriles <input type="checkbox"/> Carriles y bordes <b>Genérica</b> <input type="checkbox"/> Km/h	
		<b>Luminaria</b> <input type="checkbox"/> Semáforos <input type="checkbox"/> Otras <input type="checkbox"/> Ciclo de tiempo	
<b>Observaciones</b>			

Ilustración 10: Plantilla de datos a recoger referentes a la vía [11]

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### 1.1.2.6.2 Datos del entorno

N.º Referencia

### DATOS REFERENTES AL ENTORNO

---

Fecha  Hora  Min  Provincia   
    Día/Mes/Año

Vehículos implicados  Peatones implicados

Laboral  
 Anterior a festivo  
 Festivo  
 Posterior a festivo

---

<b>Superficie</b> <input type="checkbox"/> Seca y limpia <input type="checkbox"/> Umbria <input type="checkbox"/> Humeda <input type="checkbox"/> Mojada <input type="checkbox"/> Encharcada <input type="checkbox"/> Helada <input type="checkbox"/> Nevada <input type="checkbox"/> Barrido <input type="checkbox"/> Gravilla suelta <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Aceite <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>	<b>Factores atmosféricos</b> <input type="checkbox"/> Buen tiempo <input type="checkbox"/> Calma <input type="checkbox"/> Neblina <input type="checkbox"/> Niebla intensa <input type="checkbox"/> Lloviznando <input type="checkbox"/> Lluvia fuerte <input type="checkbox"/> Granizando <input type="checkbox"/> Nevando <input type="checkbox"/> Viento fuerte <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>	<b>Otras circunstancias</b> <input type="checkbox"/> Paso a nivel <input type="checkbox"/> Estrechamiento <input type="checkbox"/> Cambio de rasante <input type="checkbox"/> Fuerte descenso <input type="checkbox"/> Firme deslizante <input type="checkbox"/> Badón <input type="checkbox"/> Obras <input type="checkbox"/> Resalte <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/> Peralto invertido <input type="checkbox"/> Fin de carril <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>	
--	---	--	--

---

<b>Visibilidad de la señalización</b> <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Deficiente <input type="checkbox"/> Nula	<b>Circulación</b> <input type="checkbox"/> Fluida <input type="checkbox"/> Intensa <input type="checkbox"/> Congestionada	<b>Visibilidad restringida</b> <input type="checkbox"/> Edificios <input type="checkbox"/> Configuración del terreno <input type="checkbox"/> Vegetación <input type="checkbox"/> Factores atmosféricos <input type="checkbox"/> Deslumbramiento <input type="checkbox"/> Polvo y humo <input type="checkbox"/> Sin restricción <input type="checkbox"/> Vehículos <input type="checkbox"/> Sol <input type="checkbox"/> Amanecer <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Pleno día <input type="checkbox"/> Tarde <input type="checkbox"/> Atardecer <input type="checkbox"/> Noche	<b>Condiciones especiales</b> <input type="checkbox"/> Carril reversible <input type="checkbox"/> Utilización arcén <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>
---	---	--	--

---

<b>Luminosidad</b> <input type="checkbox"/> Pleno día <input type="checkbox"/> Crepúsculo <input type="checkbox"/> Iluminación suficiente <input type="checkbox"/> Iluminación insuficiente <input type="checkbox"/> Sin iluminación	<b>Arbolado</b> <input type="checkbox"/> Aislado <input type="checkbox"/> Arboleda <input type="checkbox"/> Fila
---	---

---

<b>Observaciones</b> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<b>Laterales</b> <input type="checkbox"/> Bordillo <input type="checkbox"/> Descarnado <input type="checkbox"/> Igual nivel <input type="checkbox"/> Desmonte <input type="checkbox"/> Terraplén <input type="checkbox"/> Quitamiedos <input type="checkbox"/> Guardarrail <input type="checkbox"/> Poste <input type="checkbox"/> Árboles <input type="checkbox"/> Adifios
--	---

Ilustración 11: Plantilla de datos a recoger referentes al entorno [11]

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### 1.1.2.6.3 Datos del vehículo

N.º Referencia <input type="text"/>		
<b>DATOS REFERENTES AL VEHÍCULO</b>		
Vehículo n.º <input type="text"/>	Matrícula <input type="text"/>	N.º ocupantes <input type="text"/>
<b>Permiso de circulación</b> Marca <input type="text"/> Modelo <input type="text"/> Color <input type="text"/> N.º bastidor <input type="text"/>	<b>Tipo de vehículo</b> <input type="checkbox"/> Ciclomotor <input type="checkbox"/> Furgoneta <input type="checkbox"/> Trailer <input type="checkbox"/> Motocicleta <input type="checkbox"/> Camioneta <input type="checkbox"/> Microbus <input type="checkbox"/> Turismo <input type="checkbox"/> Camión <input type="checkbox"/> Autobus	<b>ITV</b> <input type="checkbox"/> Si realizada <input type="checkbox"/> No realizada <input type="checkbox"/> No necesaria
<b>Seguro</b> Compañía <input type="text"/> Póliza N.º <input type="text"/> Periodo de validez <input type="text"/>	<b>Estado del vehículo</b> <input type="checkbox"/> Aparentemente sin defectos <input type="checkbox"/> Luces traseras deficientes <input type="checkbox"/> Neumáticos desgastados <input type="checkbox"/> Luces delanteras deficientes <input type="checkbox"/> Pinchazo/Reventón <input type="checkbox"/> Dirección deficiente <input type="checkbox"/> Pérdida de la rueda <input type="checkbox"/> Suspensión deficiente <input type="checkbox"/> Frenos deficientes <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/> <input type="checkbox"/> ABS deficiente	<b>Motivo desplazamiento</b> <input type="checkbox"/> Local (50 km) <input type="checkbox"/> Largo (más de 200 km) <input type="checkbox"/> Medio (hasta 200 km) <input type="checkbox"/> Se ignora
<b>Carga</b> Tipo <input type="text"/> Cantidad <input type="text"/> Peso <input type="text"/> Tm Sobrecargado <input type="text"/> Carga mal dispuesta <input type="text"/>	<b>Transporte</b> <input type="checkbox"/> Explosivo <input type="checkbox"/> Corrosivo <input type="checkbox"/> Tóxico <input type="checkbox"/> Radioactivo <input type="checkbox"/> Inflamable <input type="checkbox"/> No peligroso	
<b>DEFORMACIONES</b>		
<b>Parte frontal</b> <input type="checkbox"/> Paragolpes <input type="checkbox"/> Luna parabrisas <input type="checkbox"/> Rejilla <input type="checkbox"/> Neumático derecho <input type="checkbox"/> Aleta derecha <input type="checkbox"/> Neumático izquierdo <input type="checkbox"/> Aleta izquierda <input type="checkbox"/> Motor <input type="checkbox"/> Faro derecho <input type="checkbox"/> Radiador <input type="checkbox"/> Faro izquierdo <input type="checkbox"/> Dirección <input type="checkbox"/> Capó  <input type="checkbox"/> Vehículo incendiado <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/>	<b>Parte central</b> <input type="checkbox"/> Puerta delantera derecha <input type="checkbox"/> Puerta delantera izquierda <input type="checkbox"/> Puerta trasera derecha <input type="checkbox"/> Puerta trasera izquierda <input type="checkbox"/> Techo <input type="checkbox"/> Estribo derecho <input type="checkbox"/> Estribo izquierdo <input type="checkbox"/> Luna delantera derecha <input type="checkbox"/> Luna delantera izquierda <input type="checkbox"/> Luna trasera derecha <input type="checkbox"/> Luna trasera izquierda	<b>Parte trasera</b> <input type="checkbox"/> Paragolpes <input type="checkbox"/> Aleta derecha <input type="checkbox"/> Aleta izquierda <input type="checkbox"/> Capó <input type="checkbox"/> Piloto derecho <input type="checkbox"/> Piloto izquierdo <input type="checkbox"/> Neumático derecho <input type="checkbox"/> Neumático izquierdo <input type="checkbox"/> Luneta
<b>COLISIÓN</b>		
<b>Entre vehículos</b> <input type="checkbox"/> Frontal <input type="checkbox"/> Frontolateral <input type="checkbox"/> Lateral <input type="checkbox"/> Alcance <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/>	<b>Atropello</b> <input type="checkbox"/> Peatón fuera del vehículo <input type="checkbox"/> Peatón/es <input type="checkbox"/> Conductor de animales <input type="checkbox"/> Animal suelto <input type="checkbox"/> Rebaño <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/>	<b>Salida/Choque</b> <input type="checkbox"/> Choque con árbol <input type="checkbox"/> Choque con poste <input type="checkbox"/> Choque con muro <input type="checkbox"/> Choque con edificio <input type="checkbox"/> Choque con cuneta <input type="checkbox"/> Choque con bordillo <input type="checkbox"/> Choque con vehículo  <input type="checkbox"/> Choque con valla <input type="checkbox"/> Choque con barrera <input type="checkbox"/> Otro choque <input type="checkbox"/> Sin colisión <input type="checkbox"/> Con vuelco <input type="checkbox"/> Con despeñamiento <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/>
<b>Observaciones</b>		

Ilustración 12: Plantilla de datos a recoger referentes al vehículo [11]

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### 1.1.2.6.4 Datos referentes a las personas

N.º Referencia

### DATOS REFERENTES A LAS PERSONAS

Peatón <input type="text"/>	Matrícula <input type="text"/>	Nacionalidad <input type="text"/>
Conductor <input type="text"/>	Ocupante <input type="text"/>	

Don <input type="text"/>	Fecha nacimiento <input type="text"/>
Domicilio <input type="text"/>	DNI <input type="text"/>
Localidad <input type="text"/>	Peso <input type="text"/> kg
Provincia <input type="text"/> Teléfono <input type="text"/>	Altura <input type="text"/> m

Usos de accesorios de seguridad	Condiciones psicofísicas	Acción del conductor	Horas de conducción
<input type="checkbox"/> Cinturón de seguridad <input type="checkbox"/> Casco <input type="checkbox"/> Reflectante <input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> No necesita <input type="checkbox"/> Se ignora <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Alcohol sin prueba <input type="checkbox"/> Alcohol con prueba <input type="checkbox"/> Drogas <input type="checkbox"/> Fármacos <input type="checkbox"/> Sueño <input type="checkbox"/> Fatiga <input type="checkbox"/> Preocupado <input type="checkbox"/> Se ignora <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Adelantando <input type="checkbox"/> Girando <input type="checkbox"/> Girando en «U» <input type="checkbox"/> Incorporándose <input type="checkbox"/> Abandonando <input type="checkbox"/> Cruzando intersección <input type="checkbox"/> Siguiendo ruta <input type="checkbox"/> Estacionando <input type="checkbox"/> Marcha atrás <input type="checkbox"/> En maniobra <input type="checkbox"/> Frenando <input type="checkbox"/> Parado <input type="checkbox"/> Otros <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Menos de 1h <input type="checkbox"/> De 1 a 3h <input type="checkbox"/> De 3 a 5h <input type="checkbox"/> De 5 a 8h <input type="checkbox"/> Más de 8h <input type="checkbox"/> Se ignora

Tipo de conductor	Motivo del desplazamiento
<input type="checkbox"/> Profesional <input type="checkbox"/> Particular <input type="checkbox"/> Militar <input type="checkbox"/> Ambulancia <input type="checkbox"/> Bomberos <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Durante el trabajo <input type="checkbox"/> <i>In itinere</i> <input type="checkbox"/> Salida/Regreso de vacaciones <input type="checkbox"/> Puente <input type="checkbox"/> Fin de semana <input type="checkbox"/> Urgencia <input type="checkbox"/> Ocio <input type="checkbox"/> Otro <input type="text"/>

Posición	D.	D.N.I.	Accesorios de seguridad
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Observaciones**

Ilustración 13: Plantilla de datos a recoger referentes a las personas [11]

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.1.2.6.5 Datos referentes a huellas, vestigios y posiciones finales***

Se recomienda en este caso la elaboración de un croquis que sitúe en el lugar de los hechos la localización exacta de las huellas, vestigios, lugar de impacto y posiciones finales de los vehículos implicados.

Para poder situar con precisión los distintos elementos, deben tomarse dos puntos como referencia. Estos puntos deben ser fijos y fácilmente identificables por cualquier persona. Una buena referencia podría ser una señal vertical o una indicación kilométrica. Cualquier elemento que persista en el tiempo e incluso después del accidente siga sirviendo como punto de referencia. A partir de estos dos puntos definidos, se acotan las posiciones de los distintos elementos relevantes.

### ***1.1.2.7 Fundamentos físicos detrás de los accidentes***

Los fundamentos físicos útiles para describir los accidentes de tráfico no son muy complejos. Se trata de mecánica simple, aquella que estudia el movimiento de las masas, los choques y la energía implicada en los mismos. Se empleará como referencia el Manual de Física Tipler/Mosca [18].

Un vehículo desplazándose a velocidad constante, se dirá que lleva un movimiento rectilíneo uniforme.

$$\text{Módulo de la velocidad} = \frac{\text{Distancia total}}{\text{Tiempo total}}$$

Cuando el vehículo experimenta aceleración, su comportamiento quedará definido según las fórmulas del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

$$v_f = v_i + a \cdot t$$

$$s = v_i \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 \cdot s}$$

*Siendo:*

*v<sub>f</sub>: Velocidad final del vehículo en m/s*

*v<sub>i</sub>: Velocidad inicial del vehículo en m/s*

*a: Aceleración del vehículo en m/s<sup>2</sup>*

*t: Tiempo en segundo*

*s: Distancia total en metros*

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Hasta ahora solamente se ha contemplado cuando el vehículo sigue una trayectoria recta, sin embargo, es muy común que los accidentes se originen en trayectorias curvas. Para estos casos regirá el movimiento curvilíneo.

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

$$a_t = \frac{v}{t}$$

Siendo:

$a_n$ : Aceleración normal o centrípeta

$a_t$ : Aceleración tangencial

$R$ : Radio de la curva trazada

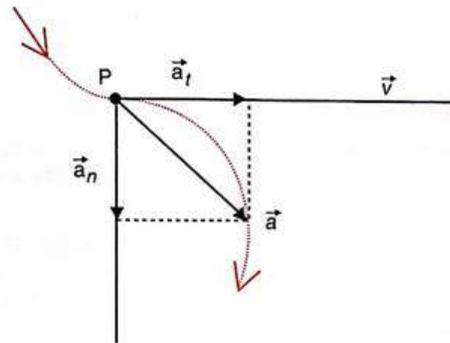


Ilustración 14: Representación gráfica de la aceleración normal y tangencial [11]

Para tener una visión global y entender el por qué los cuerpos se ponen en movimiento, o cuáles son las causas que provocan el cambio de velocidad y de trayectoria, debe recurrirse a las tres leyes de Newton. Isaac Newton nació en 1642, estudió en detalle los trabajos de Galileo y Kepler, tratando de entender el movimiento de los planetas y por qué el sistema solar permanecía unido. De esta forma, enunció sus tres leyes, las cuales, relacionan las fuerzas que se provocan los cuerpos entre sí, así como los cambios de movimiento que sufre un cuerpo como consecuencia de las fuerzas que actúan sobre él.

La primera ley de Newton, también conocida como el principio de inercia, asegura que un cuerpo en reposo o en movimiento uniforme permanecerá en reposo o en movimiento uniforme a menos que se le aplique alguna fuerza exterior.

La segunda ley de Newton, principio fundamental de la dinámica, afirma que la fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a la aceleración del mismo, así como a su masa.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

*Siendo:*

*F: Fuerza aplicada sobre el cuerpo en N*

*m: Masa del cuerpo en kg*

Por último, la tercera ley de Newton o principio de acción-reacción, establece que siempre que interaccionen dos cuerpos entre sí, la fuerza que ejerce el primero sobre el segundo (acción) es igual y opuesta a la que ejerce el segundo sobre el primero (reacción).

Atendiendo a estas tres leyes, cabría preguntarse por qué un vehículo circulando por la carretera a velocidad constante, tiende a frenarse poco a poco si no se mantiene el pie en el acelerador. Según la primera ley, este descenso de la velocidad debería ser consecuencia de la aplicación de una fuerza exterior sobre el vehículo. Son tres en concreto las fuerzas que pueden actuar sobre un vehículo en movimiento.

En primer lugar, la fuerza de rozamiento, se define como una fuerza que se opone al deslizamiento entre dos superficies. Dependerá de dos factores fundamentalmente, la componente del peso perpendicular a la superficie y el coeficiente de rozamiento. A mayor coeficiente de rozamiento mayor será la oposición al deslizamiento.

$$\overrightarrow{F_{roz}} = \mu \cdot N$$

*Siendo:*

*$\mu$ : Coeficiente de rozamiento*

*N: Componente normal del peso*

En segundo lugar, la resistencia a la rodadura, definida como la resistencia a que un cuerpo ruede libremente sobre otro.

$$F_{rod} = N \cdot \frac{\delta}{R}$$

*Siendo:*

*$\delta$ : Coeficiente de resistencia a la rodadura (en unidades de longitud)*

*R: Radio del elemento rodante*

Por último, la fuerza centrífuga. Cuando un cuerpo gira en una trayectoria curvilínea, aparece una fuerza hacia el exterior de la propia curva que tiende a desplazar al vehículo lateralmente.

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

*Siendo:*

*R: Radio de la curva*

*v: Velocidad del vehículo*

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

El resultado no es el mismo cuando chocan dos coches similares que cuando el choque tiene lugar entre un coche y un camión. Aunque en ambos casos los vehículos implicados fuesen a idéntica velocidad, parece obvio que en el segundo caso el coche sufrirá más daños que el camión y de mayor gravedad que de haber chocado con un coche similar. La física define esto mediante la cantidad de movimiento. El camión, al tener una masa mucho mayor, aunque vaya a la misma velocidad que el coche, lleva una cantidad de movimiento mucho mayor.

$$\vec{C} = m \cdot \vec{v}$$

*Siendo:*

*C: Cantidad de movimiento en kg·m/s*

Otra consideración a tener en cuenta, una fuerza no tendrá el mismo resultado sobre un cuerpo si actúa sobre este durante un tiempo muy corto que si lo hace durante mucho tiempo. La variación de velocidad de un cuerpo dependerá tanto de la magnitud de la fuerza que se le aplique, como del tiempo que esta fuerza esté actuando. Esto es lo que se conoce como impulso mecánico.

$$\vec{J} = \vec{F} \cdot t$$

El impulso mecánico  $\vec{J}$  servirá para cambiar la cantidad de movimiento del cuerpo implicado.

$$\vec{J} = \vec{C}_2 - \vec{C}_1$$

De esta fórmula se puede concluir que, en ausencia de fuerzas externas, la cantidad de movimiento deberá permanecer constante, a esto se le conoce como principio de conservación de la cantidad de movimiento.

Se define el trabajo T que ejerce una fuerza F sobre un cuerpo al producto escalar de la fuerza por el desplazamiento producido.

$$T = \vec{F} \cdot \Delta\vec{S} \cdot \cos\alpha$$

*Siendo:*

*T: El trabajo en N·m*

*$\vec{F}$ : La fuerza aplicada*

*$\Delta\vec{S}$ : El desplazamiento en m*

*$\alpha$ : El ángulo entre la dirección de la fuerza y la dirección del desplazamiento*

La capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo es lo que se conoce como energía. En función de la forma en que los cuerpos adquieren esta capacidad de trabajo se puede distinguir entre distintos tipos de energía.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Siendo:

$E_c$ : Energía cinética, energía que tiene un cuerpo debido a su velocidad

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Siendo:

$E_p$ : Energía potencial, energía que tiene un cuerpo debido a su altura

$$E_{def} = \frac{F_{def} \cdot d}{2}$$

Siendo:

$E_{def}$ : Energía de deformación

$d$ : Deformación

Debe tenerse en cuenta el principio de conservación de la energía. La energía ni se crea ni se destruye, simplemente se transforma de un tipo de energía en otro. Al caer un objeto desde un balcón, por ejemplo, transforma su energía potencial (consecuencia de su altura respecto del suelo) en energía cinética (consecuencia de la velocidad que lleva en su caída).

### 1.1.2.7.1 Choque plenamente elástico

Prácticamente en todo accidente de tráfico tiene lugar una o varias colisiones. Como consecuencia directa, los vehículos sufren deformaciones cuyo estudio podrá ayudar al perito a determinar la violencia del impacto, así como a descubrir otros aspectos relevantes del accidente.

Fundamentalmente, los choques pueden clasificarse en elástico o inelásticos. En el primer caso, durante el choque se conserva toda la energía cinética presente, podrá suceder que un vehículo imprima velocidad al otro, reduciendo la suya, pero en global, la cantidad de movimiento y la energía cinética permanecerán constantes.

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$$

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \vec{v}_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \vec{v}_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \vec{v}_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \vec{v}_2'^2$$

Siendo:

$m_1$ : Masa en kg del vehículo que impacta

$m_2$ : Masa en kg del vehículo impactado

$v_1$ : Velocidad inicial en m/s del vehículo que impacta

$v_2$ : Velocidad inicial en m/s del vehículo impactado

$v_1'$ : Velocidad final en m/s del vehículo que impacta

$v_2'$ : Velocidad final en m/s del vehículo impactado

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

Si se particulariza al caso concreto de un choque a baja velocidad, generalmente uno de los vehículos (el 2 en este caso) parte de una situación de reposo, de tal forma que es el vehículo 1 el que impacta con el vehículo 2, la mayoría de las veces por la parte posterior. Considerando la velocidad inicial del coche 2 nula y combinando las fórmulas asociadas a la conservación de la energía cinética y a la cantidad de movimiento, se puede despejar las velocidades finales de ambos vehículos en función de las masas y la velocidad inicial del coche que inicia el impacto.

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2) \cdot v_1}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{2 \cdot m_1 \cdot v_1}{m_1 + m_2}$$

En el caso en el que el coche 2 no tenga velocidad inicial nula, las ecuaciones resultantes serían:

$$v_1' = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot (v_1 - 2 \cdot v_2)}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{m_1 \cdot (2 \cdot v_1 - v_2) + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

Estas fórmulas serán válidas fundamentalmente en accidentes de baja velocidad, en los que la violencia del impacto no es suficiente como para producir una deformación permanente en alguno de los vehículos. Debe hacerse notar que estas fórmulas tampoco consideran el rozamiento de los vehículos con el asfalto, el cual disipa parte de la energía del choque.

### **1.1.2.7.2 Choque inelástico**

Un cálculo más preciso considera también la energía que se pierde al deformar alguno de los vehículos. Una vez impactan, parte de la energía cinética que llevaban los vehículos es empleada en deformarlos. De igual forma, parte de esta energía es disipada en forma de calor a través del rozamiento con el asfalto. En este caso la energía cinética inicial diferirá de la final.

$$Energía\ cinética\ inicial = Energía\ cinética\ final + E_{deformación}$$

Para contabilizar esta parte de energía que no interviene en la modificación de la velocidad de los vehículos se define el coeficiente de restitución [19]:

$$e = -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}$$

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Siendo:

$e$ : Coeficiente de restitución

En un choque plenamente elástico, el coeficiente de restitución tomará el valor 1, mientras que, en un choque perfectamente inelástico, su valor será 0.

Partiendo de la conservación de cantidad de movimiento, válida tanto en choques inelásticos como en choques elásticos, y, conociendo la expresión del coeficiente de restitución, se procede a la determinación de la variación de velocidad que experimentan los vehículos tras el choque:

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$$

$$\Delta v_1 \cdot m_1 + \Delta v_2 \cdot m_2 = 0$$

Siendo:

$\Delta v_1$ : Variación de velocidad en m/s del vehículo que impacta

$\Delta v_2$ : Variación de velocidad en m/s del vehículo impactado

$$\Delta v_2 = \frac{(1 + e) \cdot m_1 \cdot (v_1 - v_2)}{m_2 + m_1}$$

$$\Delta v_1 = \frac{(1 + e) \cdot m_2 \cdot (v_2 - v_1)}{m_2 + m_1}$$

El problema que presenta este cálculo es la determinación del coeficiente de restitución. Dado que se ha definido en función de las velocidades iniciales y finales de ambos vehículos, y son precisamente estas velocidades las incógnitas, es necesario determinar el coeficiente de restitución siguiendo otro procedimiento.

La restitución está asociada al comportamiento elástico de los materiales durante el impacto, por este motivo, históricamente se ha relacionado con el grado de severidad del impacto [20]. En el año 1967, T. Sato desarrolló un modelo para el cálculo del coeficiente de restitución a partir de la velocidad de impacto [21]:

$$e = 0,574 \cdot e^{(-0,1419 \cdot v_1)}$$

Siendo:

$e$ : Coeficiente de restitución

$v_1$ : Velocidad inicial en m/s del vehículo que impacta

$e$ : Constante matemática  $e$

Durante los siguientes años los estudios se enfocaron más en choques de alta velocidad (a más de 25 km/h) asumiéndose la hipótesis de que la influencia del coeficiente de restitución podía

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

despreciarse. Kenneth L. Campbell desarrolló sus estudios sobre la energía de deformación (mirar 3.1.1.7.3).

A finales del siglo XX se retoma el estudio de los choques a baja velocidad, Denis Wood desarrolla un modelo teórico asemejando la estructura del coche durante la colisión a un tubo de paredes delgadas cerca de los límites críticos de pandeo [22]. Tras la realización de 121 ensayos con vehículos fabricados entre 1960 y 1990, su modelo indica que el coeficiente de restitución tiende a disminuir según aumenta la velocidad del impacto. A velocidades muy bajas el modelo de Wood no era muy significativo, por lo que en 1993 Howard desarrolla un estudio con velocidades inferiores a 12 km/h ajustando el modelo definido por Sato a una expresión exponencial de grado tres [23].

Más tarde, Vicent W. Antonetti basándose en el modelo de Wood, establece una nueva ecuación para la determinación del coeficiente de restitución, más ajustada [24]. Para su determinación realizó una muestra de 53 ensayos empleando 23 tipos de vehículo diferentes con unas velocidades de entre 2 y 32 km/h:

$$e = 0,5992 \cdot e^{(-0,2508 \cdot v_1 + 0,01934 \cdot v_1^2 - 0,001279 \cdot v_1^3)}$$

Por último, Aníbal O. García en el año 2003 sugiere una última corrección de los modelos propuestos anteriormente sugiriendo dos expresiones distintas según la velocidad a la que tenga lugar el choque [25]:

$$e = 0,45 \cdot e^{-0,145 \cdot v_1} \quad \text{para } v_1 < 15 \frac{m}{s}$$

$$e = 0,12 \cdot e^{-0,055 \cdot v_1} \quad \text{para } v_1 > 15 \frac{m}{s}$$

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

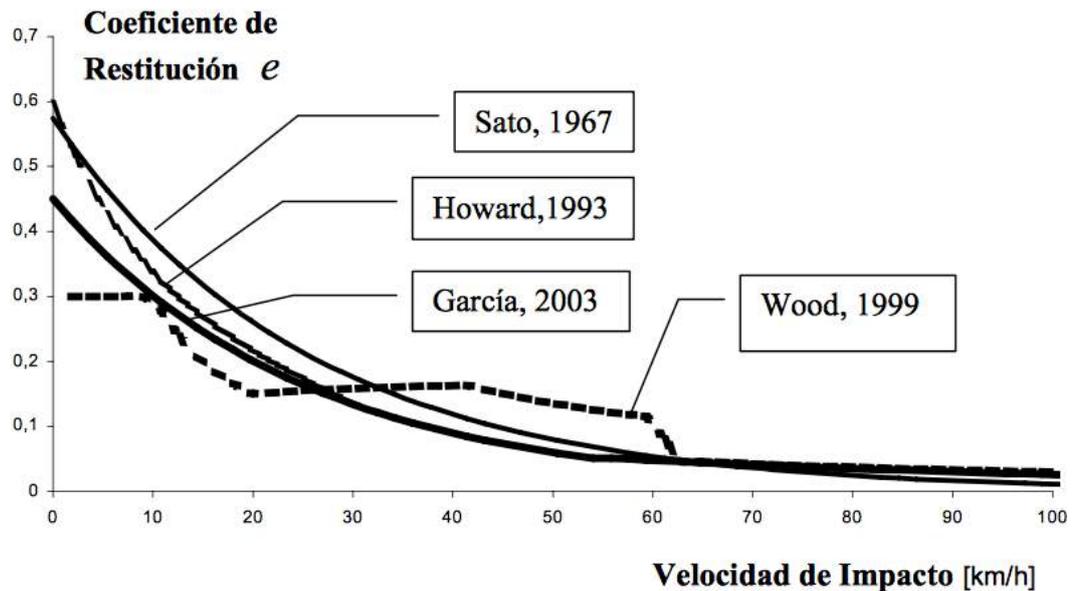


Ilustración 15: Comparación del cálculo del coeficiente de restitución  $e$  en función de la velocidad de impacto según los distintos modelos estudiados [20]

### 1.1.2.7.3 La energía de deformación

El cálculo de la energía de deformación da claras pistas de la dirección del impacto, así como de la violencia del mismo. Calculando la energía absorbida por la carrocería del vehículo, y teniendo en cuenta que esa deformación procede de parte de la energía cinética del vehículo, puede establecerse una relación entre la energía de deformación y la velocidad que llevaba el vehículo.

En 1974 Kenneth L. Campbell realizó la primera aproximación al estudio de las deformaciones permanentes en los vehículos basándose en datos extraídos de ensayos contra una barrera rígida. Campbell se percató de que, si representaba la velocidad del vehículo frente a la deformación permanente final, la gráfica resultante se aproximaba mucho a una recta [26].

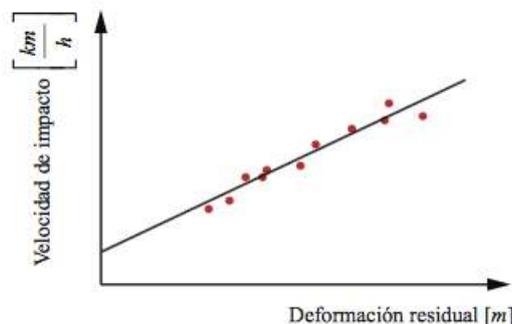


Ilustración 16: Deformación residual frente a velocidad de impacto, método Campbell [26]

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

A partir de estos resultados, es fácil establecer un modelo numérico que permita conocer la velocidad que llevaba el vehículo en el momento del impacto, a partir de la deformación final producida.

$$v = b_0 + b_1 \cdot d$$

Siendo:

*v*: Velocidad del vehículo justo antes del impacto

*b*<sub>0</sub>: Velocidad máxima a la que no se producen deformaciones permanentes

*b*<sub>1</sub>: Pendiente de la recta

*d*: Deformación

Campbell no realizó ensayos por debajo de 24 km/h y concluyó que su modelo era válido hasta velocidades de 97 km/h, a velocidades superiores el comportamiento en forma de recta ya no era tan claro.

Posteriormente, Raymond R. McHenry basándose en los trabajos de Campbell estableció un segundo modelo para determinar la energía consumida en el impacto a partir de la deformación del vehículo. Sucedió algo similar al modelo de Campbell, McHenry se percató de que, representando la fuerza del impacto respecto de la deformación lineal, el comportamiento era lineal [11].

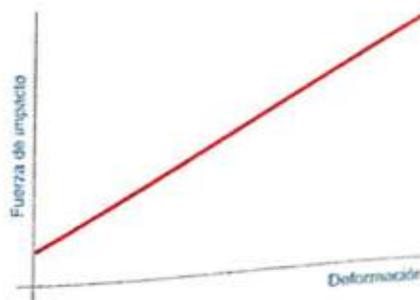


Ilustración 17: Deformación del vehículo en función de la fuerza del impacto, modelo de McHenry [11]

Para obtener esta recta, McHenry ideó su modelo como un sistema compuesto por una masa y un muelle, de tal forma que este último se encarga de absorber la energía cinética al deformarse durante la colisión. McHenry plantea la integral del trabajo que realiza la fuerza responsable de la deformación hasta la profundidad de deformación final, considerando en el cálculo también la energía elástica que es absorbida por el vehículo, antes de que se inicie la deformación permanente.

$$E_{\text{impacto}} = \int \left( A \cdot C_i + \frac{1}{2} \cdot B \cdot C_i^2 + \frac{A^2}{2 \cdot B} \right) dL$$

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Siendo:

*A*: Coeficiente de rigidez A, representando la fuerza máxima que admite el vehículo sin sufrir deformación permanente

*B*: Coeficiente de rigidez B, pendiente de la gráfica que relaciona la fuerza sufrida por el vehículo y su deformación final

*C<sub>i</sub>*: Profundidad de la deformación en m

*dL*: Anchura de la deformación en m

Si se integra numéricamente la expresión anterior en función de 2, 4 o 6 medidas de profundidad de deformación, y suponiendo un comportamiento lineal de la variación de deformación entre dos medidas *C<sub>i</sub>*, McHenry llegó a las siguientes fórmulas.

*E<sub>deformación</sub>* tomando dos medidas:

$$E_{deformación} = L \cdot \left[ \frac{A}{2} \cdot (C_1 + C_2) + \frac{B}{6} \cdot (C_1^2 + C_1 \cdot C_2 + C_2^2) + \frac{A^2}{2 \cdot B} \right]$$

*E<sub>deformación</sub>* tomando cuatro medidas:

$$E_{deformación} = \frac{L}{3} \cdot \left[ \frac{A}{2} \cdot (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + C_4) + \frac{B}{6} \cdot (C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + C_4^2 + C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_3 \cdot C_4) + \frac{3A^2}{2B} \right]$$

*E<sub>deformación</sub>* tomando seis medidas:

$$E_{deformación} = \frac{L}{5} \cdot \left[ \frac{A}{2} \cdot (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + 2C_4 + 2C_5 + C_6) + \frac{B}{6} \cdot (C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + 2C_4^2 + 2C_5^2 + 2C_6^2 + C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_3 \cdot C_4 + C_4 \cdot C_5 + C_5 \cdot C_6) + \frac{5A^2}{2B} \right]$$

Para el cálculo de la profundidad de deformación, se aconseja utilizar más de 2 medidas si el perfil de deformación presenta irregularidades. En cualquier caso, se medirá en dirección perpendicular a la superficie original del vehículo.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

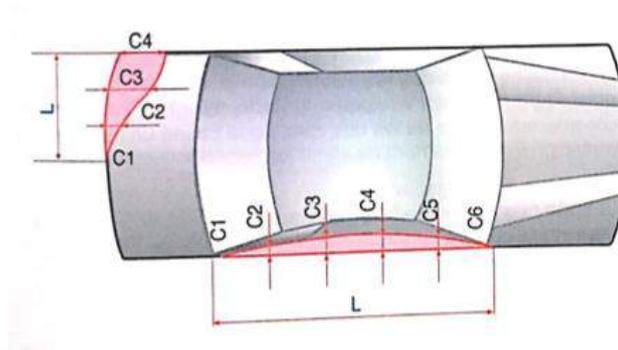


Ilustración 18: Toma de medidas de anchura y profundidad de deformación [11]

El área de impacto deberá incluir no solo las zonas de impacto directo, sino también aquellas zonas dañadas como resultado de una deformación inducida.

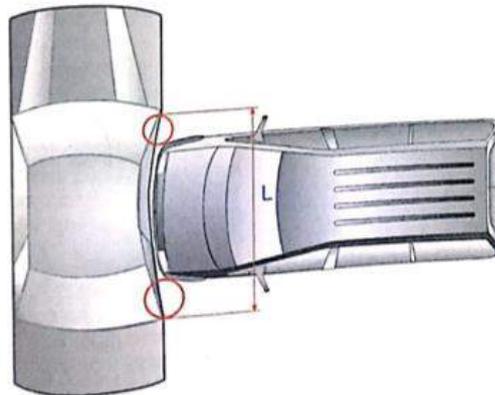


Ilustración 19: Área de impacto [11]

En la tabla siguiente se recogen los coeficientes A y B establecidos por la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) para distintos tipos de vehículos.

VALORES DE RIGIDEZ						
Categoría de los vehículos en función de la batalla, anchura y datos por defecto						
		1	2	3	4	5
Batalla (m)	desde	2,055	2,408	2,581	2,804	2,985
	hasta	2,408	2,581	2,804	2,985	3,130
Via delant. (m)		1,298	1,387	1,496	1,570	1,618
Longitud (m)		4,059	4,442	4,983	5,405	5,682
Anchura (m)		1,544	1,707	1,844	1,956	2,0269
Tara (kg)		1,119	1,247	1,471	1,788	2,068
Coeficientes de rigidez						
Golpe frontal	A (N/m)	52.784	45.268	55.405	62.222	56.804
	B (N/m <sup>2</sup> )	323.407	295.883	385.336	233.954	254.597
Golpe trasero	A (N/m)	63.969	63.339	71.660	62.396	51.910
	B (N/m <sup>2</sup> )	261.478	282.121	302.764	389.453	481.670
Golpe lateral	A (N/m)	13.458	24.469	30.237	24.994	30.936
	B (N/m <sup>2</sup> )	254.597	461.027	392.217	344.050	323.407

Ilustración 20: Coeficientes de rigidez establecidos por el organismo NHTSA [11]

Para la determinación de estos coeficientes, se tuvieron en cuenta las siguientes restricciones:

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

- La rigidez del vehículo se considera aproximadamente uniforme en toda la región afectada
- Se supone que la fuerza actúa de forma perpendicular a la superficie del vehículo
- La deformación se mide perpendicularmente a la superficie del vehículo
- La deformación presenta una profundidad similar desde el suelo hasta el techo del vehículo
- Las fuerzas exteriores al sistema tales como el rozamiento entre el asfalto y el neumático son despreciables en comparación con las fuerzas derivadas del impacto

### ***1.1.2.7.4 Velocidad equivalente de barrera (EBS)***

Una vez conocida la energía de deformación, siguiendo el método propuesto por McHenry, se procede a calcular la velocidad equivalente de barrera (EBS). Se trata de la velocidad que debería haber llevado el vehículo para sufrir las mismas deformaciones impactando contra una barrera rígida e indeformable. Es una medida muy útil pues establece una referencia desde la que poder comparar distintos incidentes, determinando el nivel de violencia según la velocidad resultante. Para su cálculo, basta con igualar las expresiones de la energía cinética con la de la energía absorbida en la deformación.

$$E_{deformación} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (EBS)^2 \rightarrow EBS = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{deformación}}{m}}$$

### ***1.1.2.8 Elaboración y defensa del informe técnico ante el juzgado***

Tan importante como es el proceso de recogida de datos y el análisis de los mismos a la hora de esclarecer lo sucedido en el accidente, también lo es la elaboración de un informe pericial adecuado. Finalmente, será el informe la herramienta empleada por el juez para determinar las responsabilidades de los distintos implicados en el accidente.

Por este motivo, el informe deberá ser claro y preciso, el ingeniero debe tener en cuenta que el juez no es una persona con conocimientos técnicos por lo que deberá explicar los distintos cálculos y conclusiones apoyándose en un lenguaje fácilmente comprensible y no técnico. La aportación de fotografías, croquis y dibujos podría resultar una buena forma de facilitar la comprensión de la información contenida en el informe.

Por supuesto, en toda su labor de investigación, el perito deberá mostrar la máxima imparcialidad.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.1.3 Consideraciones respecto de los accidentes a baja velocidad***

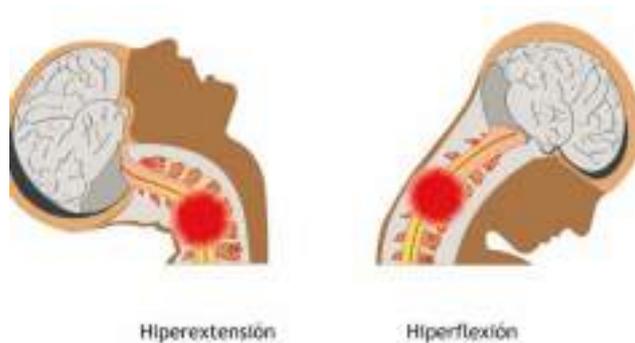
Se considerarán accidentes a baja velocidad aquellos que den lugar a una variación de velocidad de entre 8 y 15 km/h [27] [28], de mediana intensidad entre 16 y 24 km/h y de alta intensidad si superan los 24 km/h [29].

#### ***1.1.3.1 El Síndrome del Latigazo Cervical***

Si anteriormente la preocupación principal eran los accidentes graves, durante los últimos años comienza a prestársele mayor atención a los conocidos como accidentes de baja velocidad. Estos son accidentes que, si bien no revierten ningún peligro para la vida de los pasajeros, sí pueden ser desencadenantes de lesiones de larga duración como el ya presentado Síndrome del Latigazo Cervical.

Este tipo de lesiones se caracterizan entre otras cosas por no requerir de golpes a elevadas velocidades para producirse. Suelen ser resultado de alcances a baja velocidad, especialmente cuando uno de los vehículos está parado y recibe un golpe en la parte trasera pillando al conductor desprevenido (sin tiempo a reaccionar).

En el caso concreto del SLC, esta lesión es resultado de someter a la cabeza a una fuerza de aceleración repentina e inesperada que genera un esfuerzo de hiperextensión en la columna cervical seguido de un esfuerzo de hiperflexión [5]. Este sobreesfuerzo al que se somete la columna puede desencadenar molestos dolores musculares, dolor de cabeza, mareos, náuseas o rigidez cervical entre otras afecciones. Con una duración que puede ir desde los días, superar los seis meses o incluso puede llegar a convertirse en una dolencia crónica [30].



*Ilustración 21: Hiperextensión e hiperflexión tras alcance a baja velocidad [31]*

El SCL es una afección bastante frecuente, estimándose que entre el 20 y el 52% de los afectados por un accidente de tráfico pueden sufrir esta lesión [5]. Aunque no reviste demasiada gravedad, el problema fundamental que el cuerpo médico se encuentra a la hora de diagnosticarlo es la ausencia de síntomas claros. Para dificultar aún más, en muchas ocasiones, las molestias no aparecen en el momento del accidente sino varios días después.

Estas características tan especiales: alta probabilidad de producirse, ausencia de medios objetivos para su diagnóstico y carácter muchas veces crónico, convierten al SLC en objeto

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

permanente de disputas legales entre los afectados y las empresas aseguradoras. Los primeros exigen una compensación económica por una lesión que merma sus capacidades de llevar una vida normal, mientras que los segundos tienden a ampararse en la subjetividad del diagnóstico (y la en teoría fácil simulación de los síntomas) para evitarse el pago de estas indemnizaciones. Las indemnizaciones asociadas en Europa han sido estimadas entre los 5 y los 10.000 millones anuales, con una clara tendencia creciente [5].

### **1.1.3.1.1 Criterios de gravedad, Neck Injury Criterion**

Son muchos los estudios realizados con la intención de determinar un criterio objetivo que establezca, en función de las características del accidente, las posibles consecuencias derivadas del mismo. En 1996 O. Bostroem y MY Svensson basándose en estudios anteriores de B. Aldman [32] establecieron un nuevo criterio de daño de cuello conocido como *Neck Injury Criterion* (NIC). Este criterio mide la sollicitación en el cuello durante el proceso de formación de la S tras el impacto. Más adelante, este criterio fue corroborado con la realización de ensayos [33].

Este criterio permite establecer una relación entre las variables físicas medibles durante el accidente y la posterior probabilidad de sufrir un daño capaz de generar una lesión en el cuello [5].

$$NIC = a_{rel} \cdot 0,2 + V_{rel}^2$$

$$a_{rel} = a_{c1} - a_{c7}$$

$$v_{rel} = v_{c1} - v_{c7}$$

*Siendo:*

*a<sub>rel</sub>: Aceleración relativa entre las vértebras C1 y C7 en m/s<sup>2</sup>*

*a<sub>C1</sub>: Aceleración de la vértebra C1 en m/s<sup>2</sup>*

*a<sub>C7</sub>: Aceleración de la vértebra C7 en m/s<sup>2</sup>*

*v<sub>rel</sub>: Velocidad relativa entre las vértebras C1 y C7 en m/s*

*v<sub>C1</sub>: Velocidad de la vértebra C1 en m/s*

*v<sub>C2</sub>: Velocidad de la vértebra C2 en m/s*

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

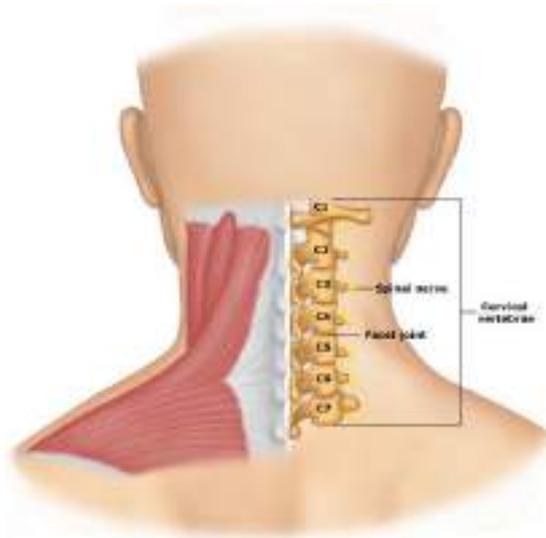


Ilustración 22: Localización de las vértebras cervicales C1 a C7 [34]

Durante el accidente no es posible determinar exactamente la velocidad o aceleración relativa entre las vértebras C1 y C7, sin embargo y para poder aplicar de forma práctica el criterio NIC, puede establecerse la siguiente simplificación: se considera que la diferencia de aceleraciones y velocidades entre ambas vértebras es equivalente a la que experimenta el vehículo accidentado.

Una vez conocido el valor del NIC, Bostroem y Svensson establecieron una relación entre el valor del NIC y el riesgo de lesión derivado. A mayor NIC, la probabilidad de sufrir una lesión aumenta.

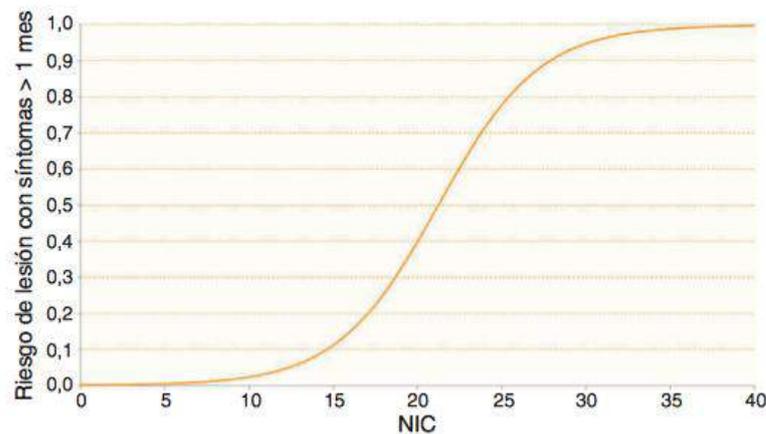


Ilustración 23: Curva de probabilidad de lesión acumulada en función del NIC [5]

### 1.1.3.2 Comportamiento elástico-plástico de los vehículos

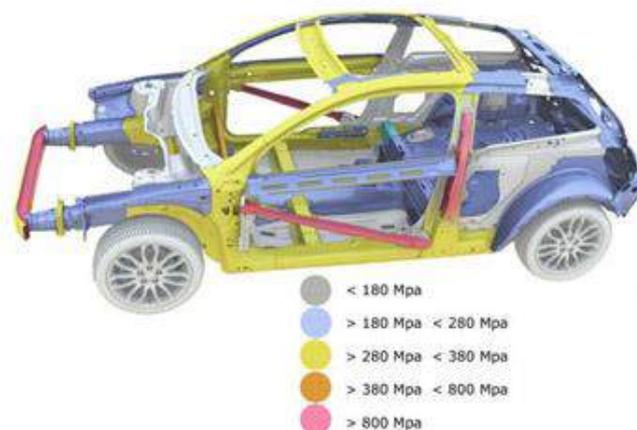
Durante las últimas décadas, el proceso de fabricación de los automóviles ha cambiado considerablemente. Partiendo de coches extremadamente pesados y rígidos se ha evolucionado hacia materiales cada vez más ligeros. Antiguamente, cuando el coche sufría un accidente, los daños que sufría el vehículo eran bastante más contenidos que los que sufre un vehículo en la

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

actualidad. Esto podría llevar a pensar que antiguamente los coches eran más seguros, sin embargo, sucede todo lo contrario. La rigidez de los materiales empleados anteriormente evitaba cualquier absorción de energía por parte de la carrocería, por lo que los ocupantes del vehículo se veían expuestos a toda la violencia del impacto.

Para proteger a los ocupantes del vehículo, se comenzaron a introducir materiales deformables con elevadas capacidades de absorción de energía, de esta forma, frente a un accidente, gran parte de la energía sería absorbida por la propia carrocería, limitando el daño sufrido por los ocupantes. Por este motivo, tras un accidente grave, se puede observar cómo los vehículos implicados quedan completamente deformados e irreconocibles.

Sin embargo, y para limitar los gastos en reparaciones, a la parte más expuesta de los vehículos se les dota de un mayor límite elástico, por lo que frente a colisiones de baja velocidad éstos aguantan sin deformación permanente.



*Ilustración 24: Aceros empleados en la carrocería [35]*

Son muchos los peritos que establecen a la ligera una correlación directa entre los daños sufridos por el vehículo y la probabilidad de lesión de los ocupantes. Como se ha explicado, las partes más expuestas de los vehículos están diseñadas para soportar golpes a bajas velocidades (hasta 4 km/h o incluso más) sin sufrir ningún tipo de daño permanente. De igual forma, cada fabricante diseña sus paragolpes con una forma completamente distinta y una cantidad de material igualmente no uniforme a la del resto de fabricantes. Es posible por tanto que un modelo determinado de vehículo soporte un impacto a mayor velocidad sin sufrir desperfectos.

Si se tienen en cuenta las apreciaciones resaltadas, el nexo relacional entre los daños sufridos por el vehículo y las lesiones de los ocupantes no se sostiene. Incluso, si el vehículo accidentado no sufre ningún desperfecto permanente, esto será indicativo de que el choque ha sido elástico acercándose el coeficiente de restitución a 1, lo cual implica un mayor delta de  $v$  sufrido por parte de los ocupantes del vehículo. A mayor coeficiente de restitución, mayor incremento de velocidad según se aprecia en las fórmulas:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

$$\Delta v_2 = \frac{(1 + e) \cdot m_1 \cdot (v_1 - v_2)}{m_2 + m_1}$$

$$\Delta v_1 = \frac{(1 + e) \cdot m_2 \cdot (v_2 - v_1)}{m_2 + m_1}$$

El artículo nº 42 del Reglamento sobre Homologación de Vehículos, en relación con los elementos de protección delanteros y traseros, establece que deben ser capaces de soportar un impacto a 4 km/h sin sufrir ningún tipo de deformación permanente. De la misma forma, diversa normativa europea contempla también esta situación fijando en 4 km/h el límite que debe soportar la carrocería del coche sin deformarse, siendo este tipo de impactos los típicos que tienen lugar aparcando [36].

El hecho de que los paragolpes estén diseñados siendo capaces de soportar impactos de 4 km/h sin deformarse no implica necesariamente que un impacto a una velocidad superior sí deforme permanentemente el mismo. Como ya se ha comentado, los diversos diseños existentes en el mercado en cuanto a paragolpes se refieren, dan lugar a una gran variedad de comportamientos frente a los choques. El denominador común es que todos los modelos deben soportar golpes de hasta 4 km/h, lo cual no es extrapolable a que a partir de esta velocidad los vehículos deban deformarse.



Ilustración 25: Diferentes modelos de paragolpes [37]

Durante la década de los 90 en EEUU las aseguradoras comenzaron a emplear una práctica peligrosa y que a ojos de muchos expertos es contraria a la buena práctica. Comenzaron a determinar fraudulentamente aquellas reclamaciones de daños personales en las que los daños estructurales del vehículo fuesen inferiores a los 1000\$. Esta práctica se conoce como *Minor impact Soft Tissue*. Como ya se ha explicado, no tiene por qué existir una relación directa entre el daño sufrido por el vehículo y la probabilidad de sufrir una lesión. En impactos a baja velocidad con daños inexistentes en el vehículo pueden originarse lesiones.

Atendiendo a lo expuesto, se puede determinar de forma aproximada la velocidad del impacto a través de la revisión visual de los vehículos. Si el vehículo no presenta ninguna deformación permanente más allá de pequeñas rozaduras, sería razonable (aunque no necesariamente) que la velocidad de impacto haya sido menor de 4 km/h. Si se aprecian pequeñas

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

abolladuras en el paragolpes de carácter permanente podría estimarse una velocidad de impacto de entre 4 y 8 km/h. Si el vehículo muestra alguna rotura en su zona del paragolpes sin deformación estructural se trataría de un impacto de entre 8 y 16 km/h. Por último, impactos a velocidades mayores presentarían deformaciones no solo en el parachoques sino también a nivel estructural.

A modo resumen se recoge en la siguiente tabla una clasificación de las velocidades en función del estado final del vehículo [38]:

Velocidad según estado del vehículo	
Tipo de daño	Velocidad de choque estimada
Sin daños o daños estéticos	< 4 km/h (no necesariamente)
Daños leves, pequeñas abolladuras	Entre 4 y 8 km/h
Daños de intensidad media, roturas	Entre 8 y 16 km/h
Daños graves, deformaciones estructurales	> 16 km/h

*Tabla 1: Estimación velocidad según el estado del vehículo*

### **1.1.3.3 Umbral de las lesiones relacionadas con el cambio de velocidad**

Son diversos los estudios que se han centrado en tratar de determinar a partir de que velocidad de impacto, la probabilidad de lesión puede considerarse significativa. Se presenta a continuación una tabla resumen con las conclusiones de los estudios más relevantes [39]:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Autor	Año	Tipo de estudio	Resumen
McConnell <sup>33</sup>	1995	Voluntarios	$\Delta v > 8$ km/h
Szabo <sup>34</sup>	1996	Voluntarios	$\Delta v > 8$ km/h
Castro <sup>35</sup>	1997	Voluntarios. Explorados, estudio de RNM y EMG de superficie en la colisión	Colisiones con $\Delta v$ medio de 11,4 km/h y $\bar{a}$ de 2,7 g Estudios RNM normales Consideran que colisiones por alcance con $\Delta v$ de 10 a 15 km/h son bien toleradas, sin daños estructurales y únicamente pueden aparecer molestias pasajeras
Brault <sup>36</sup>	1998	Voluntarios	Síntomas pasajeros con umbrales $\Delta v$ 4 a 8 km/h
Davis <sup>37</sup>	1998	Revisión bibliográfica. Voluntarios	Umbral aceptable para sujetos sanos en las condiciones de los test ( $\Delta v$ ): 6,4 a 8 km/h, con valor mínimo de 4 km/h
Schuller <sup>38</sup>	2000	Revisión de casos derivados de reclamaciones	24% con $\Delta v$ 0-5 km/h 49% con $\Delta v$ 5-10 km/h
Tencer <sup>39</sup>	2001	Reconstrucción de colisiones reales. 432 pacientes	Valores medios, sin especificar umbrales: $\Delta v$ medio de 8 km/h
McClune <sup>32</sup>	2002	Revisión sistemática	Umbral aparición de síntomas: $\Delta v$ : 4-8 km/h Umbral aparición de daño estructural: $\Delta v$ : 10-15 km/h
Krafft <sup>40</sup>	2002	Colisiones reales. Vehículos con CPR	Riesgo de síntomas > 1 mes $\Delta v$ de > 10 km/h $\bar{a} > 4,5$ g
Schmitt <sup>17</sup>	2003	Reconstrucción de colisiones reales (ingeniero)	Valores medios, sin especificar umbrales: $\Delta v$ 8-12,5 km/h (alcance) $\Delta v$ 18-25 km/h (frontal)
Krafft <sup>30</sup>	2005	Colisiones reales. Vehículos con CPR	Riesgo de síntomas > 1 mes $\Delta v$ de > 8 km/h $\bar{a} > 5$ g Síntomas leves (< 1 mes), casos aislados $\Delta v$ de > 4 km/h $\bar{a} > 2$ g
Bartsch <sup>26</sup>	2008	Reconstrucción de colisiones reales (alcance alineado)	Valores medios, sin especificar umbrales: $\Delta v$ de 6,8 km/h $\bar{a}$ de 1,4 g.
Elbel <sup>16</sup>	2009	Reconstrucción de colisiones reales (ingeniero)	90% acudieron por 1.ª vez a los 7 días Valores mínimos con lesiones Colisión por alcance: $\Delta v$ 9 km/h Colisión frontal: $\Delta v$ 18 km/h Colisión lateral: $\Delta v$ 9 km/h

Ilustración 26: Resumen de umbrales lesivos por diferentes investigaciones [39]

Si desea conocerse la bibliografía empleada para la determinación de esta tabla, acudir al artículo: *Importancia de la biomecánica del impacto en la valoración del síndrome del latigazo cervical* [39]. En este mismo artículo, se presentan algunas conclusiones en relación con los umbrales a considerar y las posibles lesiones asociadas.

Delta v ( $\Delta v$ )	Aceleración media ( $\bar{a}$ )	Significación
< 4 km/h	< 2 g	Deberían representar un valor absoluto para la inexistencia de lesiones. Como norma general no se justifica la existencia de lesiones/síntomas, pero no se puede descartar la existencia de molestias pasajeras (unas horas/2-3 días) fundamentalmente como consecuencia de factores psicológicos. Podría estar justificada la diferencia por sexos, teniendo más riesgo las mujeres de sufrir síntomas
4 - 6 km/h	< 3 g	
6 a 10 km/h	3 a 5 g	No deberían existir lesiones estructurales y los síntomas serían pasajeros, menos de un mes. No obstante deben valorarse los factores de riesgo, sistemas de seguridad, y otros que se han visto relacionados con la disminución del riesgo de lesiones

Ilustración 27: Umbrales recomendados para el criterio de intensidad en el estudio de la causalidad médico-legal del SPC [39]

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

Una de las limitaciones que presentan todos los estudios realizados con voluntarios es justamente la ausencia de sorpresa en el momento del impacto. El riesgo de lesión es mucho mayor si el ocupante del vehículo está desprevenido pues la musculatura del cuello no puede prepararse para la recepción del impacto. De igual forma, el ángulo del cuello puede también influir en la aparición de lesiones, no es lo mismo que el receptor del golpe estuviese mirando hacia el frente que con la cabeza ligeramente ladeada.

Puede concluirse como resultado de la comparación de los distintos estudios que a variaciones de velocidad inferiores a 4 km/h la probabilidad de sufrir una lesión debería ser muy baja o inexistente. Entre variaciones de velocidad de 4 y 6 km/h la probabilidad de lesión es baja, aunque no nula. Y a partir de variaciones de más de 6-8 km/h comienza a considerarse suficientemente probable la posibilidad de sufrir lesión.

Probabilidad de lesión en función de la velocidad de impacto	
Velocidad de impacto	Probabilidad de lesión
< 4 km/h	Inexistente
Entre 4 y 6 km/h	Muy baja
Entre 6 y 8 km/h	Baja
> 8 km/h	Media

*Tabla 2: Probabilidad de lesión en función de la velocidad de impacto*

Si se establece como criterio la aceleración experimentada, hasta los 2 g se considera que es muy difícil presentar lesiones, entre 2 y 3 g la probabilidad es baja, pero no nula y a partir de 3-4 g se comienza a considerar probable la aparición de lesiones.

Probabilidad de lesión en función de la aceleración de impacto	
Aceleración de impacto	Probabilidad de lesión
< 2 g	Inexistente
Entre 2 y 3 g	Muy baja
Entre 3 y 4 g	Baja
> 4 g	Media

*Tabla 3: Probabilidad de lesión en función de la aceleración de impacto*

Por tener una referencia, el airbag está programado para saltar con impactos a partir de los 3 g de deceleración. Durante un estornudo se puede llegar a experimentar 2 g y en montañas rusas como el Abismo del Parque de Atracciones de Madrid hasta 4 g.

# Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

## 1.2 Descripción de las tecnologías

### 1.2.1 Herramientas estudiadas

Se ha procedido a estudiar el estado general de los softwares disponibles para el estudio de los accidentes de tráfico. Existen diversas soluciones en el mercado de las cuales se han escogido tres por ser representativas de modelos bien diferenciados.

#### 1.2.1.1 RACTT

El programa RACTT (Reconstructor Analítico de Colisiones de Tránsito Terrestre) ha sido desarrollado en Argentina y cuenta con el apoyo de diversos profesionales del mundo del peritaje a nivel iberoamericano. A diferencia de otros programas más enfocados en el aspecto gráfico de la reconstrucción, RACTT ofrece una base de datos de fórmulas para la reconstrucción del accidente. El primer paso para realizar la reconstrucción es darle un nombre al proyecto a desarrollar:

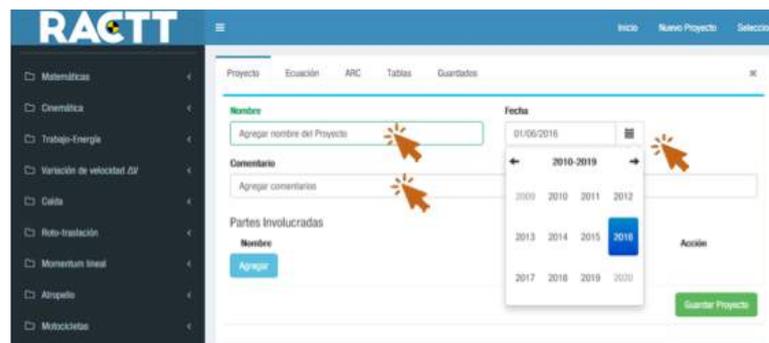


Ilustración 28: Selección proyecto con RACTT [40]

Una vez introducido el nombre del proyecto, se procede a la realización de los cálculos pertinentes. En el menú principal de la aplicación web se pueden distinguir tres zonas bien diferenciadas. En el margen izquierdo se incluye una lista con carpetas que contienen las fórmulas clasificadas en categorías, por ejemplo, en fórmulas para cálculo de atropellos y fórmulas para cálculo de vuelcos. Una vez seleccionada la fórmula, en la parte central de la pantalla se muestra la misma junto con una explicación física. Se permite introducir los parámetros o inputs y el propio programa calcula el resultado. En el margen izquierdo se van acumulando los distintos resultados calculados.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad



Ilustración 29: RACTT página principal

Finalizados los cálculos, el programa permite exportar los resultados en diferentes formatos: pdf, documento de Microsoft Word o documento de OpenOffice.

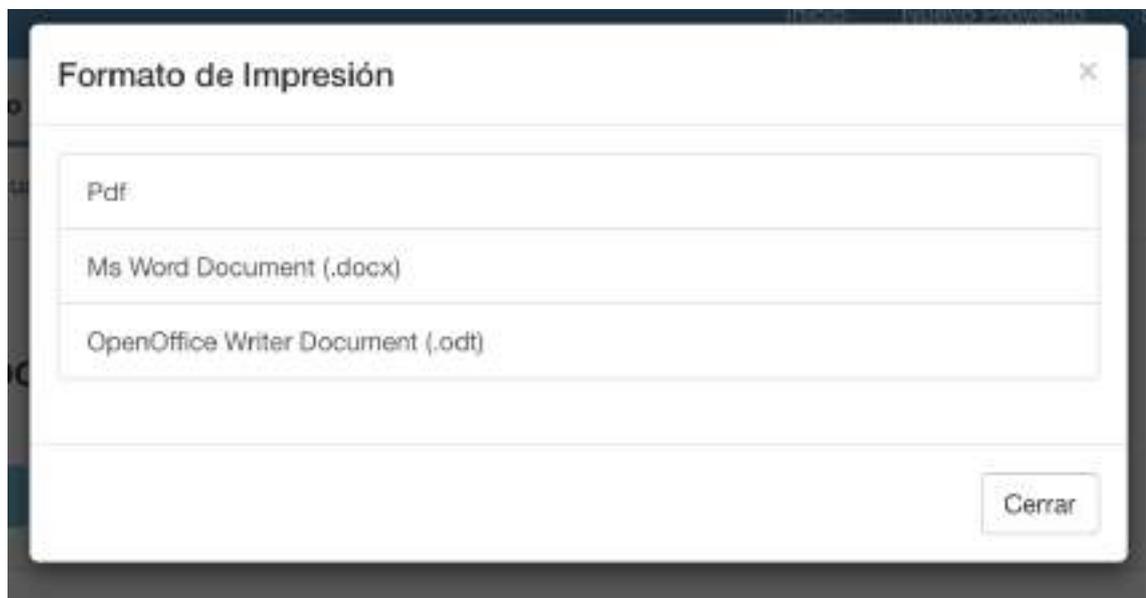


Ilustración 30: Formatos de exportación resultado final RACTT

Se trata de una herramienta bastante simple que puede resultar útil en ciertas circunstancias. Sin embargo, presenta numerosas limitaciones. El informe resultante contiene únicamente información numérica, que, si bien puede sustentar la reconstrucción del accidente, no es nada amigable de cara al informe pericial. Además, no se permite la incorporación de nuevas fórmulas por lo que el perito deberá limitarse al uso de las ya incluidas. Por último, al no contar con

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

simulación gráfica espacio/tiempo no se puede apreciar la evolución del accidente sino únicamente resultados finales.

Se muestra a continuación un fragmento del informe generado tras utilizar la herramienta:

**RUTINA DE CÁMPUTOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS COLISIONES**

Detalle de los modelos y valores de sus variables adoptados para la estimación de energías y velocidades

Nombre del caso: Proyecto de prueba

Fecha: 14/03/2017

Parte Involucradas:

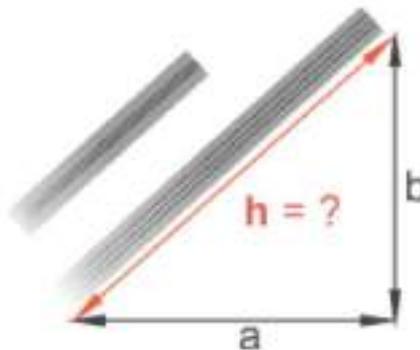
1° Parte involucradas: 1234

2° Parte involucradas: 5678

### Comentarios

#### 1. Hipotenusa

$$h = \sqrt{a^2 + b^2}$$



Nombre de la variable	Magnitudes	Nombre de la unidad	Símbolo
[a] Cateto o lado	Distancia	Distancia recorrida en metros	[m]
[b] Cateto o lado	Distancia	Distancia recorrida en metros	[m]

#### Valores Ingresados:

variable	Valor	Unidad
[a] Cateto o lado	[a] (Filas)	[m]
[b] Cateto o lado	4	[m]

#### Resultados en [m]

#	Resultados
[a] = 3	5
[a] = 5	6.4

Resultado Medio: 5.7 [m]

Resultado Mínimo: 5 [m]

Resultado Máximo: 6.4 [m]

Ilustración 31: Fragmento del informe generado de forma automática por RACTT

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

En este caso se muestran los resultados de una fórmula básica como es la del cálculo de la hipotenusa de un triángulo rectángulo a partir de sus catetos. El programa permite realizar cálculos con hasta dos incertidumbres, obteniendo el resultado máximo, el mínimo y el medio. Tras su utilización durante el periodo de prueba (una semana) se ha podido comprobar que es un programa interesante para peritos poco experimentados que necesiten aclarar en primer lugar ciertos conceptos físicos antes de proceder a la elaboración del informe. Sin embargo, en el caso de peritos más experimentados el programa se queda ligeramente cojo por su excesiva simplicidad y limitaciones.

Se ofrecen distintos planes de pago para poder acceder al servicio. En comparación con otros recursos, se puede considerar económico. Sin embargo, al tratarse de una base de datos de fórmulas, una vez conocidas las fórmulas que se facilitan nada impide al perito abandonar el sistema para seguir implementando las fórmulas desde otro programa.



*Ilustración 32: Planes de pago RACTT*

### ***1.2.1.2 BeamNG***

El segundo software estudiado, BeamNG, a diferencia de RACTT se basa prácticamente en exclusiva en la recreación gráfica. BeamNG nació como un juego de conducción de física hiperrealista. Precisamente gracias a este realismo ha dado lugar a que se utilice para recrear accidentes de tráfico. Los vehículos han sido diseñados en 3D pieza por pieza permitiendo el comportamiento independiente y realista de cada una de ellas.



*Ilustración 33: Ejemplo simulación accidente en BeamNG*

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

Se vende en Steam, plataforma online de venta de videojuegos por un precio de 22,99€. Todavía está en fase de desarrollo, pero los programadores permiten el acceso a las herramientas de diseño para modificar cualquier elemento. Su potencia a nivel de recreación visual es enorme por lo que puede resultar muy interesante en la reconstrucción de accidentes de tráfico.

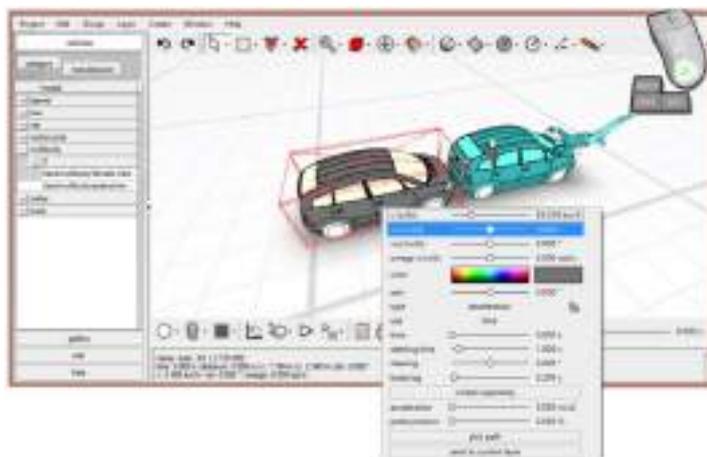


*Ilustración 34: Precio de venta BeamNG en la plataforma online de videojuegos Steam*

El principal problema que presenta es la ausencia de valores numéricos. Permite recrear de forma visual pero no obtener valores fundamentales como la velocidad de impacto, deformación o deceleración experimentada por los conductores. Puede considerarse por tanto como herramienta complementaria a otros softwares como RACTT, pero en ningún caso podría emplearse como única fuente de la reconstrucción de accidentes al carecer de soporte numérico que valide las simulaciones.

### ***1.2.1.3 Virtual Crash***

Por último, se ha analizado Virtual Crash. A diferencia de los otros dos softwares estudiados, Virtual Crash ofrece una experiencia completa pues permite la recreación 3D, así como la simulación y obtención de gráficas y resultados numéricos. El flujo de trabajo con el programa es bastante amigable pues a través de una interfaz 3D permite la colocación de los vehículos deseados y su manipulación a través de herramientas sencillas. Una vez colocados los vehículos se puede manipular todas las variables que intervienen en un accidente: velocidades, aceleraciones, tiempos de frenado, masas...



*Ilustración 35: Interfaz 3D para reconstrucción de accidentes con Virtual Crash [41]*

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Realmente se trata de una herramienta muy completa que incluso ya ha sido reconocida en juicios reales como prueba válida por parte del juez. Si quiere tenerse una idea más fiel del potencial de este software, en los anexos se estudia un caso real a través de Virtual Crash.

Existen distintas iteraciones del programa, partiendo de la versión 1 hasta la más actual, la cuarta. Actualmente se ofrecen a la venta las versiones tercera y cuarta con distintos precios. En la última versión se ha mejorado la interfaz e introducido herramientas CAD, así como la posibilidad de importar nubes de puntos procedentes de otros softwares de diseño. La potencia del software va en línea con su coste. En este caso se ofrecen distintas alternativas:

### Full Retail Pricing Table

Feature	Virtual CRASH 3	Virtual CRASH 4***
No update fees. Ever!	Yes	Yes
3D vehicle dynamics and collision simulations	Yes	Yes
Tractor-Trailer Simulations	Yes	Yes
Lighting test pedestrian impact simulations	Yes	Yes
Motorcycle & Bicycle crash simulations	Yes	Yes
Easily import total station data	Yes	Yes
Large library of vehicles	Yes	Yes
Render animations in 2D or 3D	Yes	Yes
CAD features. Make amazing diagrams	Yes	Yes
Customize your vehicles	Yes	Yes
Unique Virtual Tutor system	Yes	Yes
Easily import your own 3D models	Yes	Yes
Make your own vehicles	Yes	Yes
Incredible "HD" animation output with ray tracing	Yes	Yes
Create your own terrain	Yes	Yes
Auto-driver system	Yes	Yes
3D Modeling capabilities	Yes	Yes
Many rendering and drawing options	Yes	Yes
Amazing multibody physics simulations	Yes	Yes
Import Aerial and Scale Diagrams	Yes	Yes
User-specified numerical integration methods	Yes	Yes
Import Point Clouds	No	Yes
Path Animations	No	Yes
Google Earth Integration with Terrain Elevation Map	No	Yes
Improved User Interface	No	Yes
Improved CAD tools	No	Yes
Price for Single License	\$3,100 USD*	\$6,200 USD*
Second & Third Additional License	\$1,999 USD*	\$3,999 USD*
Fourth or More Additional License	\$1,499 USD*	\$2,999 USD*

Ilustración 36: Precios y características de las versiones 3 y 4 de Virtual Crash

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.2.2 Software disponible***

Microsoft Excel es una hoja de cálculo que se incluye en el paquete ofimático Office desarrollado por Microsoft. Es un software con muchos años de recorrido ampliamente utilizado a nivel empresarial. La clave se encuentra en su versatilidad a la vez que potencia. Su utilización es bastante sencilla pero no se ve limitado en funcionalidades. Por este motivo, empresas de todo tipo confían en él como herramienta fundamental en el día a día.

#### ***1.2.2.1 Visual Basic***

Visual Basic es un lenguaje de programación presentado en el año 1991 por Microsoft [42]. El término Visual se debe a que se trata de un lenguaje que se desarrolla a través de un lenguaje visual, cuenta con un entorno gráfico. Por otra parte, el término Basic es el acrónimo de Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code.

Los lenguajes de programación surgen de la necesidad de comunicarse con el ordenador de una forma relativamente sencilla. El lenguaje propio del ordenador es binario, pero programar en binario resulta extremadamente complejo. Para solventar este problema de comunicación se han desarrollado a lo largo de las últimas décadas distintos lenguajes de programación que sustitúan al binario. Entre estos lenguajes se pueden encontrar Pascal, Fortran, Ensamblador y Basic.

En 1991 Microsoft introduce en el mercado Visual Basic 1.0 con una clara intención de proporcionar a los desarrolladores un lenguaje potente con el que desarrollar para su plataforma. Actualmente nos encontramos en la versión 6. Visual Basic se trata de un lenguaje de programación orientado a objetos. Este tipo de lenguajes de programación surgen para permitir a otras personas con menores conocimientos reaprovechar código desarrollado por programadores altamente cualificados. Cada objeto cuenta con una serie de propiedades o atributos, así como funcionalidades asociadas a ellos [43].

Poniendo un ejemplo sencillo, si se tiene que gestionar con un programa el funcionamiento de una cafetera, ésta representaría un objeto y debería crearse con un código del estilo:

```
miCafetera = new Cafetera( )
```

Con la palabra *new* se indica que se desea crear un nuevo objeto del tipo *cafetera*, entre paréntesis se podrían colocar parámetros que inicialicen el objeto de la clase *cafetera* de una forma específica. Posteriormente si se quisiese indicar al ordenador que la cafetera que se está utilizando en el programa es de color verde habría que implementar el código:

```
miCafetera.color = verde
```

Con *.color* se hace referencia a una propiedad del objeto que posteriormente se define como verde, se estaría definiendo un estado del objeto. Por último, si se quisiese dar orden de que

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

comenzase a funcionar habría que mandarle un mensaje al objeto que efectúe una llamada a la acción:

*miCafetera.empezarAFuncionar( )*

Dentro del paréntesis se colocarían parámetros que podrían definir aspectos como la temperatura a la que se desea el café o la cantidad del mismo. Queda claro por tanto que la programación orientada a objetos permite manipular ciertos objetos previamente definidos. Sin embargo, para que este lenguaje resulte realmente útil y potente, alguien debe haber definido previamente todos los objetos a utilizar, así como las propiedades y acciones asociadas a dichos objetos.

Con Visual Basic, Microsoft ofrece a los desarrolladores un paquete muy completo de objetos ya definidos que posibilitan el desarrollo de software y aplicaciones para el entorno Windows.

### ***1.2.2.2 Integración de Visual Basic con Microsoft Excel***

Gran parte del potencial del paquete Office que ofrece Microsoft se encuentra en la perfecta integración que tiene con Visual Basic (VB de ahora en adelante). Existen infinidad de objetos ya definidos en VB que permiten automatizar y potenciar las capacidades de este paquete de ofimática. En el caso de Excel, una herramienta muy útil es lo que se conoce como macros.

Las macros son una serie de instrucciones que permiten automatizar tareas. Excel guarda estas instrucciones y permite su utilización reiterada las veces que haga falta. De esta forma tareas tediosas y repetitivas pueden simplificarse enormemente. Combinando las macros con el enorme potencial de Visual Basic, Excel se convierte en una herramienta muy versátil capaz de adaptarse a prácticamente cualquier necesidad. Por este motivo se ha decidido emplear esta hoja de cálculo para implementar un modelo sencillo que ayude en el peritaje de los accidentes de tráfico a baja velocidad.

El objetivo no es programar un software extremadamente potente como puede ser el caso del ya analizado Virtual Crash. Por el contrario, la intención es ofrecer una herramienta al alcance de cualquiera, totalmente abierta que sirva como referencia y ayuda a la hora de peritar un accidente de tráfico cuando éste tiene lugar a baja velocidad. Se pondrá especial énfasis en la automatización de tareas tales como la elaboración del informe pericial.

# ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

## ***1.3 Descripción del modelo desarrollado***

### ***1.3.1 Objetivos y especificación***

Como ya se ha explicado anteriormente, el objetivo fundamental de este proyecto es la elaboración de una herramienta sencilla pero útil que facilite el trabajo del perito ingeniero a la hora de evaluar los accidentes de tráfico y especialmente aquellos que tienen lugar a baja velocidad (impactos a menos de 15 km/h).

Tras un profundo análisis de la problemática asociada a este tipo de accidentes, destacando fundamentalmente el papel del Síndrome del Latigazo Cervical, se definen los siguientes objetivos a ser cubiertos por el software desarrollado. En primer lugar, se pretende facilitar el tedioso trabajo de recoger los datos, así como la información relevante del accidente. Son muchos los elementos a tener en cuenta por lo que es fácil que el perito pueda descuidar alguno. El software desarrollado en este proyecto facilitará la labor de recogida de datos mediante la utilización de formularios. Una vez recogida toda la información, de forma automática se generará un informe con todos estos datos ordenados y listos para ser utilizados.

Un segundo objetivo es proporcionar las herramientas matemáticas adecuadas para realizar los cálculos que puedan esclarecer los sucesos del accidente. A partir de las velocidades iniciales de los vehículos, y empleando ecuaciones de choque se facilitará la obtención del resto de variables intervinientes. Se emplearán dos modelos diferentes uno basado en el choque inelástico y otro basado en el choque elástico.

En tercer lugar, se proporcionará abundante información gráfica y visual que sea de utilidad para dar soporte a las conclusiones obtenidas numéricamente. No debe perderse de vista que el objetivo final del perito es tratar de transmitir al juez una serie de consideraciones acerca del accidente objeto de estudio. El juez es una persona que muchas veces carece de conocimientos físicos y matemáticos por lo que el informe pericial debe ser lo suficientemente auto explicativo para ser fácilmente entendible.

Para lograr estos objetivos, se empleará Microsoft Excel, Microsoft Word, así como el lenguaje de programación Visual Basic que permite la comunicación entre estas herramientas, y la automatización de procesos. Aunque se permita la modificación total o parcial de los algoritmos empleados, la intención es presentar una herramienta muy sencilla que requiera de la mínima interacción por parte del perito.

Gracias a la universalidad de Microsoft, esta herramienta será ejecutable en cualquier ordenador ya sea Windows o Mac sin especiales requerimientos de hardware más allá de contar con el paquete Office.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.3.2 Recogida de datos***

#### ***1.3.2.1 Datos o inputs requeridos***

En todo accidente de tráfico son abundantes los elementos que deben considerarse por poder ser fundamentales en el devenir del accidente. Muchas veces la falta de visibilidad, o un asfalto en mal estado pueden ser los desencadenantes de la colisión. En otras ocasiones, un conductor bajo los efectos de drogas o alcohol, cuyos reflejos se han visto mermados, dan como resultado un alcance. También pueden ser fenómenos meteorológicos como fuertes lluvias o nevadas las que faciliten el accidente.

La labor del perito es, entre otras cosas, recoger toda esta información para, ordenándola, intentar dar una explicación realista que esclarezca los sucesos. Son tantos los datos a considerar que es fácil obviar alguno. Para evitar esto, la herramienta diseñada cuenta con formularios preparados de tal forma que faciliten la recogida y ordenamiento posterior de los datos de forma prácticamente automática.

Se han dividido los datos a recoger en cuatro categorías distintas: datos de la vía, datos del entorno, datos del vehículo y datos de las personas implicadas. Los formularios se basan en las recomendaciones recogidas en el Manual de Reconstrucción de Accidentes de Tráfico de Cevimap [11]. Se ha escogido este manual por estar desarrollado por una entidad con enorme experiencia en el campo del peritaje de accidentes de tráfico, así como por ser una de las referencias más empleadas en la actualidad por los peritos españoles.

El formulario de recogida de datos de la vía se divide en distintos subapartados. En primer lugar, facilita la entrada de un número de referencia que identifica el caso objeto de estudio. Permite también la introducción de las matrículas de los vehículos implicados. A continuación, recoge información sobre el tipo de vía (urbana, interurbana...), las características geométricas de la misma (tipo de arcén, sentido de circulación, número de carriles...), el diseño del trazado (presencia o no de peralte, elementos de seguridad, tipo de intersección...), características del firme (tipo de firme y estado del mismo) y señalización existente en la vía (marcas viales, verticales y tipo de regulación). Por último, permite la introducción de cualquier observación adicional por parte del perito en el recuadro observaciones.

En muchas ocasiones, y para facilitar la labor del perito simplemente debe marcar con un aspa la casilla correspondiente. Cuando esto no es posible, pues no se trata de una respuesta cerrada, se ofrece una casilla de introducción de texto.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Ilustración 37: Formulario de recogida de datos de la vía

El formulario de recogida de datos del entorno sigue un esquema similar, pero contando con sus propios subpartados.

Ilustración 38: Formulario de recogida de datos del entorno

Además de facilitar la introducción del número de referencia del caso, también cuenta con sus subpartados (marcados en negrita). Lugar y fecha del accidente, consideraciones respecto de

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

la superficie (presencia de aceite, tierra, superficie seca...), factores atmosféricos (lluvia, viento...), otras circunstancias (presencia de badenes, presencia de resaltes, paso a nivel...), visibilidad de la señalización, luminosidad, estado de la circulación, presencia de arbolado, condiciones especiales (carril reversible, arcén...), condiciones de visibilidad restringida (como edificios o vegetación) y configuración y estado de los laterales del entorno. Observaciones adicionales también son permitidas.

Respecto de la información sobre los vehículos implicados, el formulario contempla datos sobre el seguro del mismo (compañía, póliza y validez), el permiso de circulación, el tipo de carga y si se trata de un vehículo de transporte, tipo de vehículo (ciclomotor, turismo, camioneta...), el estado del vehículo, si tiene al día la realización de la ITV, motivo del desplazamiento que dio origen al accidente, deformaciones sufridas en la parte frontal, central y trasera e información sobre la colisión.

Ilustración 39: Formulario de recogida de datos del vehículo

Por último, se ha implementado el formulario de recogida de datos de las personas implicadas en el accidente. Permite la recogida de información personal (domicilio, localidad, DNI...), utilización de accesorios de seguridad, condiciones psicofísicas (tasa de alcohol, drogas...), acción del conductor en el momento del accidente (adelantando, girando...), tipo de conductor (particular, profesional...), motivo del desplazamiento (por trabajo, ocio...), horas de conducción que llevaba previas al accidente y datos sobre los ocupantes del vehículo accidentado.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Ilustración 40: Formulario de recogida de datos de las personas implicadas en el accidente

Los formularios ofrecidos como puede observarse son bastante minuciosos por lo que puede haber alguna ocasión en la que no se requiera tanto nivel de detalle. Para estos casos el perito podrá decidir obviar la información que no crea necesaria. Se ha considerado mejor ofrecer una solución completa válida para cualquier situación en lugar de formularios más simples y enfocados a situaciones concretas, que si bien, podrían resultar más rápidos de rellenar, no tendrían la flexibilidad que ofrecen formularios tan completos como los incorporados.

### 1.3.2.2 Algoritmos

Para hacer funcionar correctamente los formularios se ha programado con Visual Basic gracias a la interfaz que el propio Excel facilita. A través de esta interfaz se puede acceder a la herramienta de elaboración de formularios. En total, para el correcto funcionamiento del programa se han diseñado cinco formularios diferentes (UserForm en Visual Basic). El primer paso consiste en la programación de una macro que permita el acceso al primero de los formularios, posteriormente y a partir de este formulario de partida se gestionarán los demás.

```
Sub Abrir_UserForm1()  
    Load UserForm1  
    UserForm1.Show  
End Sub
```

Código 1: Primera macro de acceso a los formularios

Para iniciar la macro se crea una nueva subrutina con el comando *Sub* seguido del nombre de la macro que se va a crear. Para indicar que la subrutina termina se introduce el comando *End Sub*. Entre medias del encabezado y el cierre se sitúan las instrucciones que indicarán qué debe

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

hacer la macro. En este caso son dos instrucciones muy sencillas, la primera: *Load UserForm1* solicita que se cargue en memoria el formulario 1 y la segunda: *UserForm1.Show* solicita que se muestre en pantalla este primer formulario.

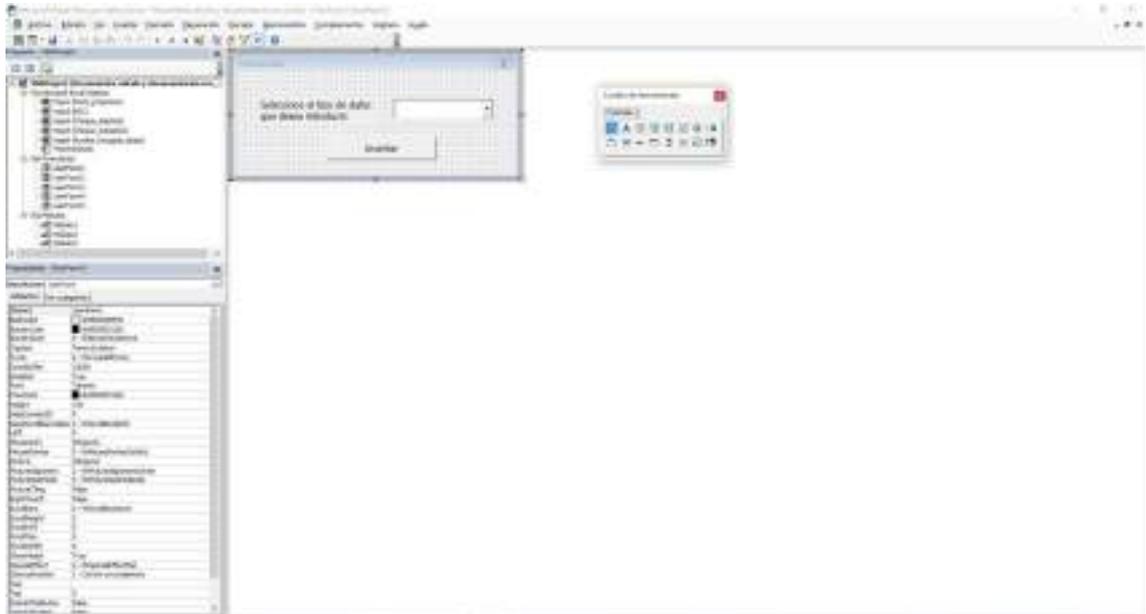


Ilustración 41: Interfaz de Visual Basic disponible a través de Microsoft Excel

Una vez programada la macro que posibilita la apertura del primer formulario, debe integrarse en algún lugar del Excel para que el usuario pueda inicializarla. En este caso se ha optado por colocar un botón con tal fin.

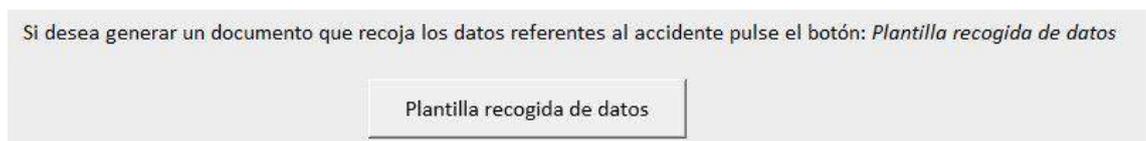


Ilustración 42: Botón de acceso a los formularios

Cuando el usuario pulse el botón, se ejecutará la macro y el programa cargará en primer lugar el formulario y posteriormente lo mostrará en pantalla. Este primer formulario permite la selección del tipo de datos que se desean introducir, así como la introducción de la localización del archivo, información necesaria para la automatización del proceso de generación de informes.



Ilustración 43: Primer formulario para selección de tipo de datos a introducir

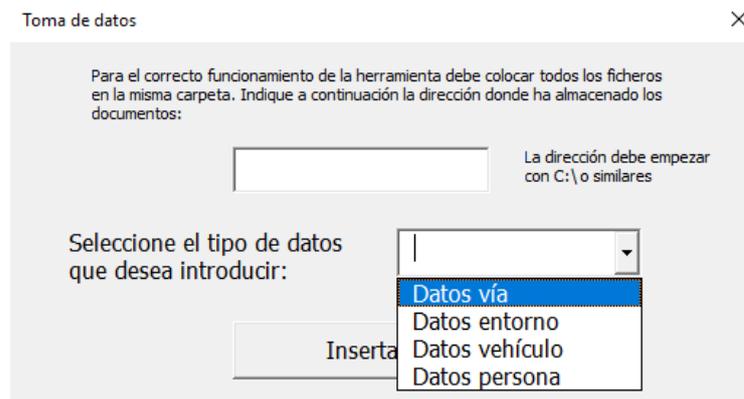
## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

El usuario debe pulsar en el selector junto al cuadro de texto para que se le desplieguen las opciones disponibles. La programación de estas opciones se basa en el siguiente código:

```
Private Sub UserForm_Activate()  
    UserForm1.ComboBox1.Clear  
    ComboBox1.AddItem "Datos vía"  
    ComboBox1.AddItem "Datos entorno"  
    ComboBox1.AddItem "Datos vehículo"  
    ComboBox1.AddItem "Datos persona"  
End Sub
```

Código 2: Opciones de selección de tipo de datos a introducir

El encabezado que da nombre a la subrutina: *UserForm\_Activate()* hace referencia a que las acciones a realizar que se indican a continuación deben ejecutarse en el momento en el que se active el formulario. La primera instrucción: *UserForm1.ComboBox1.Clear* indica que se debe borrar cualquier elemento que aparezca en el cuadro de texto del formulario. Los siguientes comandos son instrucciones para que al desplegar las opciones del formulario aparezcan los nombres de los cuatro formularios disponibles.



The screenshot shows a dialog box titled "Toma de datos" with a close button (X) in the top right corner. The main text reads: "Para el correcto funcionamiento de la herramienta debe colocar todos los ficheros en la misma carpeta. Indique a continuación la dirección donde ha almacenado los documentos:". Below this is a text input field. To the right of the field is a note: "La dirección debe empezar con C:\o similares". Below the input field is the text "Seleccione el tipo de datos que desea introducir:". To the right of this text is a dropdown menu with a downward arrow. The dropdown menu is open, showing four options: "Datos vía" (highlighted in blue), "Datos entorno", "Datos vehículo", and "Datos persona". Below the dropdown menu is a button labeled "Inserta".

Ilustración 44: Opciones de apertura de nuevos formularios disponibles

Una vez seleccionada una opción, el usuario pulsa *Insertar* y para que se abra el correspondiente formulario se ha programado lo siguiente:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

```
Private Sub CommandButton_Click()  
  
    Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Select  
    Range("A1").Select  
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ComboBox1.Text  
  
    If ComboBox1.Text = "Datos vía" Then  
        Unload UserForm1  
        Load UserForm2  
        UserForm2.Show  
    End If  
  
    If ComboBox1.Text = "Datos entorno" Then  
        Unload UserForm1  
        Load UserForm3  
        UserForm3.Show  
    End If  
  
    If ComboBox1.Text = "Datos vehículo" Then  
        Unload UserForm1  
        Load UserForm4  
        UserForm4.Show  
    End If  
  
    If ComboBox1.Text = "Datos persona" Then  
        Unload UserForm1  
        Load UserForm5  
        UserForm5.Show  
    End If  
  
End Sub
```

Código 3: Apertura de un nuevo formulario

La primera línea de código: *Private sub CommandButton\_Click()* indica que las acciones detalladas a continuación deben ejecutarse cuando se pulse en el botón (en este caso el botón *Insertar*). A continuación, *Sheets("Auxiliar\_recogida\_datos").Select* indica que debe seleccionarse la pestaña de la hoja de cálculo con el nombre *Auxiliar\_recogida\_datos*. Las dos siguientes líneas de código ordenan que se seleccione la celda A1 y se escriba en ella lo que contiene el cuadro de texto llamado *ComboBox1* (el que contiene el tipo de datos que se ha seleccionado para introducir). Esto servirá para que el propio programa posteriormente sepa cuál de todas las opciones de introducción de datos se ha seleccionado.

El primer bloque IF indica que si en el cuadro de texto se encuentra escrito *Datos vía* debe hacerse desaparecer el formulario 1, cargar y mostrar el formulario 2 (el correspondiente a la recogida de datos de la vía). Los tres bloques IF siguientes realizan las mismas acciones, pero para el caso de que el cuadro de texto contenga otras palabras, es decir, contempla los casos en los que el usuario seleccione introducir datos del entorno, del vehículo o de la persona implicada.

A partir de aquí se va a mostrar la programación completa de uno de los cuatro formularios disponibles, para los otros tres restantes el proceso a seguir es semejante. Desde la interfaz de Visual Basic se introduce un nuevo formulario (puede hacerse desde el árbol del proyecto).

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad



Ilustración 45: Árbol de proyecto mostrado desde la ventana de Visual Basic

Una vez introducido el nuevo formulario (*UserForm* en lenguaje VB) se genera una ventana en blanco que debe ser completada:

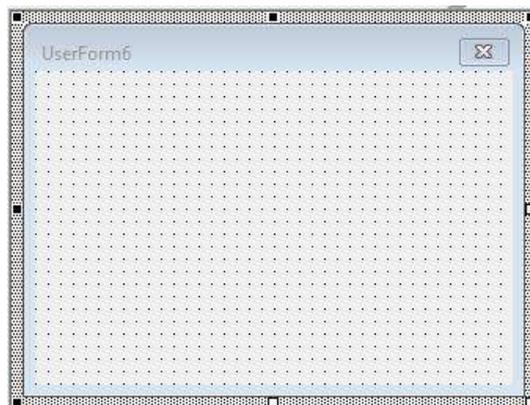


Ilustración 46: Formulario en blanco

Para rellenar el formulario con la información y cuadros de recogida de información, VB cuenta con el *Cuadro de Herramientas*:

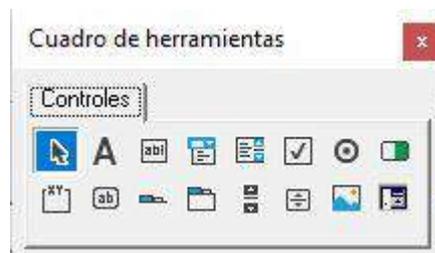


Ilustración 47: Cuadro de herramientas de VB

De todas las herramientas disponibles, las que se utilizarán para la elaboración de los formularios de recogida de datos de accidentes de tráfico serán las siguientes:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

- El selector (1 opción del cuadro de herramientas): para seleccionar elementos y desplazarlos por la pestaña del formulario
- Etiqueta (2 opción del cuadro de herramientas): permite introducir texto en el formulario

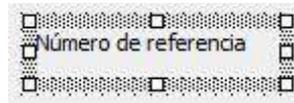


Ilustración 48: Etiqueta

- Cuadro de texto (3 opción del cuadro de herramientas): permite al usuario introducir información

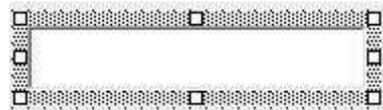


Ilustración 49: Cuadro de texto

- Cuadro combinado (4 opción del cuadro de herramientas): permite que el usuario elija entre una serie de opciones. Ya se ha observado esta opción en la explicación del primer formulario

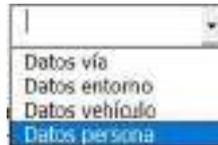


Ilustración 50: Cuadro combinado

- Casilla (6 opción del cuadro de herramientas): permite al usuario dar una respuesta cerrada (activar o no activar) frente a una opción dispuesta en el formulario

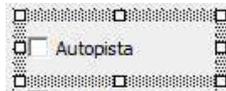


Ilustración 51: Casilla

- Marco (9 opción del cuadro de herramientas): facilita el orden dentro del formulario al crear un marco que contiene información de una subcategoría determinada

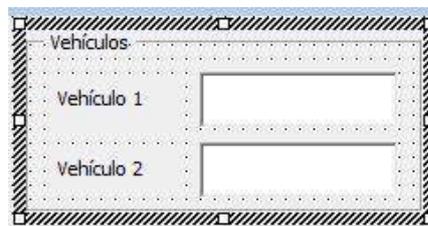


Ilustración 52: Marco

- Botón de comando (10 opción del cuadro de herramientas): permite la creación de un botón al que asignarle funcionalidades una vez es pulsado

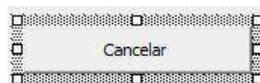


Ilustración 53: Botón de comando

Cada uno de los elementos introducidos en el formulario, ya sea un botón de comando, un marco, o cualquier otro elemento, tiene asociadas una serie de características:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad



Ilustración 54: Propiedades asociadas a los elementos del formulario

Son múltiples las opciones de personalización que VB permite. De entre todas las opciones las más destacadas son:

- **Caption:** contiene el texto que va a mostrar en pantalla, en el caso del ejemplo que se ha tomado, que muestra las propiedades de una etiqueta, caption contendrá el texto que el programador desea que se muestre en la etiqueta
- **Font:** tipo de fuente a utilizar. También permite introducir cursiva, negrita e incluso cambiar el tamaño de letra

Una vez se tiene dispuesto el formulario tal y como se desea, con todas las etiquetas, cuadros de texto, botones de comandos... Debe dotársele de inteligencia. Hasta ahora simplemente se ha establecido el aspecto visual, lo que se mostrará en pantalla al usuario, sin embargo, para que el formulario resulte útil es imprescindible indicar al programa qué debe hacer cada vez que el usuario rellene un campo del formulario. A modo de ejemplo se mostrará el código empleado para la programación de algunas acciones asociadas al formulario de recogida de datos referentes a la vía.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Ilustración 55: Formulario de recogida de datos referentes a la vía

La programación del cuadro de texto marcado con el número 1 se basa en indicar que se guarde la información que el usuario escribe en una celda concreta del Excel. Precisamente para recoger toda esta información que el usuario va a ir introduciendo a través de los formularios, se ha creado en el Excel la pestaña llamada *Auxiliar\_recogida\_datos*.

```
Private Sub TextBox1_Change()  
  
    Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Select  
    Range("A2").Select  
    ActiveCell.FormulaR1C1 = TextBox1  
  
End Sub
```

Código 4: Recogida de información de un cuadro de texto

El encabezado contiene el nombre del elemento que se está programando, en este caso el cuadro de texto 1 o *TextBox1*. El código que sigue indica que se seleccione la hoja del Excel llamada *Auxiliar\_recogida\_datos*, se seleccione la celda A2 y se escriba en ella el contenido del cuadro de texto 1.

	A
2	234

Ilustración 56: Información recogida en celda A2

En este caso, el usuario ha introducido en el cuadro de texto 1 que le solicitaba el número de referencia del caso objeto de estudio el número 234.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

En el caso de la programación de una casilla (la marcada con el número 2), su programación se va a asociar a la del botón de comando *Insertar*. El programador no está interesado en que el programa realice una acción justo cuando el usuario marque la casilla *Autovía* puesto que puede haberla marcado por error y posteriormente querer desmarcarla. Otro motivo es evitar la realización de acciones con cada pulsación del usuario, se acumulan todas y son ejecutadas en el momento en el que el usuario da validez al formulario pulsando el botón *Insertar*.

```
If CheckBox7 = True Then
    Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Select
    Range("A12").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Autovía"
End If
```

*Código 5: Recogida de la información contenida en una casilla*

Tras pulsar el botón insertar, si el *CheckBox7* (la casilla de autovía) está marcado (*True*) entonces se solicita al programa que abra la pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos*, seleccione la celda A12 e introduzca en esa celda el texto *Autovía*.

Debe hacerse notar que hasta ahora el código implementado tiene la función de recopilar toda la información que el usuario va introduciendo a través de los formularios, posteriormente habrá que dotar al programa de mayor inteligencia para ordenar estos datos y presentarlos de forma útil.

La programación del cuadro de texto asociado a las observaciones del usuario (la marcada con el número 3), es bastante similar a la programación de cualquier cuadro de texto, se solicita al programa que abra la pestaña correspondiente a la recogida de datos (*Auxiliar\_recogida\_datos*) e introduzca el texto que el usuario ha escrito en una celda para guardar esta información.

```
Private Sub TextBox35_Change()

    Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Select
    Range("A61").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = TextBox35

End Sub
```

*Código 6: Recogida de la información contenida en el cuadro de texto Observaciones*

En el caso de la programación del botón de comando *Cancelar* (marcado con el número 4) su programación es también sencilla, simplemente cierra el formulario abierto con el comando *Unload*.

```
Private Sub CommandButton2_Click()

    Unload UserForm2

End Sub
```

*Código 7: Acción que ejecuta el botón Cancelar*

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

Respecto de las casillas ya estudiadas (marcadas con el número 5), pueden darse dos circunstancias, la primera es que si el usuario la marca, entonces se le indique al programa que almacene cierta información, y, por el contrario, si no la marca, el programa no almacena nada. La segunda circunstancia que puede darse es cuando interesa guardar dos valores distintos si marca la casilla o si no. Para resolver estas situaciones debe emplearse un IF ELSE con la siguiente estructura:

```
If CheckBox60 = True Then
    Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Select
    Range("A52").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Si"
Else
    Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Select
    Range("A52").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "No"
End If
```

*Código 8: Programación de un IF ELSE*

En el primer bloque del IF se indica que se abra la pestaña correspondiente de la hoja de Excel donde se vienen guardando los datos y se escriba la palabra *Sí* en la celda correspondiente. Esto indicaría que el usuario sí que ha marcado esa casilla en concreto. El segundo bloque precedido por el ELSE indica que si el usuario finalmente no selecciona la casilla escriba en la celda correspondiente la palabra *No*. Esta distinción resultará útil para la generación posterior de los informes automáticos.

### ***1.3.2.3 Implantación final***

Hasta ahora se ha explicado el proceso de recogida de datos, para ofrecer un programa completamente funcional debe recogerse toda esta información introducida por el usuario y posteriormente ordenarse para servirla de nuevo de tal forma que aporte valor.

Para poder organizar toda la información obtenida, el primer paso es etiquetarla de tal forma que se pueda automatizar el proceso de ordenarla. Como se ha venido observando hasta ahora, toda la información que el usuario introduce a través de los formularios, el programa la almacena en las distintas celdas de la columna A. De esta forma al finalizar el usuario su interacción con el programa, se tiene una columna llena de datos.



## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Estos datos deben ser etiquetados para su posterior ordenamiento. Se establece un código basado en introducir entre corchetes la información básica que identifique inequívocamente la información contenida en cada celda.

	A	B
1	Datos vía	[tipo_datos]
2	14.357	[numero_referencia]
3	2323 GHJ	[matricula_1]
4	4343 HJG	[matricula_2]
5	Vía urbana	[tipo_vía]
6	C/Gran Vía 7	[denominacion_vía]
7	2	[punto_km]
8	Madrid	[termino_municipal]
9	Madrid	[localidad]
10	Norte-Sur	[sentido_vehiculo_1]
11	Sur-Norte	[sentido_vehiculo_2]
12	Vía convencional	[tipo_vía_2]
13	2	[numero_carriles]
14	Doble sentido	[regimen_circulacion]
15	0	[anchura_arcen_izquierdo]
16	0	[anchura_arcen_derecho]
17	0	[anchura_cuneta_izquierda]
18	0	[anchura_cuneta_derecha]
19	2	[anchura_acera_izquierda]
20	2	[anchura_acera_derecha]
21	Norte	[sentido_orientacion]
22	3,2	[anchura_calzada]
23	3,2	[anchura_carriles]
24	Inexistente	[arcen]
25	No	[mediana]
26	No	[barreras]
27	No	[hitos_arista]
28	No	[captafaros]
29	No	[otros_elementos_seguridad_1]
30	Sí	[recta]
31	No	[curva]
32	No	[curva_suave]
33	No	[curva_sin_visibilidad]
34	No	[resalte]
35	No	[baden]
36	No	[estrechamiento]

Ilustración 59: Datos etiquetados

Una vez se dispone de los datos bien clasificados, el siguiente paso para presentarlos ordenados consiste en generar una plantilla con Microsoft Word. Se genera un documento modelo donde la información clave será sustituida por etiquetas. Estas etiquetas deberán corresponderse con las utilizadas en el Excel para identificar toda la información de los formularios.

Dado que el usuario dispone de cuatro formularios distintos, uno para datos de la vía, otro para datos del entorno, un tercero para datos del vehículo y un último para datos de las personas implicadas en el accidente, deberán crearse cuatro plantillas de Word distintas, cada una contemplando la información asociada a cada tipo de formulario.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### [tipo\_datos]

Documento Nº: [numero\_referencia]

El siguiente documento recoge los aspectos más importantes relacionados con la vía, fundamentales para la realización del análisis pericial del choque producido entre el vehículo con matrícula [matricula\_1], el cual impactó con el vehículo de matrícula [matricula\_2]

#### Tipo de vía

El choque tuvo lugar en la [tipo\_vía], denominada [denominacion\_vía] situada en el punto kilométrico [punto\_km] correspondiente al término municipal [termino\_municipal] de la localidad [localidad].

El vehículo con matrícula [matricula\_1] se encontraba circulando en sentido [sentido\_vehiculo\_1] mientras el vehículo impactado con matrícula [matricula\_2] circulaba en sentido [sentido\_vehiculo\_2].

#### Características geométricas de la vía

Se trata de un/a [tipo\_vía\_2] con [numero\_carriles] carriles de [anchura\_carriles] metros cada uno, en régimen de circulación [regimen\_circulacion]. La calzada cuenta con una anchura de [anchura\_calzada] metros. Sentido de orientación: [sentido\_orientacion].

El arcén izquierdo tiene una anchura de [anchura\_arcen\_izquierdo] metros y el derecho [anchura\_arcen\_derecho] metros.

La cuneta izquierda tiene una anchura de [anchura\_cuneta\_izquierda] metros y la derecha [anchura\_cuneta\_derecha] metros.

La acera izquierda tiene una anchura de [anchura\_acera\_izquierda] metros y la derecha [anchura\_acera\_derecha] metros.

[arcen] arcén pavimentado.

#### Diseño trazado

Elementos de seguridad:

- Mediana: [mediana]
- Barreras: [barreras]
- Hitos de arista: [hitos\_arista]
- Captafaros: [captafaros]
- Otros: [otros\_elementos\_seguridad\_1]
- Recta: [recta]
- Curva: [curva]
- Curva suave: [curva\_suave]
- Curva sin visibilidad: [curva\_sin\_visibilidad]
- Resalte: [resalte]
- Badén: [baden]
- Estrechamiento: [estrechamiento]
- Otros: [otros\_elementos\_seguridad\_2]

El incidente tuvo lugar en la intersección con la carretera/calle [interseccion\_carretera][interseccion\_calle] siendo el tipo de intersección [tipo\_interseccion\_2], [tipo\_interseccion]

#### Señalización

En el lugar del choque había marcas viales [senalizacion\_marcas\_viales]. [senalizacion\_generica] había señales genéricas que marcan km/h.

Vertical: [senalizacion\_vertical]

Luminaria: [senalizacion\_luminaria]

Regulada por: [senalizacion\_regulada\_por]

#### Firme

En cuanto al tipo de firme, se trata de [tipo\_firme], el cual se encontraba en el momento del accidente en un estado [estado\_firme]. El firme [firme\_baches] presentaba baches, [firme\_lomas] presentaba lomas, [firme\_nidos] presentaba nidos y [firme\_baden] presentaba badenes.

Ilustración 60: Plantilla Word para generación informe sobre datos de la vía

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

[tipo\_datos]

Documento Nº: [numero\_referencia\_2]

El siguiente documento recoge los aspectos más importantes relacionados con el entorno, fundamentales para la realización del análisis pericial del choque que tuvo lugar el [fecha] ([tipo\_dia]) a la/s [hora] en [provincia] entre los vehículos [vehiculos\_implicados] y [peatones\_implicados] peatones.

---

### Superficie y factores atmosféricos

La zona del accidente se encontraba [caracteristicas\_superficie] con [laterales] a los lados de la carretera. Factores atmosféricos tales como [factores\_atmosfericos] han podido contribuir al accidente. Además de estas condiciones físicas y atmosféricas, otras circunstancias que han podido contribuir son:

- Paso a nivel: [paso\_nivel]
- Estrechamiento: [estrechamiento\_2]
- Cambio de rasante: [cambio\_rasante]
- Fuerte descenso: [fuerte\_descenso]
- Firme deslizante: [firme\_deslizante]
- Badén: [baden\_2]
- Obras: [obras]
- Resalte: [resalte]
- Inundación: [inundacion]
- Peralte invertido: [peralte\_invertido]
- Fin de carril: [fin\_carril]
- Otros: [otras\_circunstancias]

La visibilidad de la señalización era [visibilidad], sucediendo el accidente en condiciones de luminosidad [luminosidad].

---

### Otras condiciones del entorno

En el momento del accidente la circulación era [circulacion] existiendo una zona [arbolado]. La visibilidad en el tramo del accidente se veía limitada por la presencia de [visibilidad\_restringida] durante [sol].

Condiciones especiales: [condiciones\_especiales]

---

### Observaciones

[observaciones\_2]

*Ilustración 61: Plantilla Word para generación de informe sobre datos del entorno*

# Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

## [tipo\_datos]

Documento Nº: [numero\_referencia\_3]

El siguiente documento recoge los aspectos más importantes relacionados con el vehículo [vehiculo\_numero] con matrícula [matricula], el cual contaba con [numero\_ocupantes] ocupantes. Estos datos serán de gran importancia para posteriores reconstrucciones del accidente.

### Vehículo

[tipo\_vehiculo] de la marca [marca] modelo [modelo], de color [color] con número de bastidor [numero\_bastidor].

Asegurado por la compañía [compañia\_seguro] con número de póliza [poliza], y periodo de validez [validez\_seguro].

ITV [itv].

El vehículo se encontraba cargado con [tipo\_carga] con un peso total de [peso\_carga]. Otras consideraciones sobre la carga:

- Sobrecargado: [sobrecargado\_carga]
- Carga mal dispuesta: [carga\_mal\_dispuesta]

### Estado del vehículo

El vehículo llevaba a cabo un desplazamiento [motivo\_desplazamiento], transportando material [tipo\_transporte]. Tras analizar éste, su estado se puede resumir:

- Aparentemente sin defectos: [sin\_defectos]
- Neumáticos desgastados: [neumaticos\_desgastados]
- Pinchazo/Reventón: [pinchazo\_reventon]
- Pérdida de la rueda: [perdida\_rueda]
- Frenos deficientes: [frenos\_deficientes]
- ABS deficiente: [abs\_deficiente]
- Luces traseras deficientes: [luces\_traseras\_deficientes]
- Luces delanteras deficientes: [luces\_delanteras\_deficientes]
- Dirección deficiente: [direccion\_deficiente]
- Suspensión deficiente: [suspension\_deficiente]
- Otro: [otro\_estado\_vehiculo]

### Deformaciones

Parte frontal:

- Paragolpes: [deformacion\_paragolpes]
- Rejilla: [deformacion\_rejilla]
- Aleta derecha: [deformacion\_aleta\_derecha]
- Aleta izquierda: [deformacion\_aleta\_izquierda]
- Faro derecho: [deformacion\_faro\_derecho]

- Faro izquierdo: [deformacion\_faro\_izquierdo]
- Capó: [deformacion\_capo]
- Luna parabrisas: [deformacion\_luna\_parabrisas]
- Neumático derecho: [deformacion\_neumatico\_derecho]
- Neumático izquierdo: [deformacion\_neumatico\_izquierdo]
- Motor: [deformacion\_motor]

- Radiador: [deformacion\_radiador]
- Dirección: [deformacion\_direccion]

Parte central:

- Puerta delantera derecha: [deformacion\_puerta\_delantera\_derecha]

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

- Puerta delantera izquierda: [deformacion\_puerta\_delantera\_izquierda]
  - Puerta trasera derecha: [deformacion\_puerta\_trasera\_derecha]
  - Puerta trasera izquierda: [deformacion\_puerta\_trasera\_izquierda]
  - Techo: [deformacion\_techo]
  - Estribo derecho: [deformacion\_estribo\_derecho]
  - Estribo izquierdo: [deformacion\_estribo\_izquierdo]
  - Luna delantera derecha: [deformacion\_luna\_delantera\_derecha]
  - Luna delantera izquierda: [deformacion\_luna\_delantera\_izquierda]
  - Luna trasera derecha: [deformacion\_luna\_trasera\_derecha]
  - Luna trasera izquierda: [deformacion\_luna\_trasera\_izquierda]
- Parte trasera:
- Paragolpes: [deformacion\_paragolpes\_trasero]
  - Aleta derecha: [deformacion\_aleta\_derecha\_trasera]
- Aleta izquierda: [deformacion\_aleta\_derecha\_izquierda]
  - Capó: [deformacion\_capo\_trasero]
  - Piloto derecho: [deformacion\_piloto\_derecho]
  - Piloto izquierdo: [deformacion\_piloto\_izquierdo]
  - Neumático derecho: [deformacion\_neumatico\_derecho\_trasero]
  - Neumático izquierdo: [deformacion\_neumatico\_izquierdo\_trasero]
  - Luneta: [deformacion\_luneta]
  - Otras deformaciones: [otras\_deformaciones]

---

### Colisión

Colisión de tipo [colision\_entre\_vehiculos] [colision\_salida] con atropello de [colision\_atropello]. [vuelco], [despeñamiento] [otro\_salida].

---

### Observaciones

[observaciones\_3]

*Ilustración 62: Plantilla Word para generación informe sobre datos del vehículo*

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### [tipo\_datos]

Documento Nº: [numero\_referencia\_4]

El siguiente documento recoge los aspectos más importantes relacionados con una de las personas implicadas en el accidente, en este caso un [peaton\_personas][conductor\_personas][ocupantes\_personas]

---

#### Datos personales

[nombre\_personas] de nacionalidad [nacionalidad\_personas] con domicilio en [domicilio\_personas] en la localidad de [localidad\_personas] provincia de [provincia\_personas] con número de teléfono [telefono\_personas] se vio involucrado en el accidente objeto de estudio.

[nombre\_personas] con DNI [dni\_personas] mide [altura\_personas] y pesa [peso\_personas] en el momento del accidente.

---

#### Condiciones del sujeto

En cuanto a los accesorios de seguridad, [nombre\_personas] [uso\_accesorios\_seguridad]. En el momento del accidente se encontraba [accion\_conductor] llevando [horas\_conduccion] de trayecto. [nombre\_personas] es [tipo\_conductor] desplazándose [motivo\_desplazamiento\_personas].

Las condiciones psicofísicas del sujeto se resumen a continuación:

- Normal: [normal\_condiciones]
- Alcohol sin prueba: [alcohol\_sin\_pruebas]
- Alcohol con prueba: [alcohol\_con\_pruebas]
- Drogas: [drogas]
- Fármacos: [farmacos]
- Sueño: [sueño]
- Fatiga: [fatiga]
- Preocupado: [preocupado]
- Se ignora: [se\_ignora]
- Otros: [otras\_condiciones\_psicofisicas]

---

#### Posición ocupantes

Conductor:

- Nombre: [nombre\_conductor]
- DNI: [dni\_conductor]
- Accesorios seguridad: [accesorios\_seguridad\_conductor]

Copiloto:

- Nombre: [nombre\_copiloto]
- DNI: [dni\_copiloto]
- Accesorios seguridad: [accesorios\_seguridad\_copiloto]

Pasajero izquierdo:

- Nombre: [nombre\_pasajero\_izquierdo]
- DNI: [dni\_pasajero\_izquierdo]
- Accesorios seguridad: [accesorios\_seguridad\_pasajero\_izquierdo]

Pasajero central:

- Nombre: [nombre\_pasajero\_central]
- DNI: [dni\_pasajero\_central]
- Accesorios seguridad: [accesorios\_seguridad\_pasajero\_central]

Pasajero derecho:

- Nombre: [nombre\_pasajero\_derecho]
- DNI: [dni\_pasajero\_derecho]
- Accesorios seguridad: [accesorios\_seguridad\_pasajero\_derecho]

---

#### Observaciones

[observaciones\_4]

*Ilustración 63: Plantilla Word para generación informe sobre datos de las personas*

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Una vez se dispone de las plantillas, a través de VB se programa una herramienta que vaya sustituyendo las etiquetas por la información correspondiente. Este programa lo que hará será coger una etiqueta dispuesta en la columna B de la pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos*, buscará dónde aparece esta etiqueta dentro de la plantilla del Word. Una vez ha localizado la etiqueta buscará en la columna A del Excel la información asociada a la etiqueta y la sustituirá en su lugar correspondiente del informe. Tras repetir esto con todas las etiquetas disponibles, se obtendrá el informe final.

```

'Buscar un archivo localizado en el directorio C3 con nombre igual al texto contenido en C3 y extensión de Microsoft Word
wArch = Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("C3").Text & Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("C2").Text & ".docx"
'Se realiza el proceso que se va a trabajar con un documento de Word y se activa el objeto correspondiente
Set objWord = CreateObject("Word.Application")
objWord.Visible = True
'Se crea un documento nuevo a partir de la plantilla seleccionada anteriormente
objWord.Documents.Add Template:=wArch, NewTemplate:=False, DocumentType:=0
'Se utiliza un For para recorrer las columnas A y B
'En C1 se recoge la cantidad total de celdas que contienen información
For i = 1 To Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("C1").Value
'Cells donde se encuentran las etiquetas que deben ser localizadas en la plantilla Word
datos = Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("B" & i).Text
'Cells que contiene los datos asociados a las etiquetas
reemp = Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("A" & i).Text
'Utilización de buscar y reemplazar en el documento de Word
With objWord.Selection.Find
.Text = datos 'Se busca la etiqueta seleccionada en datos
.Replacement.Text = reemp 'Se sustituye esta etiqueta por los datos asociados a ella
.Execute Replace:=2 'Sustituye todas las etiquetas iguales por su correspondiente dato asociado
End With
Next i
objWord.Activate 'Muestra el documento Word

```

Código 9: Generación automática del informe final a partir de la plantilla y los datos del Excel [44]

En este caso, dada la complejidad del código se ha preferido explicar con comentarios justo sobre las propias líneas de código.

Este código se introduce en la programación del botón de comando *Insertar* de tal forma que después de que el usuario ha validado toda la información introducida en el formulario, ésta es almacenada en el Excel (en la pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos* columna A) y a continuación se inicia el proceso de búsqueda de la plantilla y sustitución de las etiquetas por la información final. Este código se repite en cada uno de los botones *Insertar* asociado con los cuatro formularios disponibles.

Es fundamental para el correcto funcionamiento del código la información introducida en la columna C de la hoja *Auxiliar\_recogida\_datos* del Excel. Tanto el archivo Excel como las plantillas de Word deben estar guardados en la misma carpeta del equipo y esta dirección debe ser indicada en la celda C3.

C	D
210	C1 cuenta el número de elementos que hay en B
Informe	Nombre del documento word plantilla que debe buscar
E:\	Dirección donde se encuentra el excel y el word
Informe_2	Nombre del documento word plantilla que debe buscar
Informe_3	Nombre del documento word plantilla que debe buscar
Informe_4	Nombre del documento word plantilla que debe buscar

Ilustración 64: Información de comunicación entre Excel y Word

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Una vez completado el informe su aspecto final es el siguiente:

### Datos vía

Documento Nº: **14.357**

El siguiente documento recoge los aspectos más importantes relacionados con la vía, fundamentales para la realización del análisis pericial del choque producido entre el vehículo con matrícula **2323 GHJ**, el cual impactó con el vehículo de matrícula **4343 HJG**.

#### Tipo de vía

El choque tuvo lugar en la **Vía urbana**, denominada **C/Gran Vía 7** situada en el punto kilométrico 2 correspondiente al término municipal **Madrid** de la localidad **Madrid**.

El vehículo con matrícula **2323 GHJ** se encontraba circulando en sentido **Norte-Sur** mientras el vehículo impactado con matrícula **4343 HJG** circulaba en sentido **Sur-Norte**.

#### Características geométricas de la vía

Se trata de un/a **Vía convencional** con 2 carriles de 3,2 metros cada uno, en régimen de circulación **Doble sentido**. La calzada cuenta con una anchura de 3,2 metros. Sentido de orientación: **Norte**.

El arcén izquierdo tiene una anchura de 0 metros y el derecho 0 metros.

La cuneta izquierda tiene una anchura de 0 metros y la derecha 0 metros.

La acera izquierda tiene una anchura de 2 metros y la derecha 2 metros.

**Inexistente** arcén pavimentado.

#### Diseño trazado

Elementos de seguridad:

- Mediana: **No**
- Barreras: **No**
- Hitos de arista: **No**
- Captafaros: **No**
- Otros: **No**
- Recta: **Sí**
- Curva: **No**
- Curva suave: **No**
- Curva sin visibilidad: **No**
- Resalte: **No**
- Badén: **No**
- Estrechamiento: **No**
- Otros: **No**

El incidente tuvo lugar en la intersección con la carretera/calle **523C/Alcalá** siendo el tipo de intersección **Paso de peatones, En T o Y**

#### Señalización

En el lugar del choque había marcas viales **Carriles y bordes**. **No** había señales genéricas que marcan km/h.

Vertical: **Inexistentes**

Luminaria: **Semáforos**

Regulada por: **Semáforo**

#### Firme

En cuanto al tipo de firme, se trata de **Asfalto**, el cual se encontraba en el momento del accidente en un estado **Bueno**. El firme **No** presentaba baches, **No** presentaba lomas, **No** presentaba nidos y **Sí** presentaba badenes.

Ilustración 65: Informe final con los datos de la vía

Similar resultado se obtiene al completar los formularios asociados al entorno, el vehículo o las personas involucradas en el accidente. A continuación, se muestra un ejemplo del resultado final introduciendo datos aleatorios no asociados a ningún caso real.

# Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

## Datos entorno

Documento Nº: 14.357

El siguiente documento recoge los aspectos más importantes relacionados con el entorno, fundamentales para la realización del análisis pericial del choque que tuvo lugar el 18/05/2017 (Laboral) a la/s 18:00 en Madrid entre los vehículos 2 y 0 peatones.

### Superficie y factores atmosféricos

La zona del accidente se encontraba **Seca y limpia** con **Bordillo** a los lados de la carretera. Factores atmosféricos tales como **Buen tiempo** han podido contribuir al accidente. Además de estas condiciones físicas y atmosféricas, otras circunstancias que han podido contribuir son

- Paso a nivel: **No**
- Estrechamiento: **Sí**
- Cambio de rasante: **No**
- Fuerte descenso: **No**
- Firme deslizante: **No**
- Badén: **No**
- Obras: **No**
- Resalte: **No**
- Inundación: **No**
- Peralte invertido: **No**
- Fin de carril: **No**
- Otros:

La visibilidad de la señalización era **Buena**, sucediendo el accidente en condiciones de luminosidad **Buenas, pleno día**.

### Otras condiciones del entorno

En el momento del accidente la circulación era **Congestionada** existiendo una zona **De arboleda aislada**. La visibilidad en el tramo del accidente se veía limitada por la presencia de **Vegetación** durante **Pleno día**.

Condiciones especiales: **Ninguna**

### Observaciones

Choque frontal

*Ilustración 66: Informe final con los datos del entorno*

# Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

## Datos vehículo

Documento Nº: **14.357**

El siguiente documento recoge los aspectos más importantes relacionados con el vehículo **1** con matrícula **2323 GJH**, el cual contaba con **1** ocupantes. Estos datos serán de gran importancia para posteriores reconstrucciones del accidente.

### Vehículo

Turismo de la marca **Mini** modelo **Cooper S**, de color **Rojo** con número de bastidor **45.954**.

Asegurado por la compañía **Mapfre** con número de póliza **12345**, y periodo de validez **2019**.

ITV **Sí** realizada.

El vehículo se encontraba cargado con **Ninguna carga** con un peso total de **0 kg**. Otras consideraciones sobre la carga:

- Sobrecargado: **No**
- Carga mal dispuesta: **No**

### Estado del vehículo

El vehículo llevaba a cabo un desplazamiento **Local (50 km)**, transportando material **No peligroso**. Tras analizar éste, su estado se puede resumir:

- Aparentemente sin defectos: **Sí**
- Neumáticos desgastados: **No**
- Pinchazo/Reventón: **No**
- Pérdida de la rueda: **No**
- Frenos deficientes: **No**
- ABS deficiente: **No**
- Luces traseras deficientes: **No**
- Luces delanteras deficientes: **No**
- Dirección deficiente: **No**
- Suspensión deficiente: **No**
- Otro:

### Deformaciones

Parte frontal:

- Paragolpes: **Sí**
- Rejilla: **Sí**
- Aleta derecha: **No**
- Aleta izquierda: **No**
- Faro derecho: **Sí**
- Faro izquierdo: **No**
- Capó: **No**
- Luna parabrisas: **No**
- Neumático derecho: **Sí**
- Neumático izquierdo: **No**
- Motor: **No**
- Radiador: **No**
- Dirección: **No**

Parte central:

- Puerta delantera derecha: **No**
- Puerta delantera izquierda: **No**
- Puerta trasera derecha: **No**
- Puerta trasera izquierda: **No**
- Techo: **No**
- Estribo derecho: **No**
- Estribo izquierdo: **No**
- Luna delantera derecha: **No**
- Luna delantera izquierda: **No**
- Luna trasera derecha: **No**
- Luna trasera izquierda: **No**

Parte trasera:

- Paragolpes: **No**
- Aleta derecha: **No**
- Aleta izquierda: **[deformacion\_aleta\_derecha\_izquierda]**
- Capó: **No**
- Piloto derecho: **No**
- Piloto izquierdo: **No**
- Neumático derecho: **No**
- Neumático izquierdo: **No**
- Luneta: **No**
- Otras deformaciones: **Vehículo incendiado**

### Colisión

Colisión de tipo **Frontal Otro choque** con atropello de **Sin atropello**. Sin vuelco, Sin despeñamiento.

### Observaciones

**Conductor ebrio**

*Ilustración 67: Informe final con los datos del vehículo*

# Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

## Datos persona

Documento Nº: **14.357**

El siguiente documento recoge los aspectos más importantes relacionados con una de las personas implicadas en el accidente, en este caso un **Conductor**

---

### Datos personales

**Pedro García Morales** de nacionalidad **Española** con domicilio en **C/Gran vía 14** en la localidad de **Madrid** provincia de **Madrid** con número de teléfono **653986523** se vio involucrado en el accidente objeto de estudio.

**Pedro García Morales** con DNI **64765342 R** mide **1,83** y pesa **75** en el momento del accidente.

---

### Condiciones del sujeto

En cuanto a los accesorios de seguridad, **Pedro García Morales** **Llevaba puesto el cinturón de seguridad**. En el momento del accidente se encontraba **Cruzando intersección** llevando **Menos de 1 h** de trayecto. **Pedro García Morales** es **Conductor particular** desplazándose **Durante el trabajo**.

Las condiciones psicofísicas del sujeto se resumen a continuación:

- Normal: **No**
- Alcohol sin prueba: **No**
- Alcohol con prueba: **Sí**
- Drogas: **No**
- Fármacos: **No**
- Sueño: **No**
- Fatiga: **No**
- Preocupado: **No**
- Se ignora: **No**
- Otros:

---

### Posición ocupantes

Conductor:

- Nombre: **Pedro García Morales**
- DNI: **64765342 R**
- Accesorios seguridad: **Cinturón de seguridad**

Copiloto:

- Nombre: **Sin copiloto**
- DNI:
- Accesorios seguridad:

Pasajero izquierdo:

- Nombre: **Sin pasajero izquierdo**
- DNI:
- Accesorios seguridad:

Pasajero central:

- Nombre: **Sin pasajero central**
- DNI:
- Accesorios seguridad:

Pasajero derecho:

- Nombre: **Sin pasajero derecho**
- DNI:
- Accesorios seguridad:

---

### Observaciones

Sin observaciones adicionales

*Ilustración 68: Informe final con los datos de la persona implicada*

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.3.3 Modelo choque elástico***

#### ***1.3.3.1 Datos o inputs requeridos***

El choque elástico se caracteriza fundamentalmente por obviar la energía disipada en el proceso de deformación de los vehículos, así como la energía perdida en el rozamiento con la carretera. Este modelo es válido en el caso de accidentes a baja velocidad puesto que generalmente las deformaciones que tienen lugar suelen ser bastante pequeñas si no inexistentes.

Como se explica en el apartado correspondiente a los fundamentos físicos detrás de los accidentes de tráfico, se parte de la ecuación de la conservación de la energía cinética, ya que toda la energía que posee el vehículo que origina el impacto es totalmente invertida en modificar la velocidad del vehículo que recibe el impacto. Junto con la conservación de cantidad de movimiento, y particularizando para el caso de que uno de los vehículos esté parado (el caso más común suponiendo que tiene lugar un alcance en un semáforo o situación similar), se obtienen las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$v'_1 = \frac{(m_1 - m_2) \cdot v_1}{m_1 + m_2}$$

$$v'_2 = \frac{2 \cdot m_1 \cdot v_1}{m_1 + m_2}$$

En el caso en el que el coche 2 no tenga velocidad inicial nula, las ecuaciones resultantes serían:

$$v'_1 = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot (v_1 - 2 \cdot v_2)}{m_1 + m_2}$$

$$v'_2 = \frac{m_1 \cdot (2 \cdot v_1 - v_2) + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

Estas ecuaciones permiten determinar la velocidad final de ambos vehículos en función de la masa de ambos y de la velocidad inicial del vehículo que origina el impacto. Por tanto, estos serán los inputs que el usuario del programa deberá introducir.

Al igual que para la recogida de datos, se ha generado un proceso simplificado con la ayuda de Microsoft Excel. A partir de formularios el perito puede introducir los datos más relevantes para el cálculo de los parámetros de choque y obtener automáticamente los resultados.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

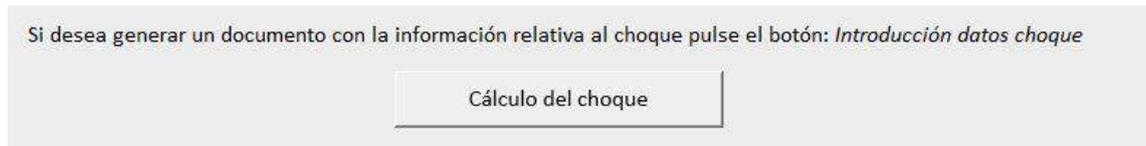


Ilustración 69: Inicio programa cálculo choques

El programa permite elegir entre dos tipos de cálculo, el basado en el choque elástico y el basado en el choque inelástico:

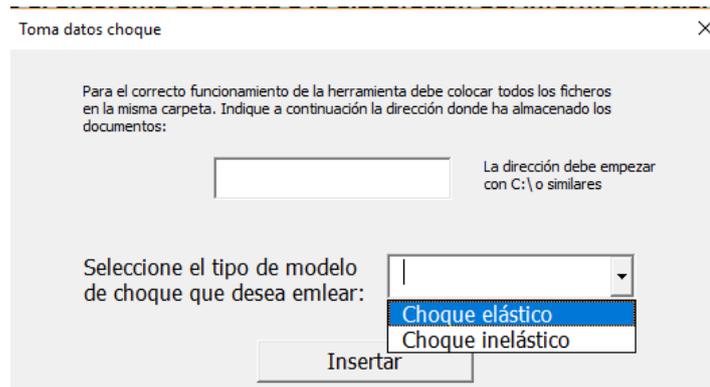


Ilustración 70: Selección tipo de cálculo empleado

Para el caso del choque elástico, la información a introducir es la siguiente:

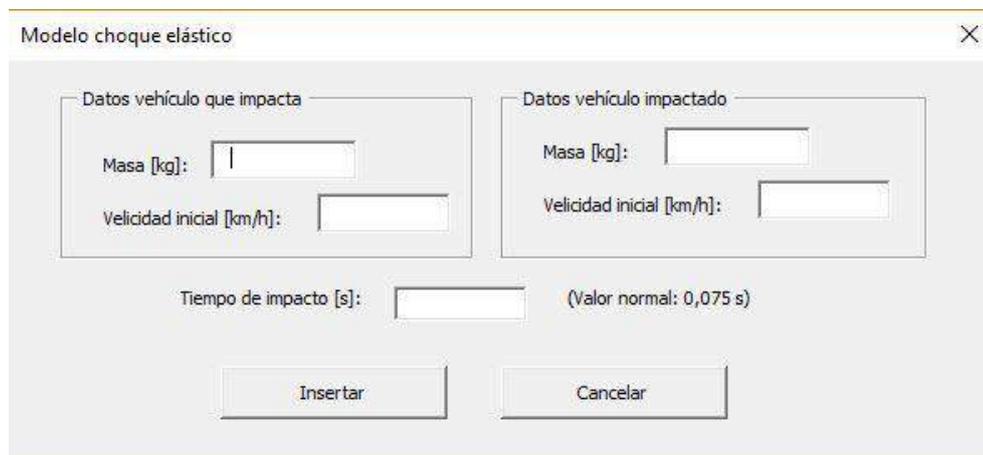


Ilustración 71: Formulario introducción datos para cálculo según choque elástico

### 1.3.3.2 Algoritmos

Al igual que se explicó anteriormente, los formularios se programan con Visual Basic empleando un código muy similar al mostrado para el proceso de recogida de datos. La programación del cuadro combinado, ofreciendo las dos opciones de cálculo se basa en el siguiente código:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

```
Private Sub UserForm_Activate()  
  
    UserForm6.ComboBox1.Clear  
    ComboBox1.AddItem "Choque elástico"  
    ComboBox1.AddItem "Choque inelástico"  
  
End Sub
```

Código 10: Programación cuadro combinado para selección tipo de cálculo

Al activarse el formulario seleccionado, en este caso el correspondiente al cálculo de choques se le indica al cuadro combinado que debe mostrar dos opciones: Choque elástico y Choque inelástico. El usuario debe decidir y en función de su selección se abrirá un formulario u otro.

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
  
    Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Select  
    Range("E1").Select  
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ComboBox1.Text  
  
    If ComboBox1.Text = "Choque elástico" Then  
        Unload UserForm6  
        Load UserForm7  
        UserForm7.Show  
    End If  
  
    If ComboBox1.Text = "Choque inelástico" Then  
        Unload UserForm6  
        Load UserForm8  
        UserForm8.Show  
    End If  
  
End Sub
```

Código 11: Selección formulario choques según elección usuario

La utilización de un IF permite indicarle al programa que abra un formulario u otro según lo que haya seleccionado el usuario. El proceso dentro de cada IF es el mismo, en primer lugar, se cierra el formulario activo y se abre el correspondiente al choque elástico o inelástico. En el caso del choque elástico el formulario resultante es el siguiente:

The image shows a dialog box titled "Modelo choque elástico" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is divided into two main sections for data entry:

- Datos vehículo que impacta:** Contains two input fields: "Masa [kg]" (with a value of 1) and "Velocidad inicial [km/h]".
- Datos vehículo impactado:** Contains two input fields: "Masa [kg]" and "Velocidad inicial [km/h]".

Below these sections is a single input field for "Tiempo de impacto [s]" with a note "(Valor normal: 0,075 s)". At the bottom of the dialog are two buttons: "Insertar" and "Cancelar".

Ilustración 72: Formulario introducción datos para cálculo según choque elástico

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Los campos a rellenar son los necesarios para la obtención de los resultados asociados al choque. Estos resultados contienen información relevante como la velocidad final de los vehículos tras el choque, el decremento de velocidad que experimentan, el cambio de energía cinética o de cantidad de movimiento experimentado, la aceleración sufrida y la probabilidad de lesión:

Resultados vehículo impacta		
Velocidad final [m/s]	0,49	[m/s]
Velocidad final [km/h]	1,76	[km/h]
Decremento velocidad [m/s]	-3,68	[m/s]
Decremento velocidad [km/h]	-13,24	[km/h]
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	6416,67	[kg·m/s]
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	754,35	[kg·m/s]
Energía cinética inicial [Julios]	13368	[Julios]
Energía cinética final [Julios]	185	[Julios]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	49,02	[m/s <sup>2</sup> ]
Aceleración [g]	5,00	[g]
Neck Injuri Criterion (NIC)	10,04	[NIC]
Probabilidad lesión > 1 mes	2%	
Resultados vehículo impactado		
Velocidad final [m/s]	4,66	[m/s]
Velocidad final [km/h]	16,76	[km/h]
Incremento velocidad [m/s]	4,66	[m/s]
Incremento velocidad [km/h]	16,76	[km/h]
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	0	[kg·m/s]
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	5662,31	[kg·m/s]
Energía cinética inicial [Julios]	0	[Julios]
Energía cinética final [Julios]	13183	[Julios]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	62,09	[m/s <sup>2</sup> ]
Aceleración [g]	6,33	[g]
Neck Injuri Criterion (NIC)	34,10	[NIC]
Probabilidad lesión > 1 mes	99%	

Tabla 4: Resultados obtenidos con el cálculo elástico

Las fórmulas asociadas que permiten la obtención de estos resultados se basan en fundamentos físicos ya explicados en el apartado de la memoria correspondiente:

- Velocidad final: combinando la conservación de la energía cinética y la cantidad de movimiento, y conociendo las velocidades iniciales de ambos vehículos se puede obtener la velocidad final.

$$v'_1 = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot (v_1 - 2 \cdot v_2)}{m_1 + m_2}$$

$$v'_2 = \frac{m_1 \cdot (2 \cdot v_1 - v_2) + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

- Decremento de velocidad: se obtiene como la diferencia entre la velocidad final y la velocidad inicial

$$\Delta V = V_{final} - V_{inicial}$$

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

- Cantidad de movimiento: calculada como el producto de la masa del vehículo por su velocidad correspondiente, ya sea inicial o final

$$p_{inicial} = m \cdot V_{inicial}$$
$$p_{final} = m \cdot V_{final}$$

- Energía cinética: obtenida a partir de la masa y la velocidad

$$E_{c_{inicial}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_{inicial}^2$$
$$E_{c_{final}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_{final}^2$$

- Aceleración: conocida la variación de velocidad que sufre el vehículo y el tiempo en el que esta variación tiene lugar se calcula la aceleración

$$a = (V_{final} - V_{inicial})/t_{impacto}$$

- Neck Injury Criterion: consiste en un criterio establecido en el año 1996 por O. Bostroem y MY Svensson que mide la sollicitación del cuello durante el proceso de choque. Permite establecer una relación entre las variables físicas medibles durante el accidente y la probabilidad de sufrir una lesión en el cuello. Se emplea en este proyecto por resultar el criterio más aceptado a nivel internacional.

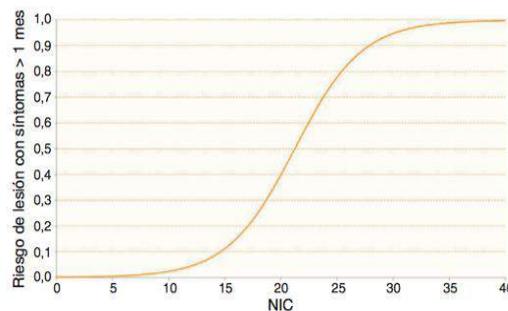


Ilustración 73: Curva del Neck Injury Criterion

- Probabilidad de sufrir una lesión de duración mayor a 1 mes: se emplea la curva anteriormente mostrada. Para un cálculo en el programa desarrollado más rápido, se ha representado la curva en forma de tabla, permitiendo así obtener la correlación entre NIC y probabilidad de lesión de forma directa empleando el comando de Excel BUSCARV

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

NIC	Riesgo lesión con síntomas > 1 mes
0	0%
1	0%
2	0%
3	0%
4	1%
5	1%
6	1%
7	1%
8	2%
9	2%
10	2%
11	3%
12	4%
13	6%
14	8%
15	11%
16	15%
17	19%
18	25%
19	32%
20	40%
21	48%
22	56%
23	64%
24	72%
25	78%
26	83%
27	87%
28	90%
29	93%
30	95%
31	96%
32	97%
33	98%
34	99%
35	99%
36	100%
37	100%
38	100%
39	100%
40	100%

Tabla 5: Curva NIC pasada a tabla

Será este último dato, el de probabilidad de lesión el más relevante para el perito pues permite tener una idea aproximada de la violencia del choque y gravedad del mismo.

### 1.3.3.3 Implantación final

Una vez introducidos los datos a través del formulario, éstos se almacenan en la pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos* ordenándolos y asignándoles una etiqueta. También los resultados obtenidos a partir de estos datos iniciales se ordenan en la misma pestaña con sus etiquetas correspondientes.

```
'Copia de datos en pestaña Auxiliar_recogida_datos  
  
Sheets("Choque_elastico").Select  
Range("C4").Select  
Selection.Copy  
Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Select  
Range("E2").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks_  
:=False, Transpose:=False
```

Código 12: Copia datos en pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos*

Una vez se pulsa el botón de Insertar en el formulario de introducción de datos, el programa recoge esta información de la pestaña *Choque\_elástico*, la copia y la pega en la pestaña

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

*Auxiliar\_recogida\_datos*. Las dos últimas líneas de código indican que se debe pegar únicamente el número copiado, sin formato y sin fórmulas asociadas. Esta misma operación se realiza con toda la información asociada al choque obteniendo un listado de los resultados con sus etiquetas correspondientes:

Choque elástico	[tipo_calculo]
1540	[masa_1]
15	[velocidad_i_1]
1216	[masa_2]
0	[velocidad_i_2]
0,075	[tiempo_impacto]
0,49	[velocidad_f_1_ms]
1,76	[velocidad_f_1_kmh]
-3,68	[decremento_v_1_ms]
-15,24	[decremento_v_1_kmh]
6416,67	[cantidad_movimiento_i_1]
754,35	[cantidad_movimiento_f_1]
13368,06	[energia_cinetica_i_1]
184,76	[energia_cinetica_f_1]
49,02	[aceleracion_1_ms2]
5,00	[aceleracion_1_g]
10,04	[nic_1]
0,02	[probabilidad_lesion_1]
4,66	[velocidad_f_2_ms]
16,76	[velocidad_f_2_kmh]
4,66	[decremento_v_2_ms]
16,76	[decremento_v_2_kmh]
0,00	[cantidad_movimiento_i_2]
5662,31	[cantidad_movimiento_f_2]
0,00	[energia_cinetica_i_2]
15183,30	[energia_cinetica_f_2]
62,09	[aceleracion_2_ms2]
6,33	[aceleracion_2_g]
34,10	[nic_2]
0,99	[probabilidad_lesion_2]

Tabla 6: Información obtenida sobre el choque elástico con sus etiquetas asociadas

Se ha dispuesto la información de esta manera para posteriormente poder automatizar el proceso de creación de un informe con los resultados de igual forma que se hizo con los formularios de recogida de datos. Para ello se ha creado una plantilla con las etiquetas correspondientes que deberán ser sustituidas por el número final.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### Reconstrucción accidente de tráfico basado en cálculos según el modelo de [tipo\_calculo]

#### Datos:

El vehículo que origina el choque tiene una masa de [masa\_1] kg y circulaba a una velocidad de [velocidad\_i\_1] km/h.

El vehículo que recibe el impacto tiene una masa de [masa\_2] kg y circulaba en el momento del impacto a una velocidad de [velocidad\_i\_2] km/h.

Se estima que el choque entre ambos vehículos tiene una duración de [tiempo\_impacto] segundos, siendo éste un valor considerado razonable en choques a baja velocidad.

#### Resultados:

Vehículo que origina el impacto:

Velocidad final [m/s]	[velocidad_f_1_ms]
Velocidad final [km/h]	[velocidad_f_1_kmh]
Decremento velocidad [m/s]	[decremento_v_1_ms]
Decremento velocidad [km/h]	[decremento_v_1_kmh]
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_i_1]
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_f_1]
Energía cinética inicial [Julios]	[energia_cinetica_i_1]
Energía cinética final [Julios]	[energia_cinetica_f_1]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	[aceleracion_1_ms2]
Aceleración [g]	[aceleracion_1_g]
Neck Injuri Criterion (NIC)	[nic_1]
Probabilidad lesión > 1 mes	[probabilidad_lesion_1]

Vehículo que recibe el impacto:

Velocidad final [m/s]	[velocidad_f_2_ms]
Velocidad final [km/h]	[velocidad_f_2_kmh]
Incremento velocidad [m/s]	[decremento_v_2_ms]
Incremento velocidad [km/h]	[decremento_v_2_kmh]
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_i_2]
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_f_2]
Energía cinética inicial [Julios]	[energia_cinetica_i_2]
Energía cinética final [Julios]	[energia_cinetica_f_2]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	[aceleracion_2_ms2]
Aceleración [g]	[aceleracion_2_g]
Neck Injuri Criterion (NIC)	[nic_2]
Probabilidad lesión > 1 mes	[probabilidad_lesion_2]

Ilustración 74: Plantilla para informe de recogida de resultados del choque según modelo elástico

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

De esta forma, una vez introducidos los datos en el formulario:

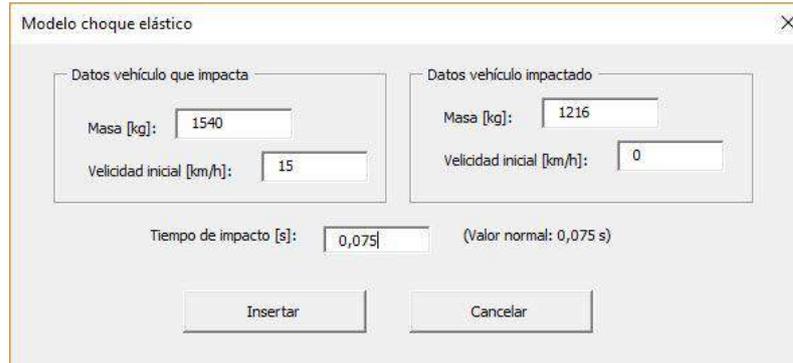


Ilustración 75: Introducción datos modelo choque elástico

Tras el proceso de pasar toda la información a la pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos* y asignarles su correspondiente etiqueta, se procede a generar el informe gracias al código siguiente:

```
*Generación informe en Word
*Buscamos un archivo localizado en el directorio de los datos inicial al texto contenido en el y extensión de extensión de Word
ulrch = Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("C3").Text & Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("C1").Text & ".docx"
*Se indica al programa que se va a trabajar con un documento de Word y se activa el objeto correspondiente
Set objWord = CreateObject("Word.Application")
objWord.Visible = True
*Se crea un documento nuevo a partir de la plantilla seleccionada anteriormente
objWord.Documents.Add Template:=ulrch, NewTemplate:=False, DocumentType:=0
*Se utiliza el Set para mostrar las columnas E y F
*En él se recoge la cantidad total de celdas que contiene información
For i = 1 To Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("D1").Value
*Delas donde se encuentran las etiquetas que deben ser localizadas en la plantilla Word
datos = Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("E" & i).Text
*Celda que contiene los datos asociados a las etiquetas
temp = Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("F" & i).Text
*Utilización de buscar y reemplazar en el documento de Word
With objWord.Selection.Find
.Text = datos 'Se busca la etiqueta almacenada en datos
.MatchCase:=True 'Se busca de sustituir esta etiqueta por los datos asociados a ella
.Replace:=Replace:=2 'Sustituye todas las etiquetas iguales por su correspondiente dato asociado
End With
Next i
objWord.Activate 'Muestra el documento Word
```

Código 13: Generación automática informe choque elástico

Se trata de un código semejante al empleado para la generación del informe de recogida de datos. Obteniendo como resultado final el siguiente informe:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### Reconstrucción accidente de tráfico basado en cálculos según el modelo de Choque elástico

#### Datos:

El vehículo que origina el choque tiene una masa de **1540 kg** y circulaba a una velocidad de **15 km/h**.

El vehículo que recibe el impacto tiene una masa de **1216 kg** y circulaba en el momento del impacto a una velocidad de **0 km/h**.

Se estima que el choque entre ambos vehículos tiene una duración de **0,075 segundos**, siendo éste un valor considerado razonable en choques a baja velocidad.

#### Resultados:

Vehículo que origina el impacto:

Velocidad final [m/s]	0,49
Velocidad final [km/h]	1,76
Decremento velocidad [m/s]	-3,68
Decremento velocidad [km/h]	-13,24
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	6416,67
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	754,35
Energía cinética inicial [Julios]	13368,06
Energía cinética final [Julios]	184,76
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	49,02
Aceleración [g]	5,00
Neck Injuri Criterion (NIC)	10,04
Probabilidad lesión > 1 mes	0,02

Vehículo que recibe el impacto:

Velocidad final [m/s]	4,66
Velocidad final [km/h]	16,76
Incremento velocidad [m/s]	4,66
Incremento velocidad [km/h]	16,76
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	0,00
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	5662,31
Energía cinética inicial [Julios]	0,00
Energía cinética final [Julios]	13183,30
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	62,09
Aceleración [g]	6,33
Neck Injuri Criterion (NIC)	34,10
Probabilidad lesión > 1 mes	0,99

Ilustración 76: Informe final choque elástico

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

Con el fin de dotar al perito de información útil, el programa no se limita a realizar los cálculos mostrados, también genera de forma automática una serie de gráficos y tablas comparativas que pueden resultar interesantes. Sobre todo, de cara a dotar al informe de mayor contenido gráfico que sirva de ayuda visual al juez en su proceso de decisión.

Para entender cómo varía el NIC en función de la velocidad del vehículo que impacta y el tiempo que dura dicho impacto, el programa genera una tabla. Esta tabla contiene un código de colores de tal forma que a mayor valor del NIC se muestra un color rojo más intenso, pudiendo de esta forma tener una idea rápida del efecto que el incremento de alguno de los parámetros estudiados puede suponer.

<b>Análisis NIC coche impactado en función de la velocidad inicial del coche que impacta y el tiempo de impacto</b>															
	Tiempo de impacto [s]														
	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12
34,1	6,5	6,1	5,7	5,4	5,1	4,9	4,6	4,5	4,3	4,2	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6
4	8,6	8,1	7,6	7,2	6,8	6,5	6,3	6,1	5,9	5,7	5,5	5,4	5,2	5,1	5,0
5	10,9	10,2	9,7	9,2	8,8	8,4	8,1	7,9	7,6	7,4	7,2	7,0	6,9	6,7	6,6
6	13,4	12,6	12,0	11,4	10,9	10,5	10,2	9,8	9,6	9,3	9,1	8,9	8,7	8,5	8,3
7	16,1	15,2	14,4	13,8	13,3	12,8	12,4	12,0	11,7	11,4	11,1	10,9	10,7	10,5	10,3
8	19,0	18,0	17,1	16,4	15,8	15,3	14,8	14,4	14,0	13,7	13,4	13,1	12,9	12,7	12,5
9	22,1	20,9	20,0	19,2	18,5	17,9	17,4	16,9	16,5	16,2	15,8	15,5	15,3	15,0	14,8
10	25,3	24,1	23,0	22,2	21,4	20,8	20,2	19,7	19,2	18,8	18,5	18,2	17,9	17,6	17,4
11	28,8	27,4	26,3	25,3	24,5	23,8	23,2	22,6	22,2	21,7	21,3	21,0	20,7	20,4	20,1
12	32,4	31,0	29,7	28,7	27,8	27,0	26,4	25,8	25,3	24,8	24,4	24,0	23,6	23,3	23,0
13	36,3	34,7	33,4	32,3	31,3	30,5	29,8	29,1	28,5	28,0	27,6	27,2	26,8	26,4	26,1
14	40,3	38,6	37,2	36,0	35,0	34,1	33,3	32,6	32,0	31,5	31,0	30,6	30,1	29,8	29,4
15	44,5	42,7	41,2	40,0	38,9	37,9	37,1	36,4	35,7	35,1	34,6	34,1	33,7	33,3	32,9
16	49,0	47,0	45,4	44,1	42,9	41,9	41,0	40,3	39,6	39,0	38,4	37,9	37,4	37,0	36,6
17	53,6	51,5	49,8	48,4	47,2	46,1	45,2	44,4	43,6	43,0	42,4	41,9	41,4	40,9	40,5
18	58,4	56,2	54,5	52,9	51,6	50,5	49,5	48,7	47,9	47,2	46,6	46,0	45,5	45,0	44,6
19	63,4	61,1	59,2	57,7	56,3	55,1	54,1	53,2	52,3	51,6	51,0	50,4	49,8	49,3	48,9
20	68,6	66,2	64,2	62,6	61,1	59,9	58,8	57,8	57,0	56,2	55,5	54,9	54,4	53,8	53,4
21	74,0	71,5	69,4	67,7	66,2	64,9	63,7	62,7	61,8	61,0	60,3	59,7	59,1	58,5	58,0
22	79,5	76,9	74,8	72,9	71,4	70,0	68,8	67,8	66,8	66,0	65,3	64,6	64,0	63,4	62,9
23	85,3	82,6	80,3	78,4	76,8	75,4	74,1	73,0	72,1	71,2	70,4	69,7	69,1	68,5	67,9
24	91,3	88,5	86,1	84,1	82,4	80,9	79,6	78,5	77,5	76,6	75,8	75,0	74,3	73,7	73,2
25	97,4	94,5	92,0	90,0	88,2	86,7	85,3	84,1	83,1	82,1	81,3	80,5	79,8	79,2	78,6
26	103,8	100,7	98,2	96,0	94,2	92,6	91,2	90,0	88,9	87,9	87,0	86,2	85,5	84,8	84,2
27	110,3	107,2	104,5	102,3	100,4	98,7	97,3	96,0	94,9	93,9	92,9	92,1	91,4	90,7	90,0
28	117,1	113,8	111,1	108,7	106,8	105,1	103,6	102,2	101,1	100,0	99,1	98,2	97,4	96,7	96,1
29	124,0	120,6	117,8	115,4	113,3	111,6	110,0	108,6	107,4	106,3	105,4	104,5	103,7	102,9	102,3
30															

*Tabla 7: NIC en función de la velocidad del coche que impacta y del tiempo de impacto  
modelo choque elástico*

Para la correcta interpretación de la tabla, ésta viene acompañada de una serie de gráficos:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

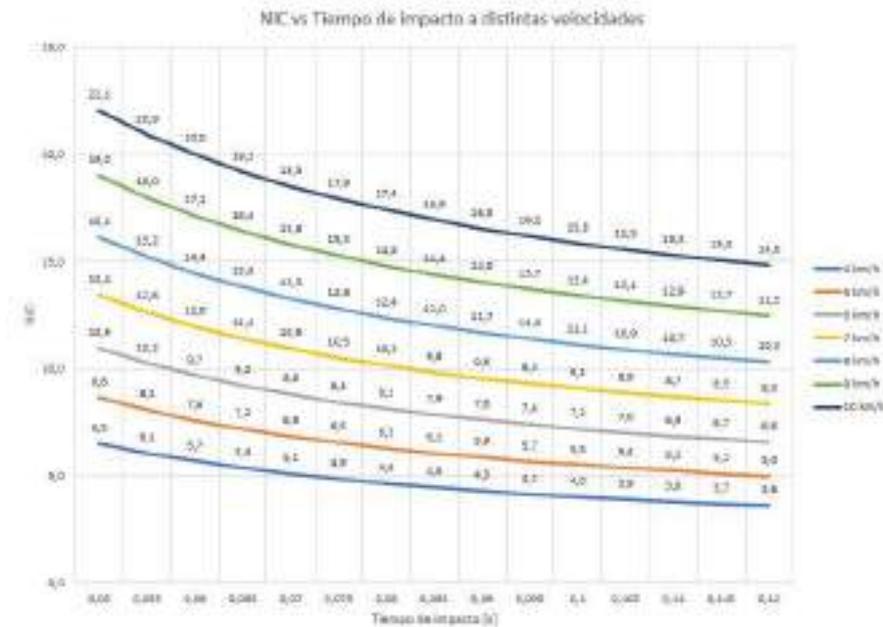


Gráfico 1: NIC en función de la velocidad inicial y el tiempo de impacto modelo choque elástico

Se observa como a medida que el tiempo de impacto aumenta, la violencia del choque expresada a través del NIC va disminuyendo. Parece lógico pues a mayor tiempo de impacto, se puede disipar la energía interviniente más lentamente contribuyendo así a limitar la violencia. Del mismo modo, tal y como cabe esperar, según aumenta la velocidad inicial del coche que impacta, el NIC va en aumento.

El NIC es un valor muy utilizado, pero tiene el problema de que no muestra de forma directa la gravedad del choque, para solventar esto, se genera, siguiendo el mismo formato, una tabla que contiene la probabilidad de lesión en función de la velocidad y el tiempo de impacto. Este parámetro sí permite saber fácilmente a partir de qué velocidad o tiempo de impacto el choque podría acarrear posibles lesiones.

Análisis probabilidad lesión > 1 mes en función de la velocidad inicial del coche que impacta y el tiempo de impacto															
	Tiempo de impacto [s]														
	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12
4	0,014	0,01	0,01	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
5	0,018	0,016	0,016	0,014	0,014	0,014	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,006	0,006	0,006	0,006
6	0,03	0,022	0,022	0,018	0,018	0,016	0,016	0,016	0,016	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
7	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,022	0,022	0,022	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,016
8	0,15	0,11	0,08	0,08	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,022	0,022
9	0,32	0,25	0,19	0,15	0,15	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04
10	0,56	0,48	0,4	0,32	0,32	0,25	0,19	0,19	0,19	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,11
11	0,78	0,72	0,64	0,56	0,48	0,48	0,4	0,4	0,32	0,32	0,25	0,25	0,25	0,25	0,19
12	0,93	0,87	0,83	0,78	0,78	0,72	0,64	0,64	0,56	0,56	0,48	0,48	0,48	0,4	0,4
13	0,97	0,96	0,95	0,93	0,9	0,87	0,83	0,83	0,78	0,78	0,72	0,72	0,72	0,64	0,64
14	0,995	0,993	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,93	0,93	0,9	0,9	0,87	0,87	0,83	0,83
15	1	0,999	0,995	0,995	0,993	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,93
16	1	1	1	1	0,999	0,997	0,995	0,995	0,995	0,993	0,993	0,99	0,99	0,98	0,98
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,999	0,997	0,997	0,995	0,995	0,995
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 8: Probabilidad de sufrir una lesión de duración mayor a 1 mes en función de la velocidad inicial y el tiempo de impacto modelo choque elástico

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

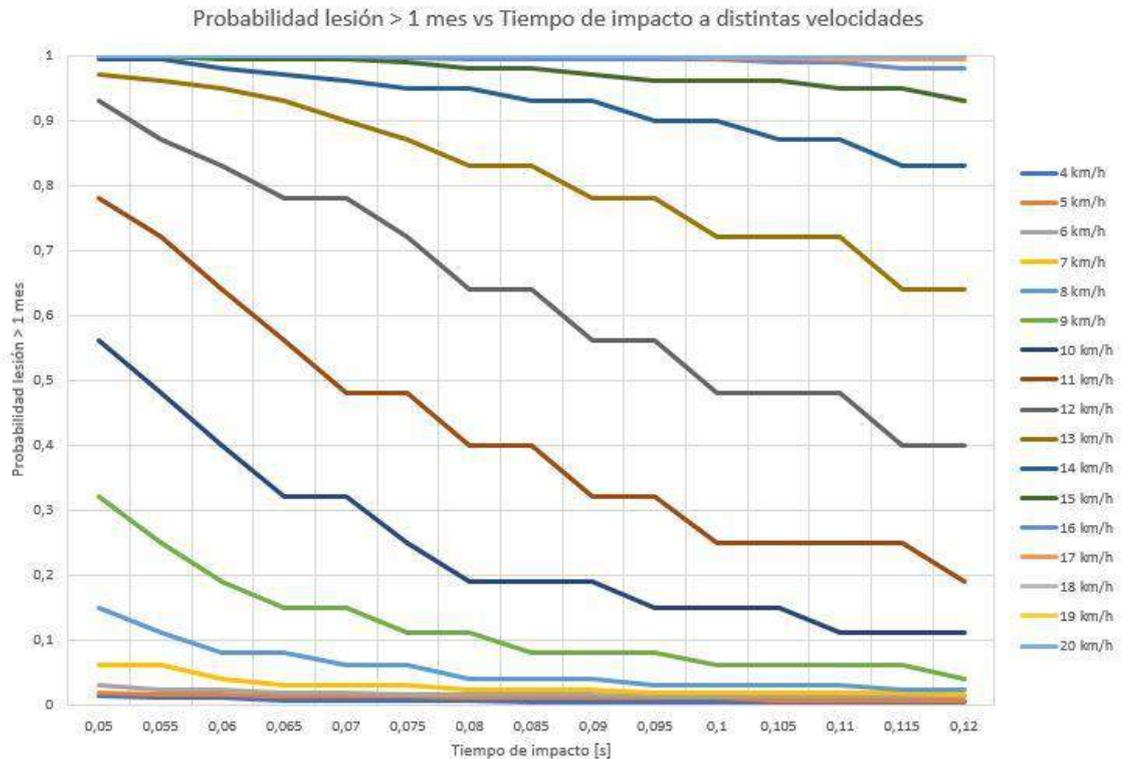


Gráfico 2: Probabilidad de lesión de duración más de 1 mes según velocidad y tiempo de impacto modelo choque elástico

De esta tabla y gráfico se puede obtener información relevante. A partir de un choque a más de 18 km/h la probabilidad de lesión según el Neck Injuri Criterion es del 100%. Tiene una importante influencia el tiempo de choque, considerándose el tiempo típico de duración de un choque de 0,075 segundos. Observando el comportamiento del gráfico, podría considerarse que a partir de 10 km/h el riesgo de lesión ya es bastante importante.

Por último, se considera interesante comparar la probabilidad de lesión del conductor que recibe el impacto, respecto de la probabilidad de sufrir lesión que tiene el conductor que genera el impacto.

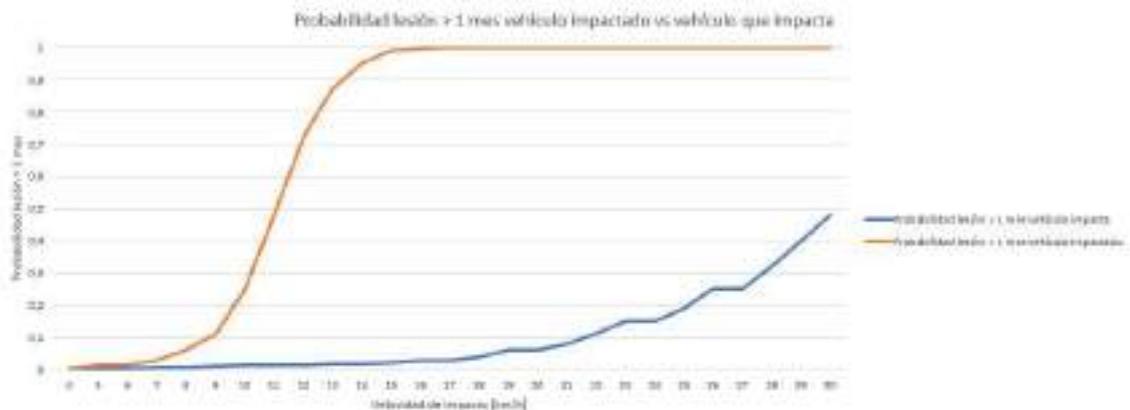


Gráfico 3: Probabilidad de sufrir una lesión del conductor que recibe el impacto vs vehículo que impacta modelo choque elástico

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

Esta diferencia entre ambas probabilidades de lesión se debe sobre todo al hecho de que el conductor que recibe el impacto suele pillarle desprevenido por lo que su musculatura de la zona del cuello no se encuentra tensa sufriendo más fácilmente una lesión. Por el contrario, el conductor que genera el impacto suele ser consciente de que se va a producir el choque antes de que éste tenga lugar, pudiendo, por tanto, prepararse para el mismo, tensando la musculatura.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### 1.3.4 Modelo choque inelástico

#### 1.3.4.1 Datos o inputs requeridos

Hasta ahora el cálculo que realiza el modelo se basa en la consideración del choque como plenamente elástico, es decir, no interviene deformación ninguna. Aunque en los choques a baja velocidad esta consideración puede ser razonable, un cálculo más preciso debería considerar también la energía que se pierde al deformar alguno de los vehículos. Una vez impactan, parte de la energía cinética que llevaban los vehículos es empleada en deformarlos. De igual forma, parte de esta energía es disipada en forma de calor a través del rozamiento con el asfalto. En este caso, la energía cinética inicial diferirá de la final. A continuación, se exponen las consideraciones más relevantes asociadas al modelo de choque inelástico, aunque debe tenerse en cuenta que son los mismos razonamientos contenidos en el apartado correspondiente sobre fundamentos físicos. Se ha decidido repetir esta información para ayudar a la comprensión del lector.

$$\text{Energía cinética inicial} = \text{Energía cinética final} + E_{\text{deformación}}$$

Para contabilizar esta parte de energía que no interviene en la modificación de la velocidad de los vehículos se define el coeficiente de restitución [19]:

$$e = -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}$$

Siendo:

*e*: Coeficiente de restitución

En un choque plenamente elástico, el coeficiente de restitución tomará el valor 1, mientras que, en un choque perfectamente inelástico, su valor será 0.

Dado que el coeficiente de restitución se calcula como función de la velocidad inicial del vehículo que impacta, los inputs que el modelo necesita son exactamente los mismos que se empleaban en el modelo de choques elásticos: velocidades iniciales, pesos y tiempo de impacto.

Modelo choque inelástico

Datos vehículo que impacta

Masa [kg]: 1

Velocidad inicial [km/h]:

Datos vehículo impactado

Masa [kg]:

Velocidad inicial [km/h]:

Tiempo de impacto [s]: (Valor normal: 0,075 s)

Insertar Cancelar

Ilustración 77: Formulario introducción datos para cálculo según choque inelástico

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### 1.3.4.2 Algoritmos

Los outputs del modelo serán exactamente los mismos que los del caso del choque elástico, pero interviniendo en este caso el coeficiente de restitución.

Partiendo de la conservación de cantidad de movimiento, válida tanto en choques inelásticos como en choques elásticos, y, conociendo la expresión del coeficiente de restitución, se procede a la determinación de la variación de velocidad que experimentan los vehículos tras el choque:

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$$

$$\Delta v_1 \cdot m_1 + \Delta v_2 \cdot m_2 = 0$$

Siendo:

$\Delta v_1$ : Variación de velocidad en m/s del vehículo que impacta

$\Delta v_2$ : Variación de velocidad en m/s del vehículo impactado

$$\Delta v_2 = \frac{(1 + e) \cdot m_1 \cdot (v_1 - v_2)}{m_2 + m_1}$$

$$\Delta v_1 = \frac{(1 + e) \cdot m_2 \cdot (v_2 - v_1)}{m_2 + m_1}$$

El problema que presenta este cálculo es la determinación del coeficiente de restitución. Dado que se ha definido en función de las velocidades iniciales y finales de ambos vehículos, y son precisamente estas velocidades las incógnitas, es necesario determinar el coeficiente de restitución siguiendo otro procedimiento.

La restitución está asociada al comportamiento elástico de los materiales durante el impacto, por este motivo, históricamente se ha relacionado con el grado de severidad del impacto [20]. En el año 1967, T. Sato desarrolló un modelo para el cálculo del coeficiente de restitución a partir de la velocidad de impacto [21]:

$$e = 0,574 \cdot e^{(-0,1419 \cdot v_1)}$$

Siendo:

$e$ : Coeficiente de restitución

$v_1$ : Velocidad inicial en m/s del vehículo que impacta

$e$ : Constante matemática  $e$

Durante los siguientes años los estudios se enfocaron más en choques de alta velocidad (a más de 25 km/h) asumiéndose la hipótesis de que la influencia del coeficiente de restitución podía

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

despreciarse. Kenneth L. Campbell desarrolló sus estudios sobre la energía de deformación (mirar 3.1.1.7.3).

A finales del siglo XX se retoma el estudio de los choques a baja velocidad, Denis Wood desarrolla un modelo teórico asemejando la estructura del coche durante la colisión a un tubo de paredes delgadas cerca de los límites críticos de pandeo [22]. Tras la realización de 121 ensayos con vehículos fabricados entre 1960 y 1990, su modelo indica que el coeficiente de restitución tiende a disminuir según aumenta la velocidad del impacto. A velocidades muy bajas el modelo de Wood no era muy significativo, por lo que en 1993 Howard desarrolla un estudio con velocidades inferiores a 12 km/h ajustando el modelo definido por Sato a una expresión exponencial de grado tres [23].

Más tarde, Vicent W. Antonetti basándose en el modelo de Wood, establece una nueva ecuación para la determinación del coeficiente de restitución, más ajustada [24]. Para su determinación realizó una muestra de 53 ensayos empleando 23 tipos de vehículo diferentes con unas velocidades de entre 2 y 32 km/h:

$$e = 0,5992 \cdot e^{(-0,2508 \cdot v_1 + 0,01934 \cdot v_1^2 - 0,001279 \cdot v_1^3)}$$

Por último, Aníbal O. García en el año 2003 sugiere una última corrección de los modelos propuestos anteriormente sugiriendo dos expresiones distintas según la velocidad a la que tenga lugar el choque [25]:

$$e = 0,45 \cdot e^{-0,145 \cdot v_1} \quad \text{para } v_1 < 15 \frac{m}{s}$$

$$e = 0,12 \cdot e^{-0,055 \cdot v_1} \quad \text{para } v_1 > 15 \frac{m}{s}$$

Se ha decidido implementar en el programa los tres modelos reseñados anteriormente, para obtener así diferentes resultados que sirvan para ser comparados entre sí. Dado que el coeficiente de restitución se calcula de forma empírica a través de fórmulas aproximadas no existe un resultado final único, sino que el resultado real podría estar comprendido entre los valores calculados por los diferentes modelos.

Conocida la variación de velocidad, así como la velocidad inicial (input del modelo) se puede calcular la velocidad final del vehículo. El resto de outputs del modelo se obtienen de igual forma que se explicó en el modelo de choque elástico.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Coeficiente de restitución (F. Saco)		0,32	Coeficiente de restitución (Antraxel)		0,27	Coeficiente de restitución (D. García)		0,25
<b>Resultados vehículo impacta (F. Saco)</b>			<b>Resultados vehículo impacta (Antraxel)</b>			<b>Resultados vehículo impacta (D. García)</b>		
Velocidad final [m/s]	1,34	[m/s]	1,59	[m/s]	1,85	[m/s]	1,85	[m/s]
Velocidad final [km/h]	4,83	[km/h]	5,67	[km/h]	6,70	[km/h]	6,70	[km/h]
Desplazamiento lateral [m]	-3,42	[m]	-2,50	[m]	-2,50	[m]	-2,50	[m]
Desplazamiento vertical [m]	-8,73	[m]	-6,40	[m]	-6,29	[m]	-6,29	[m]
Cantidad de movimiento lateral [kg·m/s]	6218,87	[kg·m/s]	6208,87	[kg·m/s]	6218,87	[kg·m/s]	6218,87	[kg·m/s]
Cantidad de movimiento frontal [kg·m/s]	2805,81	[kg·m/s]	2024,09	[kg·m/s]	2805,21	[kg·m/s]	2805,21	[kg·m/s]
Energía cinética lateral [Julios]	18288	[Julios]	13288	[Julios]	18288	[Julios]	18288	[Julios]
Energía cinética frontal [Julios]	2242	[Julios]	1592	[Julios]	2242	[Julios]	2242	[Julios]
Acceleración [m/s <sup>2</sup> ]	20,29	[m/s <sup>2</sup> ]	21,10	[m/s <sup>2</sup> ]	20,14	[m/s <sup>2</sup> ]	20,14	[m/s <sup>2</sup> ]
Acceleración [g]	2,09	[g]	2,17	[g]	2,05	[g]	2,05	[g]
Rango Inicial-Corriente [ms]	9,52	[ms]	9,52	[ms]	9,52	[ms]	9,52	[ms]
Intervalo de tiempo t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub> [ms]	29	[ms]	29	[ms]	29	[ms]	29	[ms]
<b>Resultados vehículo impactado (F. Saco)</b>			<b>Resultados vehículo impactado (Antraxel)</b>			<b>Resultados vehículo impactado (D. García)</b>		
Velocidad final [m/s]	3,07	[m/s]	2,56	[m/s]	2,90	[m/s]	2,90	[m/s]
Velocidad final [km/h]	11,06	[km/h]	9,23	[km/h]	10,44	[km/h]	10,44	[km/h]
Desplazamiento lateral [m]	-3,07	[m]	-2,50	[m]	-2,50	[m]	-2,50	[m]
Desplazamiento vertical [m]	14,29	[m]	20,48	[m]	16,44	[m]	16,44	[m]
Cantidad de movimiento lateral [kg·m/s]	0	[kg·m/s]	0	[kg·m/s]	0	[kg·m/s]	0	[kg·m/s]
Cantidad de movimiento frontal [kg·m/s]	2020,80	[kg·m/s]	2082,07	[kg·m/s]	2027,40	[kg·m/s]	2027,40	[kg·m/s]
Energía cinética lateral [Julios]	0	[Julios]	0	[Julios]	0	[Julios]	0	[Julios]
Energía cinética frontal [Julios]	5725	[Julios]	5708	[Julios]	5725	[Julios]	5725	[Julios]
Acceleración [m/s <sup>2</sup> ]	40,51	[m/s <sup>2</sup> ]	20,29	[m/s <sup>2</sup> ]	38,40	[m/s <sup>2</sup> ]	38,40	[m/s <sup>2</sup> ]
Acceleración [g]	4,17	[g]	2,07	[g]	3,94	[g]	3,94	[g]
Rango Inicial-Corriente [ms]	17,63	[ms]	20,82	[ms]	18,20	[ms]	18,20	[ms]
Intervalo de tiempo t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub> [ms]	29	[ms]	29	[ms]	29	[ms]	29	[ms]

Tabla 9: Resultados obtenidos por el modelo de choques inelástico

### 1.3.4.3 Implantación final

Una vez introducidos los datos a través del formulario, éstos se almacenan en la pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos* ordenándolos y asignándoles una etiqueta. También los resultados obtenidos a partir de estos datos iniciales se ordenan en la misma pestaña con sus etiquetas correspondientes.

```
'Copia de datos en pestaña Auxiliar_recogida_datos

Sheets("Choque_inelastico").Select
Range("C4").Select
Selection.Copy
Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Select
Range("I2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
```

Código 14: Copia datos modelo inelástico en pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos*

Una vez se pulsa el botón de Insertar en el formulario de introducción de datos, el programa recoge esta información de la pestaña *Choque\_inelástico*, la copia y la pega en la pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos*. Como se explicó anteriormente, las dos últimas líneas de código indican que se debe pegar únicamente el número copiado, sin formato y sin fórmulas asociadas. Esta misma operación se realiza con toda la información asociada al choque obteniendo un listado de los resultados con sus etiquetas correspondientes:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Choque inelástico	[tipo_calculo]
1540	[masa_1]
15	[velocidad_i_1]
1216	[masa_2]
0	[velocidad_i_2]
0,075	[tiempo_impacto]
0,32	[coef_restitucion_sato]
1,74	[velocidad_f_1_ms_sato]
6,28	[velocidad_f_1_kmh_sato]
-2,42	[decremento_v_1_ms_sato]
-8,72	[decremento_v_1_kmh_sato]
6416,67	[cantidad_movimiento_i_1_sato]
2685,81	[cantidad_movimiento_f_1_sato]
13368,06	[energia_cinetica_i_1_sato]
2342,07	[energia_cinetica_f_1_sato]
32,30	[aceleracion_1_ms2_sato]
3,29	[aceleracion_1_g_sato]
9,50	[nic_1_sato]
0,02	[probabilidad_lesion_1_sato]
3,07	[velocidad_f_2_ms_sato]
11,05	[velocidad_f_2_kmh_sato]
3,07	[decremento_v_2_ms_sato]
11,05	[decremento_v_2_kmh_sato]
0,00	[cantidad_movimiento_i_2_sato]
3730,86	[cantidad_movimiento_f_2_sato]
0,00	[energia_cinetica_i_2_sato]
5723,40	[energia_cinetica_f_2_sato]
40,91	[aceleracion_2_ms2_sato]
4,17	[aceleracion_2_g_sato]
17,60	[nic_2_sato]
0,25	[probabilidad_lesion_2_sato]
0,27	[coef_restitucion_antonetti]
1,83	[velocidad_f_1_ms_antonetti]
6,60	[velocidad_f_1_kmh_antonetti]
-2,33	[decremento_v_1_ms_antonetti]
-8,40	[decremento_v_1_kmh_antonetti]
6416,67	[cantidad_movimiento_i_1_antonetti]
2824,59	[cantidad_movimiento_f_1_antonetti]
13368,06	[energia_cinetica_i_1_antonetti]
2590,37	[energia_cinetica_f_1_antonetti]
31,10	[aceleracion_1_ms2_antonetti]
3,17	[aceleracion_1_g_antonetti]
9,58	[nic_1_antonetti]
0,02	[probabilidad_lesion_1_antonetti]
2,95	[velocidad_f_2_ms_antonetti]

Tabla 10: Información obtenida sobre el choque inelástico con sus etiquetas asociadas

Se ha dispuesto la información de esta manera para posteriormente poder automatizar el proceso de creación de un informe con los resultados de igual forma que se hizo con el modelo de choque elástico. Para ello se ha creado una plantilla con las etiquetas correspondientes que deberán ser sustituidas por el número final.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### Reconstrucción accidente de tráfico basado en cálculos según el modelo de [tipo calculo]

#### Datos:

El vehículo que origina el choque tiene una masa de [masa\_1] kg y circulaba a una velocidad de [velocidad\_i\_1] km/h.

El vehículo que recibe el impacto tiene una masa de [masa\_2] kg y circulaba en el momento del impacto a una velocidad de [velocidad\_i\_2] km/h.

Se estima que el choque entre ambos vehículos tiene una duración de [tiempo impacto] segundos, siendo éste un valor considerado razonable en choques a baja velocidad.

Resultados según modelo T.Sato: Coeficiente de restitución [coef restitucion sato]

Vehículo que origina el impacto:

Velocidad final [m/s]	[velocidad_f_1_ms_sato]
Velocidad final [km/h]	[velocidad_f_1_kmh_sato]
Decremento velocidad [m/s]	[decremento_v_1_ms_sato]
Decremento velocidad [km/h]	[decremento_v_1_kmh_sato]
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_i_1_sato]
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_f_1_sato]
Energía cinética inicial [Julios]	[energia_cinetica_i_1_sato]
Energía cinética final [Julios]	[energia_cinetica_f_1_sato]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	[aceleracion_1_ms2_sato]
Aceleración [g]	[aceleracion_1_g_sato]
Neck Injuri Criterion (NIC)	[nic_1_sato]
Probabilidad lesión > 1 mes	[probabilidad_lesion_1_sato]

Vehículo que recibe el impacto:

Velocidad final [m/s]	[velocidad_f_2_ms_sato]
Velocidad final [km/h]	[velocidad_f_2_kmh_sato]
Incremento velocidad [m/s]	[decremento_v_2_ms_sato]
Incremento velocidad [km/h]	[decremento_v_2_kmh_sato]
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_i_2_sato]
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_f_2_sato]
Energía cinética inicial [Julios]	[energia_cinetica_i_2_sato]
Energía cinética final [Julios]	[energia_cinetica_f_2_sato]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	[aceleracion_2_ms2_sato]
Aceleración [g]	[aceleracion_2_g_sato]
Neck Injuri Criterion (NIC)	[nic_2_sato]
Probabilidad lesión > 1 mes	[probabilidad_lesion_2_sato]

Ilustración 78: Plantilla para informe de recogida de resultados del choque según modelo inelástico parte 1

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Resultados según modelo Antonetti: Coeficiente de restitución [coef\_restitucion\_antonetti]

Vehículo que origina el impacto:

Velocidad final [m/s]	[velocidad_f_1_ms_antonetti]
Velocidad final [km/h]	[velocidad_f_1_kmh_antonetti]
Decremento velocidad [m/s]	[decremento_v_1_ms_antonetti]
Decremento velocidad [km/h]	[decremento_v_1_kmh_antonetti]
Cantidad de movimiento inicial [ <u>kg·m/s</u> ]	[cantidad_movimiento_i_1_antonetti]
Cantidad de movimiento final [ <u>kg·m/s</u> ]	[cantidad_movimiento_f_1_antonetti]
Energía cinética inicial [Julios]	[energia_cinetica_i_1_antonetti]
Energía cinética final [Julios]	[energia_cinetica_f_1_antonetti]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	[aceleracion_1_ms2_antonetti]
Aceleración [g]	[aceleracion_1_g_antonetti]
<u>Neck Injuri Criterion (NIC)</u>	[nic_1_antonetti]
Probabilidad lesión > 1 mes	[probabilidad_lesion_1_antonetti]

Vehículo que recibe el impacto:

Velocidad final [m/s]	[velocidad_f_2_ms_antonetti]
Velocidad final [km/h]	[velocidad_f_2_kmh_antonetti]
Incremento velocidad [m/s]	[decremento_v_2_ms_antonetti]
Incremento velocidad [km/h]	[decremento_v_2_kmh_antonetti]
Cantidad de movimiento inicial [ <u>kg·m/s</u> ]	[cantidad_movimiento_i_2_antonetti]
Cantidad de movimiento final [ <u>kg·m/s</u> ]	[cantidad_movimiento_f_2_antonetti]
Energía cinética inicial [Julios]	[energia_cinetica_i_2_antonetti]
Energía cinética final [Julios]	[energia_cinetica_f_2_antonetti]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	[aceleracion_2_ms2_antonetti]
Aceleración [g]	[aceleracion_2_g_antonetti]
<u>Neck Injuri Criterion (NIC)</u>	[nic_2_antonetti]
Probabilidad lesión > 1 mes	[probabilidad_lesion_2_antonetti]

Ilustración 79: Plantilla para informe de recogida de resultados del choque según modelo inelástico parte 2

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Resultados según modelo O. Garcia: Coeficiente de restitución [coef\_restitucion\_garcia]

Vehículo que origina el impacto:

Velocidad final [m/s]	[velocidad_f_1_ms_garcia]
Velocidad final [km/h]	[velocidad_f_1_kmh_garcia]
Decremento velocidad [m/s]	[decremento_v_1_ms_garcia]
Decremento velocidad [km/h]	[decremento_v_1_kmh_garcia]
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_i_1_garcia]
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_f_1_garcia]
Energía cinética inicial [Julios]	[energia_cinetica_i_1_garcia]
Energía cinética final [Julios]	[energia_cinetica_f_1_garcia]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	[aceleracion_1_ms2_garcia]
Aceleración [g]	[aceleracion_1_g_garcia]
<u>Neck Injuri Criterion (NIC)</u>	[nic_1_garcia]
Probabilidad lesión > 1 mes	[probabilidad_lesion_1_garcia]

Vehículo que recibe el impacto:

Velocidad final [m/s]	[velocidad_f_2_ms_garcia]
Velocidad final [km/h]	[velocidad_f_2_kmh_garcia]
Incremento velocidad [m/s]	[decremento_v_2_ms_garcia]
Incremento velocidad [km/h]	[decremento_v_2_kmh_garcia]
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_i_2_garcia]
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	[cantidad_movimiento_f_2_garcia]
Energía cinética inicial [Julios]	[energia_cinetica_i_2_garcia]
Energía cinética final [Julios]	[energia_cinetica_f_2_garcia]
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	[aceleracion_2_ms2_garcia]
Aceleración [g]	[aceleracion_2_g_garcia]
<u>Neck Injuri Criterion (NIC)</u>	[nic_2_garcia]
Probabilidad lesión > 1 mes	[probabilidad_lesion_2_garcia]

Ilustración 80: Plantilla para informe de recogida de resultados del choque según modelo inelástico parte 3

De esta forma, una vez introducidos los datos en el formulario:

Ilustración 81: Introducción datos modelo choque inelástico

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Tras el proceso de pasar toda la información a la pestaña *Auxiliar\_recogida\_datos* y asignarles su correspondiente etiqueta, se procede a generar el informe gracias al código siguiente:

```
'Generación informe en Word

'Selec un archivo localizado en el directorio C:\ con nombre igual al texto contenido en C1 y extensión de Microsoft Word
wArch = Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("C3").Text & Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("C9").Text & ".docx"
'Se indica al programa que se va a trabajar con un documento de Word y se activa el objeto correspondiente
Set objWord = CreateObject("Word.Application")
objWord.Visible = True
'Se crea un documento nuevo a partir de la plantilla seleccionada anteriormente
objWord.Documents.Add Template="blank, NewTemplate:=False, DocumentType:=0
'Se utiliza un for para recorrer las columnas I y J
'En G1 se recoge la cantidad total de celdas que contengan información
For i = 1 To Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("K1").Value
'Celda donde se encuentran las etiquetas que deben ser localizadas en la plantilla Word
datos = Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("F" & i).Text
'Celda que contiene los datos asociados a las etiquetas
reemp = Sheets("Auxiliar_recogida_datos").Range("I" & i).Text
'Utilización de buses y remplazos en el documento de Word
With objWord.Selection.Find
    .Text = datos 'Se busca la etiqueta almacenada en datos
    .Replacement.Text = reemp 'Se sustituye esta etiqueta por los datos asociados a ella
    .Execute Replace:=1 'Sustituye todas las etiquetas iguales por su correspondiente dato asociado
End Find
Next i
objWord.Activate 'Mueve al documento Word
```

*Código 15: Generación automática informe choque inelástico*

Se trata de un código semejante al empleado para la generación del informe de recogida de datos. Obteniendo como resultado final el siguiente informe:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### Reconstrucción accidente de tráfico basado en cálculos según el modelo de Choque inelástico

#### Datos:

El vehículo que origina el choque tiene una masa de **1540 kg** y circulaba a una velocidad de **15 km/h**.

El vehículo que recibe el impacto tiene una masa de **1216 kg** y circulaba en el momento del impacto a una velocidad de **0 km/h**.

Se estima que el choque entre ambos vehículos tiene una duración de **0,075 segundos**, siendo éste un valor considerado razonable en choques a baja velocidad.

Resultados según modelo T.Sato: Coeficiente de restitución **0,32**

Vehículo que origina el impacto:

Velocidad final [m/s]	1,74
Velocidad final [km/h]	6,28
Decremento velocidad [m/s]	-2,42
Decremento velocidad [km/h]	-8,72
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	6416,67
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	2685,81
Energía cinética inicial [Julios]	13368,06
Energía cinética final [Julios]	2342,07
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	32,30
Aceleración [g]	3,29
Neck Injuri Criterion (NIC)	9,50
Probabilidad lesión > 1 mes	0,02

Vehículo que recibe el impacto:

Velocidad final [m/s]	3,07
Velocidad final [km/h]	11,05
Incremento velocidad [m/s]	3,07
Incremento velocidad [km/h]	11,05
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	0,00
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	3730,86
Energía cinética inicial [Julios]	0,00
Energía cinética final [Julios]	5723,40
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	40,91
Aceleración [g]	4,17
Neck Injuri Criterion (NIC)	17,60
Probabilidad lesión > 1 mes	0,25

Ilustración 82: Informe final choque inelástico parte 1

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Resultados según modelo Antonetti: Coeficiente de restitución 0,27

Vehículo que origina el impacto:

Velocidad final [m/s]	1,83
Velocidad final [km/h]	6,60
Decremento velocidad [m/s]	-2,33
Decremento velocidad [km/h]	-8,40
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	6416,67
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	2824,59
Energía cinética inicial [Julios]	13368,06
Energía cinética final [Julios]	2590,37
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	31,10
Aceleración [g]	3,17
Neck Injuri Criterion (NIC)	9,58
Probabilidad lesión > 1 mes	0,02

Vehículo que recibe el impacto:

Velocidad final [m/s]	2,95
Velocidad final [km/h]	10,63
Incremento velocidad [m/s]	2,95
Incremento velocidad [km/h]	10,63
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	0,00
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	3592,07
Energía cinética inicial [Julios]	0,00
Energía cinética final [Julios]	5305,51
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	39,39
Aceleración [g]	4,01
Neck Injuri Criterion (NIC)	16,60
Probabilidad lesión > 1 mes	0,19

Ilustración 83: Informe final choque inelástico parte 2

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Resultados según modelo O. Garcia: Coeficiente de restitución 0,25

Vehículo que origina el impacto:

Velocidad final [m/s]	1,88
Velocidad final [km/h]	6,75
Decremento velocidad [m/s]	-2,29
Decremento velocidad [km/h]	-8,25
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	6416,67
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	2889,22
Energía cinética inicial [Julios]	13368,06
Energía cinética final [Julios]	2710,26
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	30,54
Aceleración [g]	3,11
Neck Injuri Criterion (NIC)	9,63
Probabilidad lesión > 1 mes	0,02

Vehículo que recibe el impacto:

Velocidad final [m/s]	2,90
Velocidad final [km/h]	10,44
Incremento velocidad [m/s]	2,90
Incremento velocidad [km/h]	10,44
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	0,00
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	3527,45
Energía cinética inicial [Julios]	0,00
Energía cinética final [Julios]	5116,31
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	38,68
Aceleración [g]	3,94
Neck Injuri Criterion (NIC)	16,15
Probabilidad lesión > 1 mes	0,15

Ilustración 84: Informe final choque inelástico parte 3

Al igual que en el modelo del choque elástico, con el fin de dotar al perito de información útil, el programa no se limita a realizar los cálculos mostrados, también genera de forma automática una serie de gráficos y tablas comparativas que pueden resultar interesantes.

Para entender cómo varía el NIC en función de la velocidad del vehículo que impacta y el coeficiente de restitución, se genera un gráfico.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad



Gráfico 4: NIC en función de la velocidad inicial y el coeficiente de restitución modelo choque inelástico

Se observa como a medida que el coeficiente de restitución aumenta, la violencia del choque expresada a través del NIC va en aumento. Parece lógico pues a mayor coeficiente de restitución, más se aproxima a un choque elástico en el que no se disipa energía en forma de deformaciones. Del mismo modo, tal y como cabe esperar, según aumenta la velocidad inicial del coche que impacta, el NIC va en aumento.

El NIC es un valor muy utilizado, pero tiene el problema de que no muestra de forma directa la gravedad del choque, para solventar esto, se genera, siguiendo el mismo formato, un gráfico que muestre la probabilidad de lesión en función de la velocidad y el coeficiente de restitución.



Gráfico 5: Probabilidad de lesión de duración más de 1 mes según velocidad (4-12km/h) y coeficiente de restitución modelo choque inelástico

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

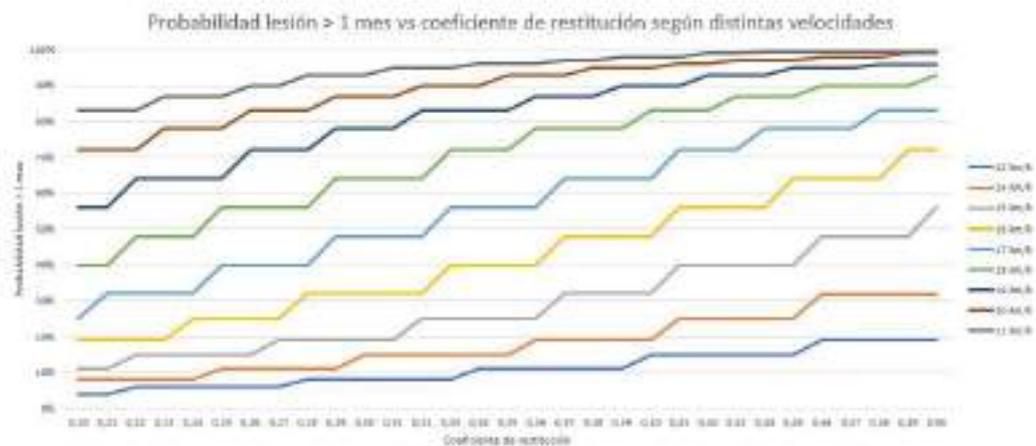
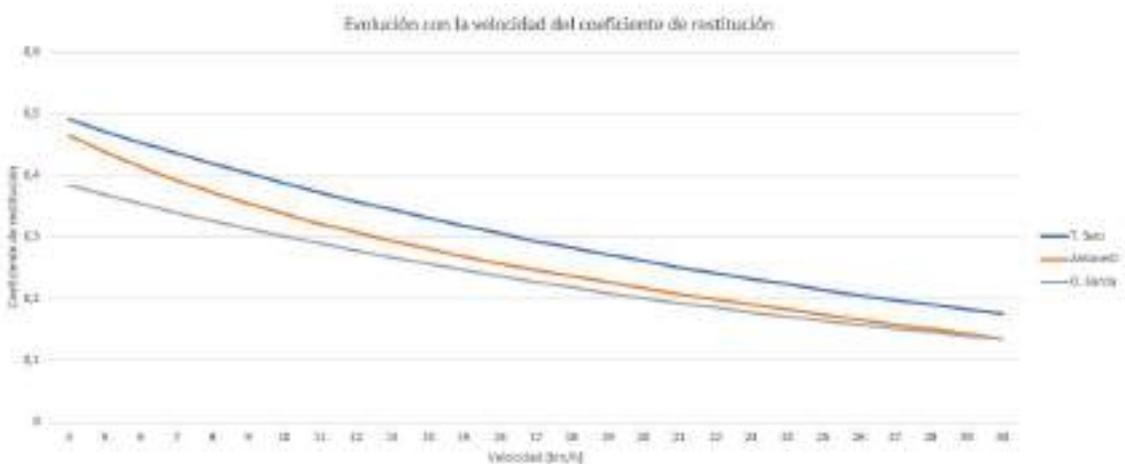


Gráfico 6: Probabilidad de lesión de duración más de 1 mes según velocidad (13-21km/h) y coeficiente de restitución modelo choque inelástico

A mayor coeficiente de restitución, mayor probabilidad de lesión, pues menor cantidad de energía se disipa en deformaciones y, por tanto, mayor cantidad de energía contribuye al cambio de energía cinética. Es interesante observar, cómo la probabilidad de lesión a mismas velocidades que con el modelo de choque elástico, son mucho menores en el caso del choque inelástico. Un coeficiente de restitución de 0,3 indica que solo el 30% de la energía del choque es empleado en modificar la energía cinética de los vehículos, que es la parte peligrosa, el otro 70% se perderá en deformaciones o en forma de calor.

Se han empleado tres métodos distintos para la determinación del coeficiente de restitución, a continuación, se compara el valor de este coeficiente según la velocidad y el método empleado para su cálculo.



A elevadas velocidades, el coeficiente obtenido por los métodos de Antonetti y O. García es prácticamente el mismo. Sin embargo, el método de T. Sato siempre da un valor mayor que cualquiera de los otros dos métodos. Por este motivo, será el método que dé lugar a mayores probabilidades de lesión.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.3.5 Diferencias entre métodos***

La diferencia fundamental entre ambos métodos es la presencia en el segundo del coeficiente de restitución. Como se observa en el apartado correspondiente, para la velocidad de impacto inicial que se ha tomado como ejemplo (15 km/h) el coeficiente de restitución calculado por los tres métodos está próximo a 0,3. Lo que esto indica es que el 70% de la energía total interviniente en el impacto se pierde, bien para generar deformaciones, o bien en forma de calor.

Quizá en impactos a alta velocidad donde las deformaciones son importantes, podría considerarse razonable este valor, sin embargo, en impactos a bajas velocidades donde muchas veces ni si quiera se producen deformaciones visibles, suponer una pérdida del 70% de la energía total parece exagerado.

Por otro lado, considerar el choque plenamente elástico tampoco parece la solución más real puesto que durante el proceso de frenado hay parte de la energía cinética inicial que llevaba el coche que origina el impacto que se pierde en forma de calor, al desgastarse los neumáticos contra el asfalto.

Dado que no existe una solución perfecta, lo más razonable sería utilizar los dos métodos de cálculo, el choque elástico y el inelástico y suponer los valores finales en un punto intermedio entre las dos soluciones obtenidas.

***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.4 Análisis de resultados***

#### ***1.4.1 Aplicación a un caso real***

Con el fin de poner a prueba el modelo desarrollado, se empleará para la elaboración de un informe pericial en respuesta a un caso real. Se trata de un accidente de tráfico que tuvo lugar el 8 de abril de 2015. Se toma un caso antiguo por poder contar con el informe pericial de las dos partes implicadas, sirviendo estos como modelo y base para comparar los resultados.



*Ilustración 85: Portada informe pericial de la primera parte implicada*

El informe se refiere a un accidente de circulación en el que un AUDI A3 es alcanzado por un CITROEN C4. El conductor del AUDI A3 se encontraba detenido en el acceso a una rotonda en la Avenida de Calatalifa de la localidad de Villaviciosa de Odón, cediendo el paso a los vehículos que se encontraban circulando por la misma, cuando es alcanzado por el CITROEN C4.



*Ilustración 86: Lugar del accidente*

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.4.1.1 Informe pericial de la aseguradora***

El conductor del AUDI A3 reclama a su seguro por sufrir lesiones en la zona cervical a raíz del impacto recibido. Ante la negativa del seguro de reconocer esta lesión se inicia un procedimiento judicial. La aseguradora presenta un informe defendiendo la imposibilidad de haber sufrido una lesión por tratarse de un accidente a muy baja velocidad. En concreto su línea argumental es la siguiente:

- El vehículo que origina el impacto, en este caso el CITROEN C4 no presenta daños estructurales ni internos, simplemente pequeñas rozaduras. Se adjunta una fotografía ilustrativa (aunque con muy mala calidad por lo que cabría plantearse si es una prueba válida)



*Ilustración 87: Fotografía parte delantera Citroen C4 que origina el impacto*

- El vehículo que recibe el impacto, en este caso el AUDI A3 presenta daños muy leves en su parte trasera con una pequeña rotura en la zona izquierda

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad



Ilustración 88: Fotografía parte trasera Audi A3 que recibe el impacto

- Los daños son tan leves que puede considerarse que la variación de velocidad tras el impacto no supera los 4 km/h
- Calcula el incremento de velocidad que sufre el vehículo que recibe el impacto a partir de las siguientes fórmulas:

$$\Delta V_A = (1 + e) \cdot \left( \frac{m_B}{m_A + m_B} \right)$$

$$\Delta V_B = (1 + e) \cdot \left( \frac{m_A}{m_A + m_B} \right)$$

Considerando una masa del CITROEN C4 igual a 1317 kg (extraído de la hoja de características del coche), una masa del AUDI A3 de 1475 kg y choque elástico (coeficiente de restitución igual a 1) obtiene una variación de velocidad de:

Por tanto, para el caso que nos ocupa, tendremos que:

$$\Delta V_{\text{Audi A3}} = (1 + 1) \times (1317 / (1317 + 1475)) = 0,94 \text{ m/s} \Leftrightarrow 3,39 \text{ km/h} < 4 \text{ km/h}$$

Ilustración 89: Resultado cálculos peritaje aseguradora

Suponiendo un tiempo de impacto de 0,075 segundos la aceleración experimentada es:

$$a = \frac{V}{t} = \frac{4 \text{ km/h}}{0,075 \text{ s}} = \frac{0,94 \text{ m/s}}{0,075 \text{ s}} = 12,53 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,27 \text{ G}$$

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

- Conocidos estos resultados defiende que son valores extremadamente bajos como para poder justificar la lesión que afirma la afectada

Desde un punto de vista biomecánico algunos autores citan como elemento de importancia para provocar lesiones cervicales, la llamada «delta V», que correspondería al incremento de velocidad que se imprime a un raquis cervical bajo el cual no se pueden demostrar cambios morfológicos anatómicos. Este límite se establece en 8 km/h en las colisiones por alcance. En Alemania, por ejemplo, los Tribunales rechazan una relación de causalidad si el  $\Delta V$  está por debajo de los 10 km/h, presumiendo la causalidad si está entre los 10 y 30, y considerando una causalidad clara si es mayor de 30. Se hace necesario por tanto estudiar dicho incremento de velocidad.

Pero lo que provoca lesiones no es la velocidad en sí, sino la aceleración. Para que se produzca daño en partes blandas del cuello la aceleración debe ser mayor de 2,5 G (siendo G la fuerza de la gravedad), que es el umbral de lesión. Hay estudios que comparan las lesiones a baja velocidad, con las de los autos de choque, donde no se describen lesiones cervicales en vehículos con dispositivos de seguridad totalmente precarios o inexistentes y se alcanzan aceleraciones de hasta 5,5 G. Al toser soportamos 3,5 G y al estornudar hasta 2,9 G.

*Ilustración 90: Argumentos sobre límites razonables para producirse lesión*

- Concluyendo lo siguiente

La escasa entidad del impacto, a no ser que se acrediten nuevos datos, no justifica las lesiones ni el tratamiento realizado, tratándose de datos clínicos subjetivos, pues aunque se detectan contracturas musculares, pueden ser achacables a múltiples causas distintas del accidente que refiere, resultando compatibles con la sobrecarga de las actividades de la vida diaria, malas posturas, cambios climáticos, determinadas actividades laborales, etc. Por otra parte, y dadas las características referidas del accidente y la inespecificidad y etiología multifactorial de la sintomatología alegada, este perito, en base a toda la documentación examinada, dispone de información suficiente para conocer que la intensidad del impacto sufrido no alcanzó el umbral considerado como potencialmente lesivo capaz de causar las lesiones atribuidas al mismo.

*Ilustración 91: Conclusiones del informe pericial aseguradora*

### **1.4.1.2 Informe pericial empleando modelo desarrollado en este proyecto**

Conocido el informe pericial elaborado por la aseguradora, supongamos que un perito ingeniero que dispone de la información y el programa elaborado en este documento recibe el encargo de elaborar un contrainforme.

Lo primero que le llamará la atención es el hecho de que el informe previo asegure que el impacto produce una variación de velocidad menor a 4 km/h o muy cercano. El artículo nº 42 del Reglamento sobre Homologación de Vehículos, en relación con los elementos de protección delanteros y traseros, establece que deben ser capaces de soportar un impacto a 4 km/h sin sufrir ningún tipo de deformación permanente. De la misma forma, diversa normativa europea contempla también esta situación fijando en 4 km/h el límite que debe soportar la carrocería del coche sin deformarse, siendo este tipo de impactos los típicos que tienen lugar aparcando. Observando la fotografía del AUDI A3 que presenta una clara rotura en el paragolpes trasero,

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

cabría asegurar que la variación de velocidad presente en el accidente supera claramente los 4 km/h.

También deberá llamarle la atención el hecho de que, para calcular el incremento de velocidad, en ningún caso se requiera conocer la velocidad inicial. La fórmula empleada para la determinación de esta variación se obtiene de la conservación de la cantidad de movimiento junto con la conservación de la energía cinética. Particularizando para el caso de que uno de los vehículos está parado, las fórmulas de variación de velocidad resultantes son las siguientes (información contenida en el apartado *1.1.1.7 Fundamentos físicos detrás de los accidentes*):

$$\Delta v_2 = \frac{(1 + e) \cdot m_1 \cdot (v_1 - v_2)}{m_2 + m_1}$$

$$\Delta v_1 = \frac{(1 + e) \cdot m_2 \cdot (v_2 - v_1)}{m_2 + m_1}$$

Se confirma por tanto que las fórmulas empleadas en el informe pericial anterior no son correctas pues “olvidan” la necesidad de introducir la velocidad inicial de ambos vehículos. Llegados a este punto, para la correcta utilización del modelo desarrollado en este proyecto se precisa establecer una velocidad inicial de impacto. Para fijar una velocidad razonable se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Dado que muchos vehículos soportan choques de hasta 8 km/h sin sufrir deformaciones ni roturas, y en este caso, el AUDI A3 sí que ha sufrido una rotura se puede considerar razonable una velocidad de impacto superior a los 8 km/h
- El AUDI A3 recibe el impacto en la parte trasera izquierda, el hecho de que el impacto no sea centrado indica que hubo intento de esquivar por parte del conductor del CITROEN. Para que un conductor se plantee este tipo de maniobra, debe percibir como inevitable frenar a tiempo presumiéndose por tanto una velocidad elevada

Teniendo en cuenta estas consideraciones, así como la imposibilidad de afirmar con rotundidad la velocidad a la que se produjo el choque, se opta por presentar tres resultados distintos a 10, 15 y 20 km/h para tener una idea aproximada de la posibilidad de sufrir una lesión asociada a cada una de estas velocidades. Parece razonable, e incluso recomendable presentarle al juez la situación tal y como es, sin ocultar las posibles incertidumbres asociadas.

Al ser muy limitadas las deformaciones producidas se empleará el modelo de choque elástico.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Ilustración 92: Introducción información en modelo choque elástico

Obteniendo como resultados:

### Reconstrucción accidente de tráfico basado en cálculos según el modelo de Choque elástico

#### Datos:

El vehículo que origina el choque tiene una masa de 1317 kg y circulaba a una velocidad de 10 km/h.

El vehículo que recibe el impacto tiene una masa de 1475 kg y circulaba en el momento del impacto a una velocidad de 0 km/h.

Se estima que el choque entre ambos vehículos tiene una duración de 0,075 segundos, siendo éste un valor considerado razonable en choques a baja velocidad.

#### Resultados:

Vehículo que origina el impacto:

Velocidad final [m/s]	-0,16
Velocidad final [km/h]	-0,57
Decremento velocidad [m/s]	-2,93
Decremento velocidad [km/h]	-10,57
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	3658,33
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	-207,03
Energía cinética inicial [Julios]	5081,02
Energía cinética final [Julios]	16,27
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	39,13
Aceleración [g]	3,99
Neck Injuri Criterion (NIC)	7,85
Probabilidad lesión > 1 mes	0,02

Vehículo que recibe el impacto:

Velocidad final [m/s]	2,62
Velocidad final [km/h]	9,43
Incremento velocidad [m/s]	2,62
Incremento velocidad [km/h]	9,43
Cantidad de movimiento inicial [kg·m/s]	0,00
Cantidad de movimiento final [kg·m/s]	3865,36
Energía cinética inicial [Julios]	0,00
Energía cinética final [Julios]	5064,75
Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	34,94
Aceleración [g]	3,56
Neck Injuri Criterion (NIC)	13,86
Probabilidad lesión > 1 mes	0,08

Ilustración 93: Resultado modelo choque elástico a 10 km/h

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Tras repetir los cálculos a distintas velocidades se puede obtener una curva que relacione a distintas velocidades la probabilidad de sufrir una lesión:

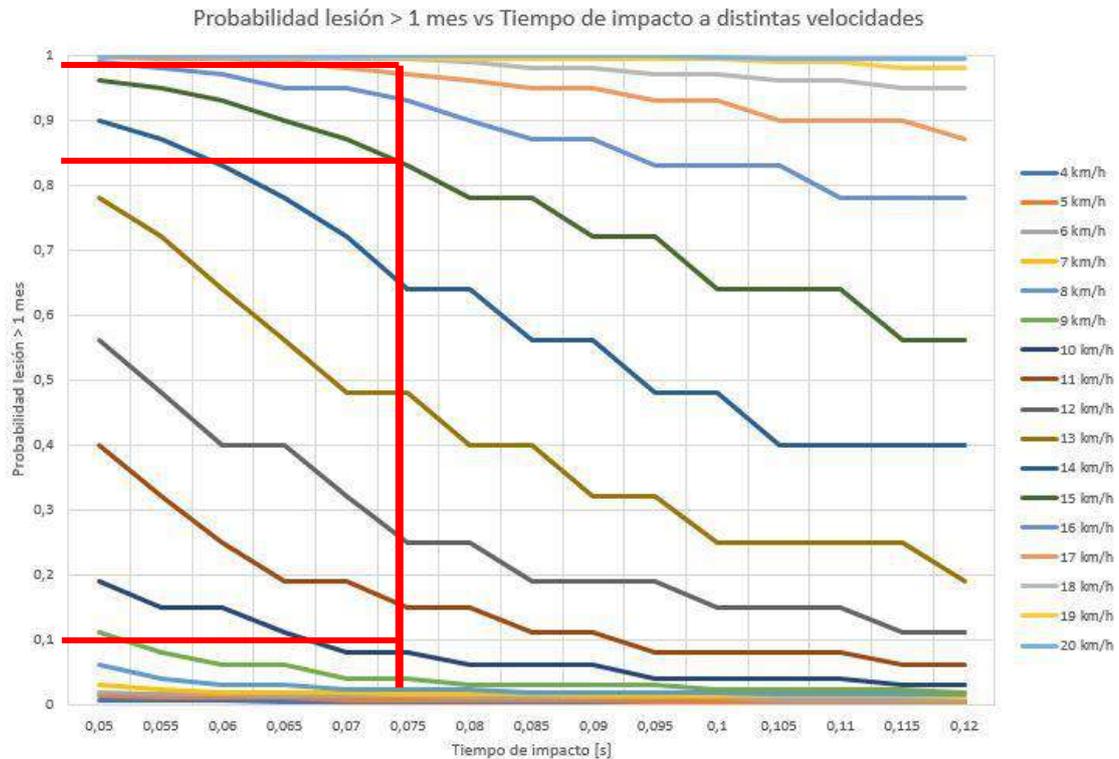


Gráfico 7: Probabilidad de sufrir una lesión a distintas velocidades

Como se observa en la gráfica, la probabilidad de lesión aumenta considerablemente desde cerca de un 10% a 10 km/h pasando por el 85% a 15 km/h hasta llegar prácticamente al 100% a 20 km/h. Es cierto que se desconoce con exactitud la velocidad a la que tuvo lugar el choque, sin embargo, los argumentos ya expuestos permiten afirmar que fue a una velocidad superior a los 10 km/h e incluso por encima.

Parecería razonable por tanto confiar en la palabra del conductor que recibe el impacto cuando asegura haber sufrido una lesión.

***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.5 Problemática encontrada y soluciones alternativas***

Quedan claras las limitaciones que presentan los modelos de reconstrucción de accidentes basados en algoritmos que se apoyan en ecuaciones físicas. Es cierto que la física permite comprender todo el proceso de choque, el problema es llegar a conocer los parámetros con los que alimentar el modelo. Alguno de los datos fundamentales que permiten el desarrollo del modelo siempre deben ser estimados por el perito, esto es un problema pues no tiene por qué existir unanimidad en la estimación de estos valores. Es precisamente esta la razón por la que suelen encargarse contrainformes para desacreditar lo que un perito afirma sobre un accidente.

Considerando el enorme avance de la tecnología durante los últimos años, la solución es bastante sencilla. Si existen relojes inteligentes que miden tus pulsaciones de forma constante, ¿por qué no monitorizar de forma similar la velocidad de un coche? De esta forma no cabría duda sobre los inputs que deben alimentar los modelos de reconstrucción y la incertidumbre se vería enormemente disminuida. De hecho, esta tecnología de monitorización de vehículos lleva años instaurada en camiones y autobuses en forma de tacógrafo.

#### ***1.5.1 Tacógrafo***

El tacógrafo es un dispositivo de uso obligatorio en medios de transporte con capacidad para 9 o más personas (incluyendo al conductor) así como vehículos con un peso mayor a las 3,5 toneladas. Cada conductor dispone de una tarjeta que debe ser introducida en el tacógrafo para identificarse como conductor. Una vez introducida la tarjeta, el tacógrafo monitoriza la actividad del vehículo almacenando toda la información. De esta forma se controla que los conductores tomen descansos cada cierto tiempo, evitando así posibles accidentes por cansancio. También controla la velocidad del vehículo y almacena información sobre deceleraciones fuertes. Precisamente esta última es información que podría resultar muy relevante para el proceso de peritaje.

La obligatoriedad de estos dispositivos se basa en controlar de forma estricta los comportamientos de conductores que tienen bajo su responsabilidad un elevado número de pasajeros, o que conducen vehículos de elevado tonelaje.



*Ilustración 94: Tacógrafo digital*

No solo el tacógrafo recoge información relevante, sino que los vehículos modernos contienen infinidad de acelerómetros y aparatos de medida para realizar acciones tales como la

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

apertura del airbag o la activación del ABS. El problema fundamental es que toda esta información se utiliza a tiempo real no quedando almacenada para su posterior análisis. Al mismo tiempo, no existe un consenso en cuanto al formato de dicha información, cada vehículo la genera y la utiliza de forma distinta sin existir un estándar. La Dirección General de Tráfico está estudiando la posibilidad de ampliar la obligatoriedad del tacógrafo a todo el parque de vehículos. Aunque su objetivo sea controlar la velocidad para evitar excesos y multar en caso de sobrepasar el máximo permitido, una vez instalados estos dispositivos, su utilidad podría extenderse a la del peritaje de accidentes [45].

### ***1.5.2 Event Data Recorder (EDR)***

Más enfocado a los accidentes de tráfico, y no únicamente al control de la velocidad como sucede con el tacógrafo, se ha desarrollado lo que se conoce como Event Data Recorder (EDR), un dispositivo que realiza la función de “caja negra” de los vehículos. Los más sencillos almacenan información sobre la aceleración y deceleración experimentada por el vehículo. Su funcionamiento es bastante sencillo, almacena información de los últimos 8 segundos de conducción, si nada relevante sucede (elevadas aceleraciones o deceleraciones) esos ocho segundos son sobrescritos por los ocho siguientes. Por el contrario, si durante el periodo de grabación se experimenta un cambio de aceleración (positiva o negativa) elevada, esta información contenida en esos ocho segundos de grabación es almacenada en el disco duro para poder ser consultada posteriormente. Al mismo tiempo, se graban seis segundos adicionales después de ese pico de aceleración [26].

Este tipo de dispositivos podría ser la solución perfecta al problema del peritaje de accidentes de tráfico. Al mismo tiempo, al disponer de un sistema estándar de recogida de estos datos, la acumulación de información puede ser muy enriquecedora para conocer posibles hábitos de conducción o incluso detectar problemas en el vehículo, revirtiendo siempre en una mejora de la seguridad. Si ya está desarrollada esta tecnología, ¿por qué aún no está implantada en el parque de vehículos a nivel global? Fundamentalmente se trata de un problema de privacidad. Los conductores en general no quieren que se monitorice su conducción de forma permanente, y ciertamente están en su derecho de pedir que se respete su privacidad.

Asociaciones de conductores temen que, en caso de promoverse la implantación de este tipo de dispositivos, los seguros comiencen a pedir como requisito imprescindible para aceptar nuevos clientes la implantación del EDR en el vehículo asegurado. Para la aseguradora supondría una forma sencilla y segura de conocer si el conductor asegurado ha cometido alguna imprudencia que pueda ser motivo suficiente como para perder la póliza. Además, las autoridades de tráfico podrían saber si en cualquier momento se ha sobrepasado la velocidad máxima permitida, pudiendo multar. Actualmente, al ser el vehículo propiedad del conductor, toda la información que se recoja sobre su conducción le pertenece y tiene el derecho a no querer revelarla. Nos encontramos por tanto con una situación compleja, por un lado, existe la tecnología para poner solución a los problemas actuales existentes en el campo del peritaje de accidentes, pero por otro lado no todas las partes implicadas están interesadas en poner solución a estos problemas.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

Habría que plantearse si es más importante la seguridad de los conductores, potenciada a través de estos sistemas de monitorización, o, por el contrario, prevalece el derecho a la privacidad. En EEUU ya están dando pasos hacia la implantación obligatoria de este tipo de dispositivos. Una solución intermedia, evitando la imposición obligatoria a todos los conductores, podría ser incentivar la instalación de este tipo de dispositivos a través de la reducción del impuesto de circulación, descuentos en combustible o la obtención de pólizas de seguro mucho más baratas.

### ***1.5.3 Cámaras para el vehículo***

Gracias a la aparición de cámaras de acción compactas tales como la Gopro, durante los últimos años ha aumentado el número de vehículos que las incorporan en sus salpicaderos. Inicialmente surgió como una forma de grabar ocasionalmente incidentes, para posteriormente poder colgarlos en internet. Se ponía la cámara a la espera de que algo especial sucediese con la suerte de poder captarlo en primicia. Dada la generalización de este tipo de prácticas, unido a la madurez del producto, lo cual permite conseguir precios cada vez menores, son varias las empresas que han desarrollado productos especialmente enfocados a su utilización en vehículos.

Garmin, empresa tecnológica nacida como proveedor de mapas de navegación ha introducido en el mercado sus nuevas *Dash Cam*. Se trata de pequeñas cámaras que se instalan en el salpicadero del vehículo de tal forma que tengan visión de lo que sucede frente al vehículo. Cada vez incorporan más funciones relacionadas con la seguridad como pueden ser avisos de tráfico, aviso de colisión si te aproximas demasiado al vehículo que te precede o incluso aviso de radares o de semáforos. Sin embargo, entre sus funciones más interesantes se encuentra la de grabación de incidentes. Los acelerómetros que incluye la cámara le indican cuándo se produce una deceleración brusca y la cámara comienza a grabar el incidente. Una vez detenido el vehículo la grabación se almacena en una tarjeta microSD pudiendo exportarse los datos a cualquier otro dispositivo.



*Ilustración 95: Garmin Dash Cam 65W [46]*

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***



*Ilustración 96: Información sobre Garmin Dash Cam 65W [46]*

Mientras los organismos legisladores se ponen de acuerdo para obligar a los fabricantes de coches a instalar dispositivos como el EDR, este tipo de cámaras de acción puede ser una solución interesante si se desea eliminar posibles incertidumbres derivadas de un accidente de tráfico. Aunque por ahora no almacenan información de velocidad, el disponer de un vídeo del accidente puede resultar muy interesante para el proceso de reconstrucción. En cualquier caso, hay que ser consciente de las limitaciones debido al campo de visión de la propia cámara, aunque disponen de lentes con un ángulo de visión de hasta 180°, una colisión lateral o trasera no podrá ser grabada.

### ***1.5.4 Aplicaciones móviles de medición de velocidad***

Actualmente los móviles son omnipresentes, rara es la persona que no va a todas partes con su smartphone. Una forma interesante de aprovechar estos dispositivos de cara a facilitar las tareas de peritaje en los accidentes de tráfico podría ser a través de las aplicaciones. Estos dispositivos cuentan con tecnología GPS, por lo que es relativamente sencillo medir a través de una aplicación la velocidad del coche.

De hecho, ya existen en el mercado varias herramientas que desarrollan una función similar a las del EDR monitorizando la velocidad del vehículo y guardando en la memoria del teléfono la información relevante cuando se detecta una variación importante de aceleración. Un ejemplo claro son las aplicaciones desarrolladas por AppAnnex, enfocadas a monitorizar el viaje.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***



*Ilustración 97: Speed Tracker desarrollada por AppAnnex*



*Ilustración 98: Car Camera DVR desarrollada por AppAnnex*

Speed Tracker es un medidor de velocidad que gracias al GPS del móvil permite seguir el trayecto del vehículo guardando permanentemente la información del viaje. Una vez finalizado, permite la exportación de los datos a otros dispositivos. Para cubrir otra necesidad relevante como es la grabación del trayecto, pudiendo servir como prueba en caso de accidente, existe Car Camera DVR. Ambas aplicaciones pueden obtenerse en pack en la Apple Store por un precio de 7,99€.

Para estudiar el potencial de estas dos aplicaciones se han realizado varios ensayos. En primer lugar, se ha realizado una ruta en coche:

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad



Ilustración 99: Ruta realizada en coche



Ilustración 100: Datos resumen de la ruta realizada en coche

Los datos que ofrece la aplicación son bastante exhaustivos, cubriendo distancia recorrida, velocidad media y máxima, duración del trayecto y tiempo de parada. Esta información, aunque interesante, no resulta relevante para el caso concreto de la monitorización útil en accidentes de tráfico. Sin embargo, esto no es todo lo que ofrece la app, entre otras cosas se pueden exportar los datos en formato CSV compatible con Microsoft Excel. Se obtiene así mucha información adicional.

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

Date	Time	Elapsed time	Speed (km/h)	Latitude	Longitude	Accuracy (meters)	Altitude	Altitude accuracy
23/05/2017	18:22:34 CEST	00:00	0	40,488233	-3,722741	10	676,248501	3
23/05/2017	18:22:36 CEST	00:02	0	40,488233	-3,722741	10	676,263638	3
23/05/2017	18:22:39 CEST	00:05	0	40,488233	-3,722741	10	675,901984	3
23/05/2017	18:22:42 CEST	00:08	0	40,488233	-3,722741	10	675,920742	3
23/05/2017	18:22:45 CEST	00:11	0	40,488233	-3,722741	10	676,036302	3
23/05/2017	18:22:47 CEST	00:13	0	40,488233	-3,722741	10	676,123989	3
23/05/2017	18:22:49 CEST	00:15	0	40,488233	-3,722741	10	676,125332	3
23/05/2017	18:22:52 CEST	00:18	0	40,488233	-3,722741	10	676,082973	3
23/05/2017	18:22:54 CEST	00:20	0	40,488233	-3,722741	10	676,060635	3
23/05/2017	18:22:57 CEST	00:22	0	40,488233	-3,722741	10	676,093146	3
23/05/2017	18:23:00 CEST	00:26	0	40,488233	-3,722741	10	676,034349	3

Ilustración 101: Parte de los datos de Speed Tracker exportados a Excel

La información ya se proporciona de forma ordenada, lista para generar gráficos o analizar cualquier incidencia relevante. Antes de analizar los resultados en detalle, debe hacerse notar dos limitaciones, en primer lugar, la aplicación almacena datos cada tres segundos. En accidentes a elevadas velocidades, tres segundos puede resultar excesivo si se desea una precisión elevada, sin embargo, para el caso de accidentes a baja velocidad, esta periodicidad puede ser suficiente. La segunda limitación es la impuesta por el propio GPS del móvil, aunque la tecnología GPS está cada vez más desarrollada, la precisión máxima es de 10 metros.

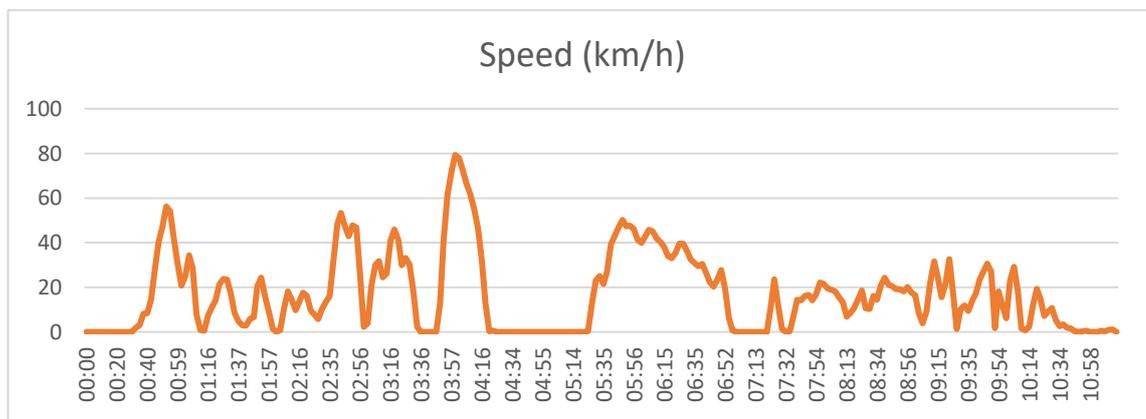


Ilustración 102: Gráfica de velocidad respecto del tiempo recorrido en coche

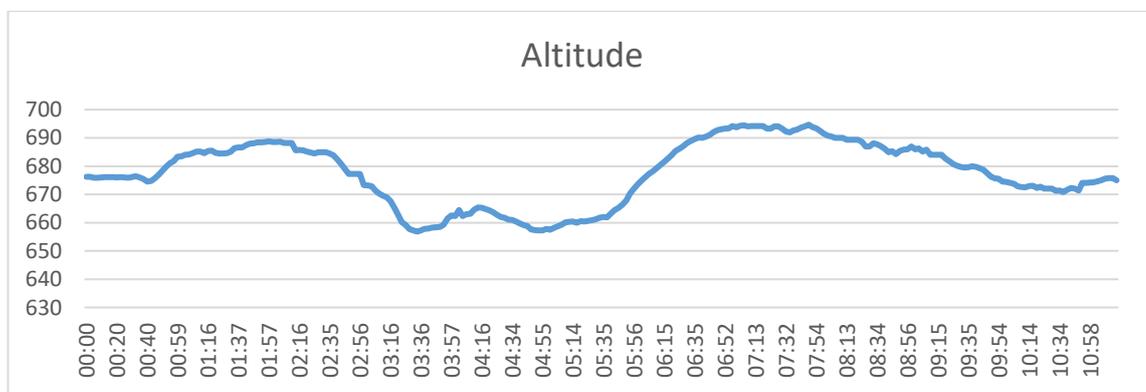
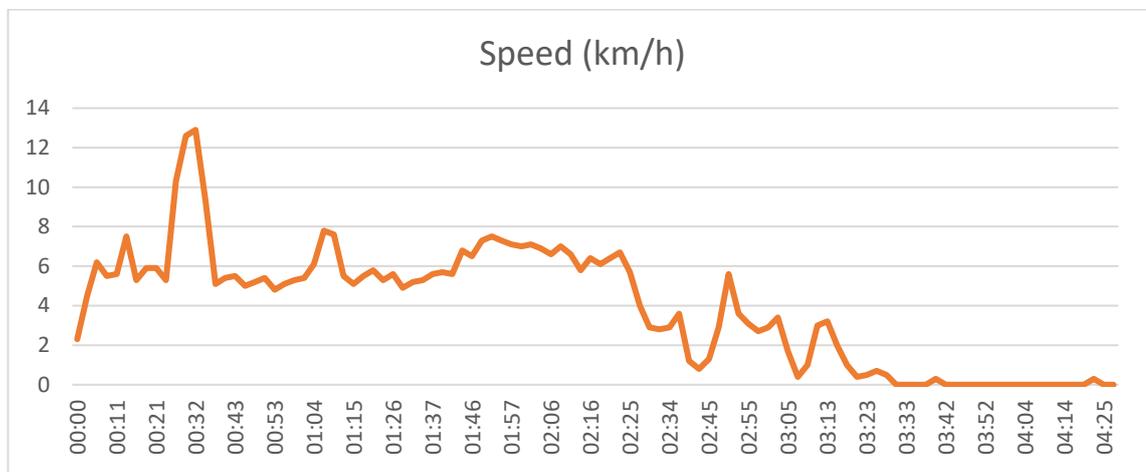


Ilustración 103: Gráfica de altitud respecto del tiempo recorrido en coche

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

Los gráficos permiten observar con claridad la variación de la velocidad y la altitud durante el recorrido realizado con el coche. Aunque el eje de tiempo aparece muy contraído (cada 20 segundos aproximadamente), esto se debe a que se ha contraído la imagen para que entre en el documento, pudiendo alcanzarse una periodicidad de los datos ya comentada de hasta tres segundos. Una vez más, se reitera la importancia que este tipo de datos podría tener a la hora de esclarecer lo sucedido en un accidente de tráfico, liberando al proceso de peritaje de ambivalencias e incertidumbres.

Para comprobar el nivel de precisión de la aplicación, también se han realizado pruebas andando, de tal forma que se pueda comprobar si a bajas velocidades la precisión es adecuada. Se han hecho tramos muy despacio, seguidos de momentos de aceleración. Los resultados han sido muy prometedores. Incluso a velocidades muy bajas de hasta 0,5 km/h la aplicación es capaz de monitorizarlo.



*Ilustración 104: Gráfica de velocidad respecto del tiempo recorrido andando*

Una forma efectiva de solventar los problemas que presenta esta aplicación es el uso de su aplicación complementaria Car Camera DVR. Los mismos recorridos estudiados con Speed Tracker han sido también grabados con Car Camera DVR. La ventaja de esta aplicación es que graba en todo momento lo que está sucediendo e imprime en pantalla la velocidad a tiempo real del vehículo. En caso de impacto frontal, todo quedaría grabado conociéndose toda la variación de velocidades del proceso. Si el impacto es lateral o trasero, aunque no se grabará el impacto, sí que se podrá observar la variación de velocidad experimentada por el vehículo. A continuación, se muestran algunas capturas de los vídeos realizados a modo de ejemplo.

El primer vídeo muestra un recorrido en coche y el segundo un recorrido a pie. En el caso del recorrido a pie se activó la opción de monitorear permanentemente la posición, esta podría ser una información interesante durante el proceso de reconstrucción pues se podría determinar con exactitud la posición del vehículo en todo momento.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***



*Ilustración 105: Grabación trayecto en coche*



*Ilustración 106: Grabación trayecto a pie*

El funcionamiento de la aplicación es sencillo, al principio deben configurarse una serie de ajustes tales como la duración de los vídeos y la cantidad total de vídeos guardados en memoria. Esto será clave pues determina el tiempo total de grabación que se almacena. Superado el límite seleccionado, los vídeos comienzan a sobrescribirse para evitar saturar la memoria del teléfono. Para evitar perder una grabación relevante, tras pausar el proceso, puede exportarse el vídeo a la biblioteca permaneciendo así sin sobrescribir.

Este es solo un ejemplo de dos de las aplicaciones disponibles en la Apple Store. Tras su análisis queda patente el potencial que el uso de este tipo de aplicaciones podría tener de cara a facilitar los procesos de reconstrucción. El problema fundamental es que, a diferencia del EDR

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

que va integrado en el vehículo y su conductor no debe preocuparse de él (se activa y funciona de forma autónoma), el uso de aplicaciones requiere una aproximación activa por parte del conductor. Cuando se sube al vehículo debe colocar el móvil en una posición adecuada para grabar e iniciar la grabación. También debe acordarse de detener la grabación cuando sea preciso. Otro problema importante es la limitación de la batería de los teléfonos. La utilización continua del GPS exige mucho a la batería que en el caso de no estar conectada a una fuente de carga puede drenarse en unas decenas de minutos.

Las aplicaciones móviles se presentan, por tanto, como una alternativa válida de gran utilidad pero con ciertas desventajas que pueden ser el motivo de su limitada implantación.

### ***1.6 Conclusiones***

#### ***1.6.1 Conclusiones sobre la metodología y resultados***

El tipo de accidentes estudiados en este proyecto, esto es, los accidentes a baja velocidad, presentan un grave problema que no tiene fácil solución. Generalmente, en el caso de accidentes a elevada velocidad hay una serie de rastros que pueden ser seguidos y que facilitan el esclarecimiento de los hechos. A partir de la huella de frenada es fácil saber la velocidad a la que circulaba un vehículo, o también, midiendo la deformación sufrida se puede establecer la violencia del impacto.

Por el contrario, en el caso de los accidentes a baja velocidad las velocidades son tan limitadas que en muchas ocasiones no queda rastro alguno que poder seguir. Al mismo tiempo, los márgenes que deben manejarse son muy limitados, la probabilidad de sufrir el SLC varía considerablemente si el impacto es a 5 km/h (probabilidad prácticamente nula) o a 9 km/h (probabilidad razonable).

Más allá de poder trabajar con ciertos márgenes, los métodos actuales basados en ecuaciones físicas no resultan definitivos. Por ejemplo, si el vehículo objeto de estudio presenta daños leves como abolladuras, podremos afirmar que el impacto sucedió a más de 4 km/h puesto que la normativa obliga a diseñar los parachoques para soportar esta velocidad sin deformarse. Sin embargo, lo contrario no sería cierto, no se puede afirmar que un impacto sucedió a menos de 4 km/h simplemente porque el vehículo no presente deformaciones visibles. Son numerosos los fabricantes de paragolpes y en muchas ocasiones soportan velocidades superiores a este mínimo de 4 km/h que marca la normativa antes de deformarse. Este es solo un ejemplo de la problemática que presenta este tipo de accidentes.

Se confía en que la herramienta desarrollada en este proyecto sirva de apoyo a cualquier perito interesado en los accidentes a baja velocidad. Ha sido desarrollada poniendo especial énfasis en la sencillez y la comodidad tratando de liberar al perito del trabajo de elaborar informes. Si bien este objetivo se puede considerar alcanzado, también es cierto que deben reconocerse ciertas limitaciones. El input fundamental del modelo es la velocidad inicial de los vehículos, precisamente una de las cosas sobre las que más incertidumbre hay. Este problema está presente incluso en los softwares de reconstrucción más avanzados, siempre es necesario suponer algún dato para poder finalizar la reconstrucción.

Se propone, por tanto, como solución a esta limitación la utilización de nuevas tecnologías que monitoricen en todo momento la velocidad del vehículo, y de esta forma, se pueda esclarecer sin lugar a dudas las condiciones bajo las que se produjeron el accidente. Nos encontramos en una situación en la que la tecnología necesaria para solventar estos problemas reseñados ya existe incluso en fase madura. No parece por tanto lógica la no inclusión de estas tecnologías, pues podrían suponer el fin de innumerables procesos judiciales reduciendo considerablemente el gasto asociado.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

Sin embargo, debe considerarse que la obtención de un sistema infalible contra el que no poder rebatir daría lugar a que el papel del perito se viese profundamente diluido. No habría necesidad de elaborar informes y contrainformes, pues el atestado policial podría recoger con certidumbre absoluta las velocidades de los vehículos tanto antes como después del choque. A pesar de desarrollar este proyecto defendiendo los intereses del colectivo de los peritos, considero que por encima de todo debe defenderse cualquier avance que vaya a favor de la certidumbre y esclarecimiento de la verdad. En conclusión, la posible dilución de las labores de los peritos no debe ser impedimento para la incorporación de tecnologías que faciliten el esclarecimiento de los accidentes.

En especial abogo por la integración de tecnologías como el Event Data Recorder (EDR) de tal forma que se registre de forma permanente las velocidades y aceleraciones del vehículo, quedando constancia de los parámetros previos y posteriores a cualquier choque. Es cierto que se presenta un problema de privacidad complejo, pues el conductor no tiene por qué permitir un monitoreo tan estricto de su conducción.

De no establecerse una normativa clara que solvete estos problemas de privacidad en torno a la implantación del EDR, otras alternativas interesantes pueden ser productos comerciales tales como las cámaras de Garmin. Estas cámaras, aunque no específicamente diseñadas para facilitar datos en los procesos de reconstrucción de accidentes, sí que permiten el almacenamiento de información que puede ser relevante de facilitarse al perito. También podría estudiarse el potencial que podría tener la integración de sistemas de medida en móviles, pues generalmente cualquier conductor lo lleva encima mientras conduce.

Otra reflexión interesante a raíz de la elaboración de este proyecto, es la conclusión de que el principal desencadenante de cualquier accidente de tráfico suele ser el propio conductor. La conducción es una actividad que requiere concentración mantenida durante largos periodos de tiempo. Son muchas las ocasiones que un mínimo despiste puede terminar en colisión. Las personas nos cansamos, estornudamos, nos distraemos... pero las máquinas no. Por este motivo la principal solución a los abundantes accidentes ya sean leves o graves puede ser la conducción autónoma.

Aunque unos años atrás podría parecer cosa de un futuro utópico, en la actualidad ya existen coches autónomos circulando por las principales ciudades del mundo. Son muchas las empresas tecnológicas apostando por este tipo de vehículos y parece inevitable su generalización de aquí a pocos años. Un coche autónomo no se distrae, no excede la velocidad máxima, respeta las señales... en definitiva, puede tratarse de la solución a cuantos problemas se han estudiado en este proyecto

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***1.6.2 Recomendaciones para futuros estudios***

En línea con lo comentado en las conclusiones, el futuro de la conducción pasa por los coches autónomos, por lo que futuros estudios deberían centrarse en esta realidad. Sería realmente interesante la realización de un análisis de la reducción de accidentes que supondría el contar exclusivamente con vehículos pilotados de forma autónoma. Pasando también por el proceso de adaptación durante el cual estarán conviviendo en las calles vehículos autónomos con conductores reales. También resultaría interesante abordar temas complejos como la ética de los coches autónomos, aunque se sale ligeramente de las ambiciones de un proyecto de ingeniería, el estudio de la ética de la inteligencia artificial es un campo aun por explorar que debería ser abordado por ingenieros con conocimientos técnicos, pero también una visión ética.

Durante la transición al nuevo modelo de conducción autónoma, sería interesante abordar en profundidad un estudio del proceso de implantación obligatoria del EDR en todos los vehículos. De contar los vehículos con esta “caja negra” no habría problema a la hora de conocer los parámetros previos al accidente. Un simple vistazo a los datos almacenados en el sistema permitiría esclarecer si existía exceso de velocidad o si el impacto fue lo suficientemente violento como para producir lesiones.

Otra alternativa al EDR sería la integración en los procesos de peritaje de información recogida a través de aplicaciones móviles. Como se ha demostrado en este proyecto, ya existen aplicaciones con potencial suficiente como para ser consideradas pruebas válidas en cualquier proceso judicial. El siguiente paso sería promover el uso de este tipo de aplicaciones y formar al cuerpo de peritos en la incorporación y uso efectivo de esta información como prueba.

***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

## ***2. Bibliografía***

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

- [1] D. G. d. Tráfico, 4 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.dgt.es/es/prensa/notas-de-prensa/2016/20160104-nuevo-minimo-historico-numero-victimas-mortales-accidente-desde-1960.shtml>. [Último acceso: 16 Octubre 2016].
- [2] A. V. Baños, «Epidemiología y repercusiones socioeconómicas del Síndrome de Latigazo Cervical,» *Rev fisioter (Guadalupe)*, vol. 8, nº 2, p. 12, 2009.
- [3] I. G. Nacional, «Centro Nacional De Información Geográfica,» [En línea]. Available: [http://www.ign.es/espmap/graficos\\_transporte\\_bach/TyC\\_Graf\\_01.htm](http://www.ign.es/espmap/graficos_transporte_bach/TyC_Graf_01.htm). [Último acceso: 16 Octubre 2016].
- [4] E. S. Explained, «Eurostat Statistics Explained,» 29 Junio 2016. [En línea]. Available: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Causes\\_of\\_death\\_%E2%80%94\\_standardised\\_death\\_rate\\_per\\_100\\_000\\_inhabitants,\\_men,\\_EU-28,\\_2004%E2%80%93.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Causes_of_death_%E2%80%94_standardised_death_rate_per_100_000_inhabitants,_men,_EU-28,_2004%E2%80%93.png). [Último acceso: 16 Octubre 2016].
- [5] A. C. J. V.-A. D. S.-M. y. R. T. Carlos Arregui-Dalmases, «Biomecánica del latigazo cervical: conceptos cinemáticos y dinámicos,» *Revista española de medicina legal*, vol. 39, nº 3, p. 7, 2012.
- [6] Volvo, «Volvocars,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.volvocars.com/es/acerca-de-volvo/compania/origen-volvo/innovaciones-seguridad-volvo>. [Último acceso: 16 Octubre 2016].
- [7] Mercedes-Benz. Patente DE 2152902 C2, 23 Octubre 1971.
- [8] D. G. d. Tráfico, «Balance seguridad vial 2015,» 2016.
- [9] O. d. 1. d. m. d. 1981, «Noticias Jurídicas,» 13 marzo 1981. [En línea]. Available: [http://noticias.juridicas.com/base\\_datos/Admin/o130381-pg.html](http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/o130381-pg.html). [Último acceso: 27 enero 2017].
- [10] I. R. Andueza, «El Mundo; Colapso judicial: 650.000 causas acumuladas,» 15 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.elmundo.es/pais-vasco/2015/12/15/566f2d82268e3e62368b4591.html>. [Último acceso: 25 Octubre 2016].
- [11] Cesvimap, Manual de Reconstrucción de accidentes de tráfico, C. d. e. y. s. v. MAPFRE, Ed., 2013, p. 328.
- [12] CEA Seguridad Vial, «Seguridad-vial,» [En línea]. Available: <http://www.seguridad-vial.net/conduccion/conducir-seguro/76-los-accidentes>.
- [13] Investigación y peritos forenses, 2009. [En línea]. Available: <http://investigacionyperitosforenses.blogspot.com.es/2009/06/fases-del-accidente-de-transito.html>. [Último acceso: 2017].

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

- [14] A. c. I. c. c. d. Yellowstone, «Travel blog,» 2011. [En línea]. Available: [http://ibytes.es/blog\\_animales\\_cruzando\\_carreteras.html](http://ibytes.es/blog_animales_cruzando_carreteras.html). [Último acceso: 2017].
- [15] J. d. I. Calle, «La opinión de Zamora,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.laopiniondezamora.es/zamora/2008/08/29/tres-vehiculos-implicados-choque-cardenal-cisneros/298270.html>. [Último acceso: 2017].
- [16] Gruntledengineer, [En línea]. Available: <https://gruntledengineer.wordpress.com/tag/probability/>.
- [17] Seat Servicio: airbag frontal y lateral, [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/jcarrey/66-airbag-frontal-y-lateralpdf>.
- [18] P. T. y. G. Mosca, Física para la ciencia y la tecnología, 6ª Edición ed., Reverté.
- [19] A. S. F. Teresa Martín Blas, «Universidad Politécnica de Madrid,» [En línea]. Available: <http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/dinamsist/colisiones.html>.
- [20] A. O. García, «Acerca del coeficiente de restitución,» *Publicación trimestral del consejo Profesional de Ingeniería Mecánica y Electricista de la ciudad de Buenos Aires*, vol. 7, Diciembre 2003.
- [21] T. Sato, «Dynamic Consideration on Automobile Collision.».
- [22] D. Wood, «Consideration of the Elastic Compressive Properties of Cars in Frontal Impact,» *Paper SAE 1999-01-0095*, 1996.
- [23] R. P. Howard, «Vehicle Restitution Response in Low Velocity Collisions,» *Paper SAE 931842*, 1993.
- [24] V. W. Antonetti, «Estimating the Coefficient of Restitution of Vehicle- to-Vehicle Bumper Impacts,» *Paper SAE 980552*.
- [25] J. P. C. Aníbal O. García, «Utilización de Modelos Dinámicos en la Investigación de Accidentes Viales,» *CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACCIDENTOLOGÍA VIAL*, 2003.
- [26] A. I. Pulla, Propuestas de mejora en la investigación de accidentes de tráfico en España, Zaragoza, 2013.
- [27] S. M. L. J. L. F. Arregui C, «Fundamentos de biomecánica en las lesiones por accidente de tráfico.,» 2012.
- [28] G. L. P. V. M. D. W. J. Bartsch A, «Minor crashes and whiplash in the United States,» 2008.
- [29] S. M., «Neck injuries in car collisions: injury mechanisms.,» *Injury in low velocity collision conference*, 2005.
- [30] L. H. W. P. Robert J. Brison, «A prospective study of acceleration-extension injuries following rear-end motor vehicle collisions,» *Journal of Musculoskeletal Pain*, vol. 8, 2000.

## **Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad**

- [31] A. R. A. Julio Irigoyen Alba, «Bases anatómicas y fisiopatológicas de las lesiones cervicales traumáticas,» *Asociación española de abogados especializados en responsabilidad civil y seguro*, nº 48, pp. 17-26, 2013.
- [32] B. Aldman, «An analytical approach to the impact biomechanics of head and neck injury.,» 1986.
- [33] K. A. L. A. T. C. Krafft M, «Assessment of Whiplash Protection in Rear Impacts.,» *Estocolmo: Folksam and Swedish Road Administration report*, 2005.
- [34] Anunaya, 2017. [En línea]. Available: <http://www.centroanunaya.com/la-espalda-y-lo-que-representan-sus-dolores-esta-semana-la-informacion-es-sobre-la-espalda-alta/>.
- [35] E. chapista, «El chapista,» 2017. [En línea]. Available: [http://www.elchapista.com/aceros\\_de\\_alta\\_resistencia.html](http://www.elchapista.com/aceros_de_alta_resistencia.html).
- [36] F. E. R. y. J. G. Navas, «Informe pericial relativo a un accidente de tráfico consistente en el alcance de una motocicleta a un turismo,» 2015.
- [37] J. d. N. Moríñigo, «Análisis del informe pericial relativo a un accidente de tráfico consistente en el alcance de una motocicleta a un turismo,» 2015.
- [38] J. L. L. Ibáñez, «Nexo causal entre las colisiones a baja velocidad y las lesiones del raquis cervical,» de *Conferencia colisiones a baja velocidad*, Valencia, 2015.
- [39] J. I. M. B. y. A. L. M. Carlos Represas Vázquez, «Importancia de la biomecánica del impacto en la valoración pericial del síndrome del latigazo cervical,» *Revista española de medicina legal*, 2015.
- [40] RACTT, «RACTT,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.ractt.com>. [Último acceso: 17 5 2017].
- [41] Virtual Crash, «Virtual Crash,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.vcrashusa.com/home#vc-additional-features>. [Último acceso: 17 5 2017].
- [42] J. Saavedra, «El mundo informático,» 16 4 2008. [En línea]. Available: <https://jorgesaavedra.wordpress.com/2008/04/16/historia-de-visual-basic/>. [Último acceso: 17 5 2017].
- [43] M. Á. Álvarez, «Desarrolloweb.com,» 24 7 2001. [En línea]. Available: <https://desarrolloweb.com/articulos/499.php>. [Último acceso: 17 5 2017].
- [44] ExcelminiApps, «Pasar datos de Excel a plantilla de Word con macro,» 2012. [En línea]. Available: <http://excelminiapps.blogspot.com.es/2014/02/pasar-datos-de-excel-plantilla-de-word.html>. [Último acceso: 18 5 2017].
- [45] Aquí hay noticia.es, «Aquí hay noticia.es,» 21 Mayo 2017. [En línea]. Available: <http://haynoticia.es/la-dgt-propone-los-coches-lleven-tacografo-controlar-la-velocidad/>. [Último acceso: 23 Mayo 2017].

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

- [46] Garmin, «Garmin,» 2017. [En línea]. Available: <https://buy.garmin.com/es-ES/ES/p/587334/pn/010-01750-15#>. [Último acceso: 23 Mayo 2017].

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### *3. Anexos*

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad

### 3.1 Reconstrucción de accidente empleando el software Virtual Crash

#### 3.1.1 Introducción al accidente

**MINISTERIO DEL INTERIOR**

**GUARDIA CIVIL**  
Subdirección General de Operaciones  
Agrupación de Tráfico

Unidad ACTUANTE

SUBSECTOR DE: MADRID-SUR  
DESTACAMENTO DE: ARGANDA DEL REY

**ATESTADO POR ACCIDENTE DE CIRCULACIÓN**

JUZGADO DE INSTRUCCION DE ARGANDA DEL REY (MADRID)

DILIGENCIAS NÚMERO:

INSTRUCTOR T.I.P NÚM.:

SECRETARIO T.I.P NÚM.:

**ACCIDENTE DE CIRCULACIÓN**, ocurrido sobre las \_\_\_\_\_ del día \_\_\_\_\_ en la carretera M-823 (M-203 / Acceso Cristo Rivas), a la altura del P.K. 5,050, sentido decreciente, término municipal de Rivas Vacia-Madrid y Partido Judicial de Arganda del Rey (Madrid), consistente en una colisión fronto-lateral entre el vehículo tipo motocicleta, marca Suzuki, modelo GSR750, matrícula \_\_\_\_\_ y el vehículo tipo turismo, marca Dacia, modelo Logan, matrícula \_\_\_\_\_, resultando como consecuencia del mismo una persona fallecida y daños de diversa consideración en los vehículo implicados.

SUBSECTOR MADRID-SUR  
DESTACAMENTO DE TRÁFICO DE ARGANDA DEL REY

DIRECCIÓN POSTAL: CALLE REAL Nº 90 ARGANDA DEL REY (MADRID)  
TELÉFONO-FAX: 918711725

Ilustración 107: Atestado por accidente

Como se aprecia en el atestado, el accidente objeto de estudio se produjo entre un automóvil y una motocicleta. El automóvil se disponía a realizar un cambio de dirección para lo que toma una salida hacia la M-203 para incorporarse hacia la M-823 donde se sitúa la empresa donde trabajaba. Antes de acceder a la M-823 se encuentra con un STOP. Al detenerse en el STOP el conductor del vehículo observa que se acerca otro automóvil, pero éste inicia la maniobra de

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

incorporación hacia la M-203 abandonando por tanto la carretera que tenía que cruzar. Sin percatarse de que detrás de este vehículo venía una motocicleta, el conductor del Dacia inicia la maniobra de incorporación. Mientras se está incorporando la motocicleta impacta con el Dacia produciéndose el fallecimiento del motorista.

A continuación, se muestra un extracto del interrogatorio realizado al conductor del Dacia:

**PREGUNTADO** para que diga por la forma en que se produjo el accidente, **MANIFIESTA:** que venía desde la M-50, que se desvió por la salida hacia la M-203 para incorporarse hacia la M-823 donde se sitúa la empresa Tres M para la cual trabaja. Cuando circulaba por la M-823 gira a la derecha para realizar en un STOP en una media intersección giratoria situada enfrente de la empresa citada, con el fin de acceder a la misma. Que cuando se encuentra parado en la señal de STOP, observa como un vehículo activa intermitente para desviarse hacia la media intersección giratoria, hacia el mismo lugar donde él mismo se encuentra. Que tras observar lo anterior emprende la marcha para cruzar la vía e incorporarse hacia la empresa, no percatándose de que detrás del vehículo que observa con el intermitente activado, circulaba una motocicleta, colisionando contra la misma sin poder realizar ninguna maniobra evasiva para evitarlo.

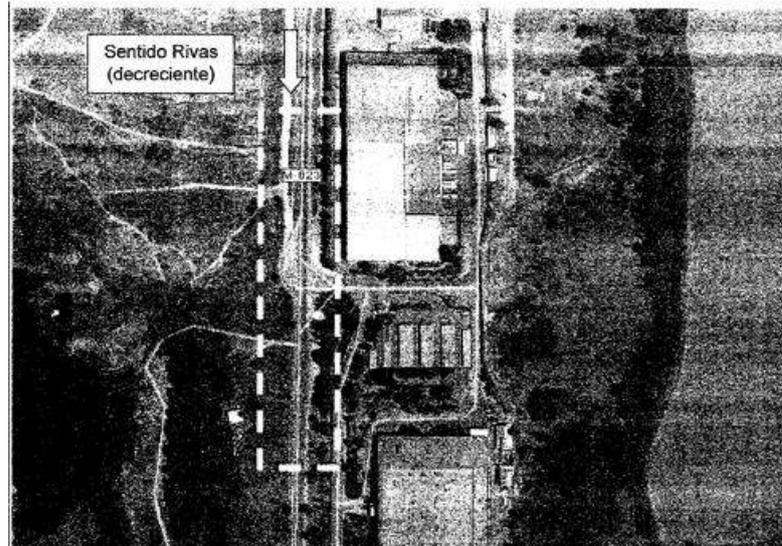
**PREGUNTADO** la razón de no haberse percatado antes de la presencia de la motocicleta, **MANIFIESTA:** que lo desconoce, que miró antes de emprender la marcha y observó solamente el vehículo con el intermitente activado, sin observar en ningún momento ninguna motocicleta ni anterior ni posteriormente al citado vehículo.

*Ilustración 108: Declaraciones de la persona que origina el accidente*

Posteriormente, el informe técnico recoge la información necesaria para la reconstrucción del accidente. Fundamentalmente:

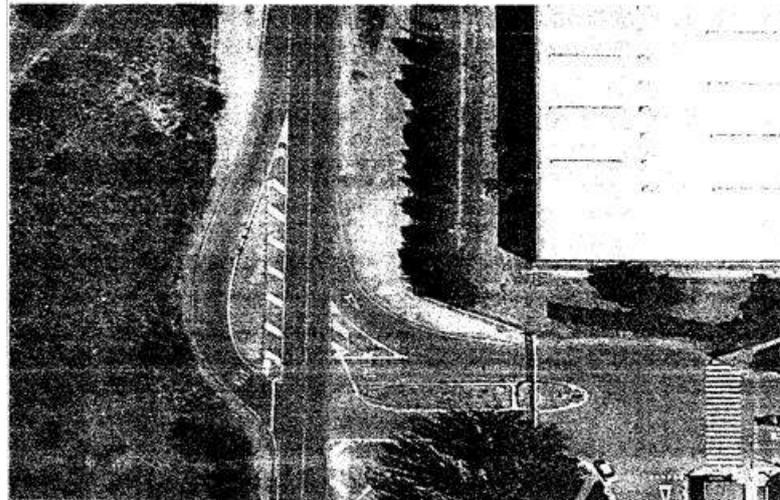
- El motorista se encuentra inicialmente a una distancia de unos 30 metros del coche que le precedía.
- Hay marcas de frenada de la motocicleta en el carril de sentido contrario al de circulación de la motocicleta de unos 10 metros de longitud

## Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad



**FOTOGRAFÍA NÚMERO 1**

Vista cenital de la carretera M-823 (M203 - Acceso Cristo de Rivas), P.K 05,050, sentido decreciente, donde se puede apreciar la zona donde se desarrolla el accidente de circulación.



**FOTOGRAFÍA NÚMERO 2**

Vista cenital en detalle de la carretera M-823 (M203 - Acceso Cristo de Rivas), P.K 05,050, sentido decreciente, donde se puede observar el área donde se desarrolla el accidente.

*Ilustración 109: Lugar del accidente según recoge el informe policial*

Se presentan varios aspectos a estudiar con la reconstrucción del accidente:

- Si el motorista iba por encima del límite de velocidad permitido
- Por qué hay una marca de frenado de la motocicleta en el carril contrario de circulación. La marca de frenado en el carril de sentido contrario podría deberse a la realización de una maniobra de evasión por parte del conductor de la motocicleta. Sin embargo, habría tenido más sentido intentar esquivar el coche realizando la maniobra de evasión hacia la dirección que está abandonando el vehículo a esquivar y no precisamente hacia la dirección en la que el vehículo a esquivar está avanzando

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

El informe también recoge fotografías del estado final de los vehículos:



**FOTOGRAFÍA NÚMERO 17**

Vista del lateral derecho del vehículo turismo Dacia Logan matrícula



**FOTOGRAFÍA NÚMERO 18**

Vista del lateral izquierdo del vehículo turismo Dacia Logan matrícula

*Ilustración 110: Estado final Dacia*

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***



**FOTOGRAFÍA NÚMERO 21**

Vista de la parte frontal de la motocicleta GSR750 matrícula



**FOTOGRAFÍA NÚMERO 22**

Vista del lateral derecho de la motocicleta GSR750 matrícula

*Ilustración 111: Estado final motocicleta*

### ***3.1.2 Simulación con virtual crash***

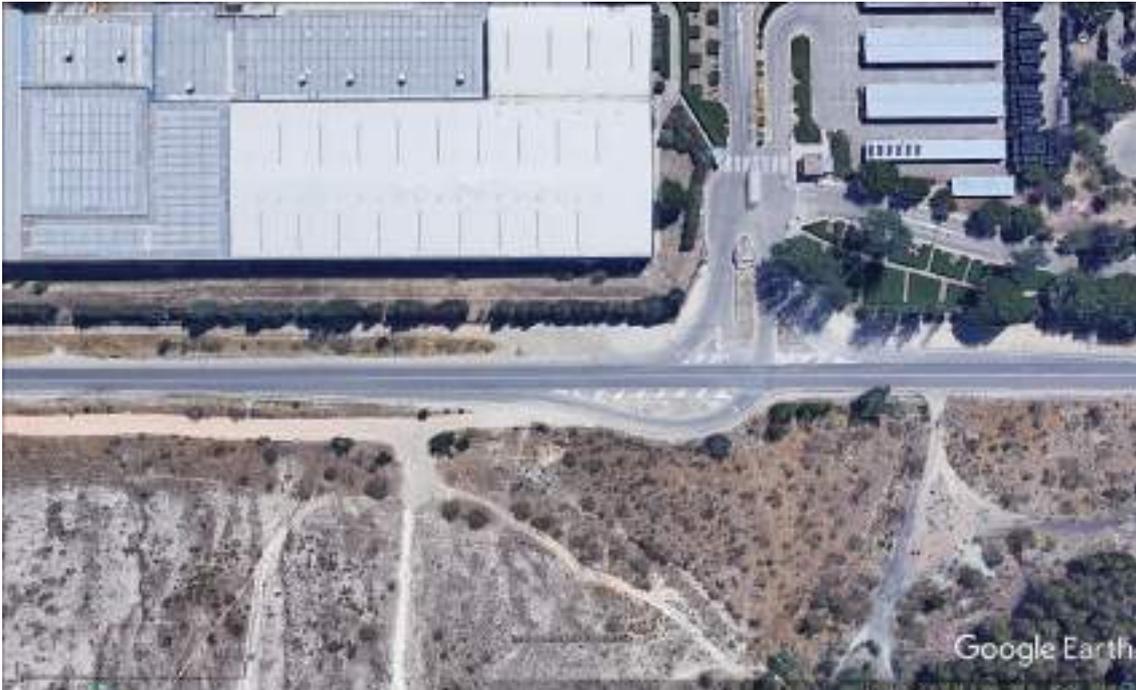
Se procede a la recreación del accidente empleando Virtual Crash en su versión de prueba. Esta versión gratuita presenta ciertas limitaciones:

- No se pueden emplear motocicletas por lo que se recreará la motocicleta como un automóvil (el vehículo azul)
- Todos los vehículos son iguales y sus características físicas (peso, tamaño...) no se pueden modificar

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

- El proyecto no puede guardarse por lo que tras cerrar el programa se pierde toda la información

Para darle utilidad al estudio realizado y dado que no se puede guardar se ha procedido a realizar diferentes capturas y vídeos de la simulación. A continuación, se muestran imágenes del lugar del accidente.



En todas las reconstrucciones se ha supuesto la situación más desfavorable, es decir, el Ford realiza la incorporación al carril de cambio de sentido lo más tarde posible dificultando la visibilidad del conductor del Dacia. De haberse incorporado antes, el conductor del Dacia habría tenido más tiempo para ver al motorista acercarse y probablemente no hubiese iniciado el cruce de carriles.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***



### ***3.1.2.1 RECONSTRUCCIÓN 1***

#### ***3.1.2.1.1 Consideraciones fundamentales:***

- El motorista se encuentra a una distancia de 30 metros del Ford tal y como se sugiere en el informe.



- Tanto la motocicleta como el Ford circulaban a una velocidad de 80 km/h (el máximo permitido en esa zona)
- El Dacia acelera a  $0,6 \text{ m/s}^2$

#### ***3.1.2.1.2 Sucesos:***

El conductor del Ford señala su próxima maniobra poniendo los intermitentes derechos. El motorista inicia una maniobra de adelantamiento por lo que invade el carril contrario.

El conductor del Dacia tras comprobar que el Ford indicaba su maniobra decide iniciar el cruce de carriles sin percatarse de la presencia de la motocicleta. Esta maniobra se inicia con una aceleración de  $0,6 \text{ m/s}^2$  considerándose una aceleración razonable.

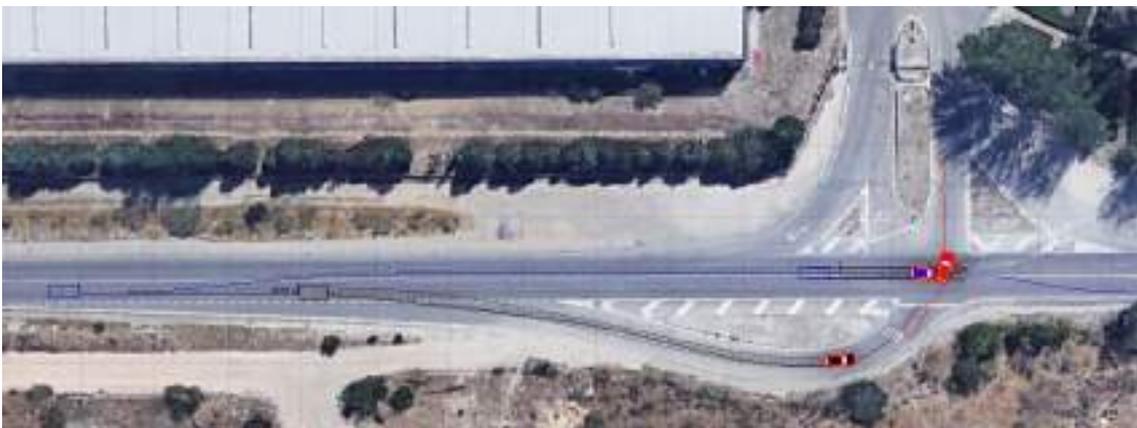
## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***



Cuando el motorista se percata de la presencia del Dacia invadiendo el carril, inicia una frenada de emergencia (10 m de marca de neumático más 1,5 m adicionales por calentamiento frenos).



Finalmente, ambos vehículos impactan. **Ver vídeo 1.** (Nota: en el informe original se incluye un fichero con los vídeos generados con Virtual Crash de la recreación del accidente)

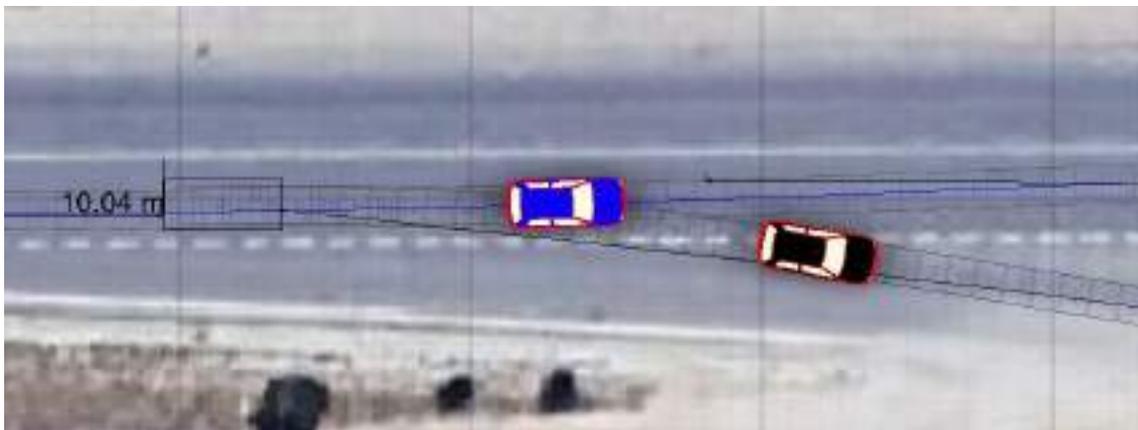


## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

### ***3.1.2.1.3 Conclusiones:***

La hipótesis que considera que el motorista se encuentra en el carril contrario como consecuencia de estar adelantando al Dacia no parece razonable por varios motivos:

- La distancia inicial de 30 m entre ambos vehículos sugerida en el informe hace que en ningún caso el motorista deba invadir el carril contrario, no hay peligro de alcance siguiendo por el mismo carril. **Ver vídeo 2.**
- Incluso si la distancia inicial entre la motocicleta y el Ford se redujese hasta los 10 metros, tampoco habría necesidad de invadir el carril contrario. **Ver vídeos 3, 4, 5 y 6.** En ningún caso se produciría el alcance obligando al motorista a invadir el carril contrario, a continuación, se muestra la mínima distancia entre ambos vehículos si la distancia inicial entre ellos fuese de 10 metros.



- Por otro lado, aunque se aceptase la hipótesis de que la motocicleta inicia la maniobra de adelantamiento, parece poco razonable que permanezca durante tanto tiempo invadiendo el carril contrario.



Hay 66 metros de distancia desde el punto de adelantamiento hasta el lugar del impacto, espacio más que suficiente para retornar al carril, una vez más no parece razonable permanecer esos 66 metros invadiendo el carril contrario.

- No es razonable considerar que el motociclista interprete los intermitentes del Dacia como una señal hacia él para que realice el adelantamiento, la configuración

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

de la carretera con una zona de incorporación al carril de cambio de sentido muy amplia obliga a pensar que el motociclista debe percatarse de que el intermitente es puesto para indicar la próxima incorporación a este carril



Como se observa en la fotografía, el motorista situado a 30 metros del Ford ya percibe por su derecha la raya discontinua que indica el nuevo carril de cambio de sentido

- Se descarta por tanto esta primera hipótesis sobre el adelantamiento de la motocicleta al vehículo Ford. No puede acusarse por tanto al motorista de actuar de forma poco responsable invadiendo el carril contrario.

### ***3.1.2.2 RECONSTRUCCIÓN 2***

#### ***3.1.2.2.1 Consideraciones fundamentales:***

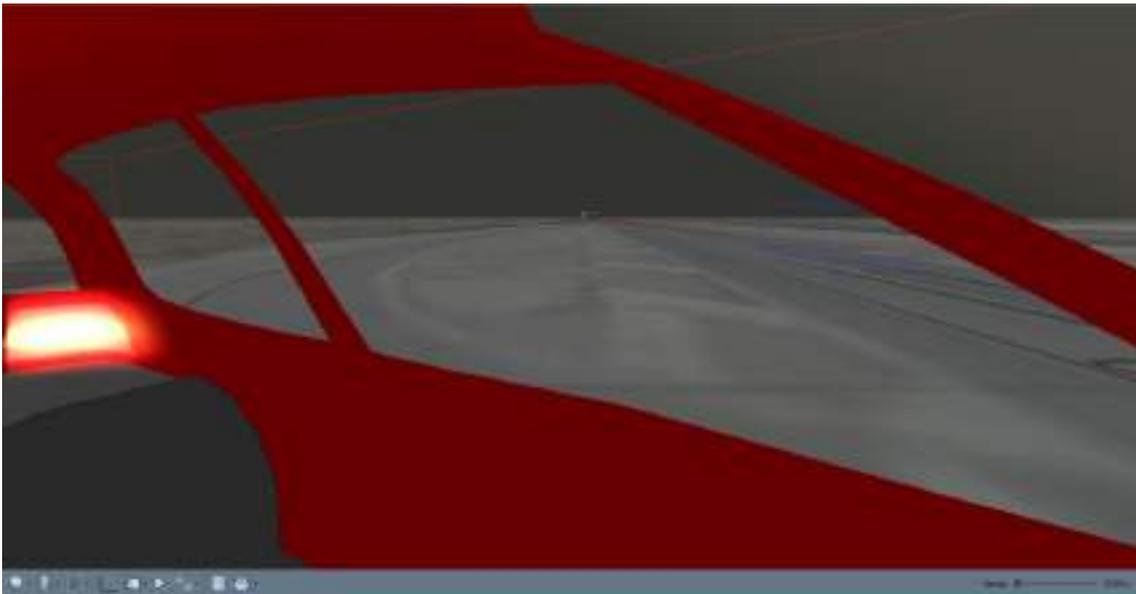
- El motorista no realiza ninguna maniobra de adelantamiento, sino que permanece en su carril y es cuando se percata de la presencia del Dacia invadiendo su carril cuando inicia una maniobra de evasión, lamentablemente en la dirección contraria a la recomendada

#### ***3.1.2.2.2 Sucesos:***

El conductor del Ford señala su próxima maniobra poniendo los intermitentes derechos. El motorista continúa en su carril hasta que se percata de que el Dacia comienza a invadir su carril.

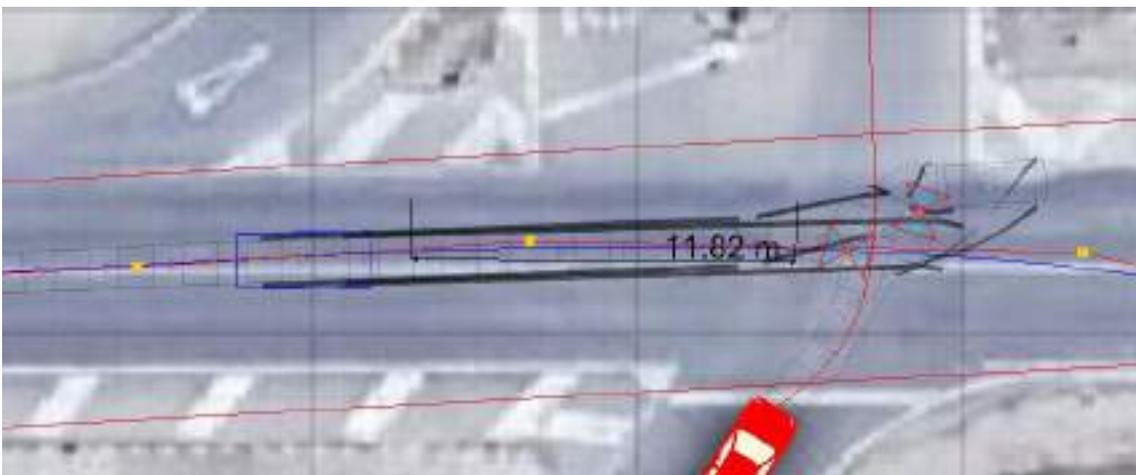
El conductor del Dacia tras comprobar que el Ford indicaba su maniobra decide iniciar el cruce de carriles sin percatarse de la presencia de la motocicleta. Esta maniobra se inicia con una aceleración de  $0,6 \text{ m/s}^2$  considerándose una aceleración razonable. A continuación, la vista desde el interior del Dacia, debido a la oscuridad es razonable pensar que el Ford tape a la motocicleta.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***



El motorista viendo que el Dacia invade su carril trata de iniciar una maniobra de evasión invadiendo el carril contrario. Aunque no sea la maniobra recomendada pues podría haber esquivado al Dacia por su parte trasera, en una situación crítica en la que la decisión tiene que ser tomada en fracciones de segundo, pueden tomarse decisiones erróneas.

El motorista, cuando se percató de que su maniobra de evasión no obtendrá resultados decide clavar los frenos perdiendo el control del vehículo y dejando como resultado una huella de frenado de 10 metros. Finalmente, ambos vehículos impactan. **Ver vídeos 7 y 8.**



### ***3.1.2.2.3 Conclusiones:***

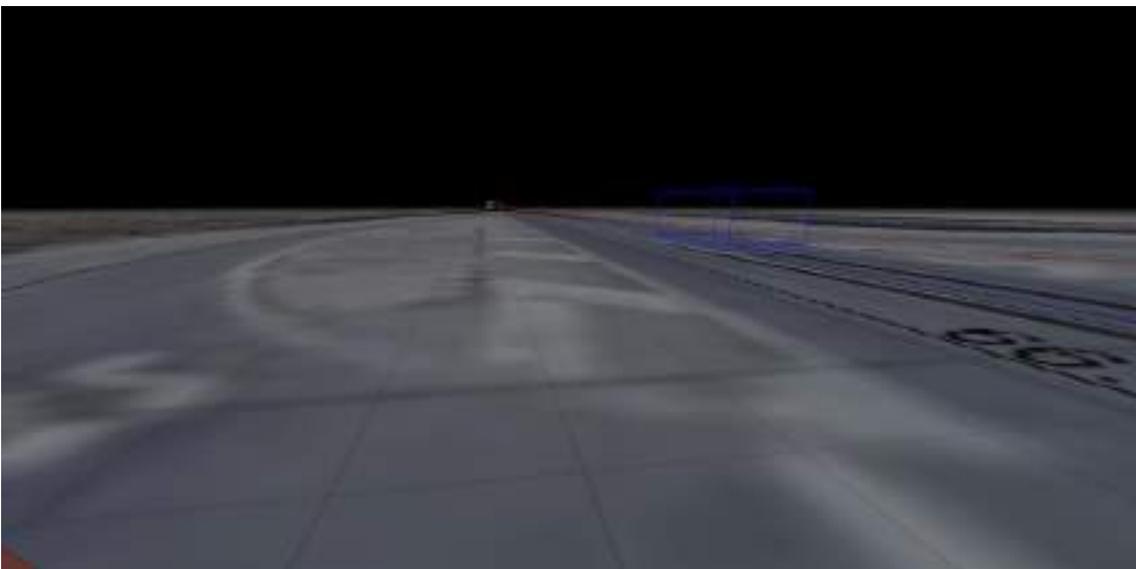
- Esta hipótesis resulta más verosímil que la del adelantamiento. El motorista toma una decisión errónea pero totalmente lícita, la cual para nada supone una infracción vial.
- El conductor del Dacia actúa de forma imprudente pues a pesar de no ver inicialmente al motorista, se encuentra en una zona sin obstáculos por lo que una

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***

vez el motorista supera al Ford dispone de 66 metros para retractarse de su maniobra, lo cual habría evitado el choque.



- Las buenas prácticas de la circulación vial recomiendan en un Stop realizar una doble comprobación antes de iniciar la maniobra. El conductor del Dacia podría haber pasado por alto la presencia del motorista en su primera comprobación, pero en la segunda ya con el Ford incorporándose al cambio de sentido debería haberse percatado. **Ver vídeos 9\_1, 9\_2, 9\_3 y 9\_4.**



Es cierto que, en un primer momento, debido a la oscuridad, el conductor del Dacia puede no ver a la motocicleta, sin embargo, si hubiese seguido buenas prácticas viales, en una segunda comprobación sí que debería haber visto a la motocicleta como se observa en la fotografía siguiente. Esto demuestra la imprudencia del conductor del Dacia.

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***



### ***3.1.2.3 RECONSTRUCCIÓN 3***

#### ***3.1.2.3.1 Consideraciones fundamentales:***

- Se estudiará la posibilidad de un exceso de velocidad por parte del motorista
- Se considerará que el motorista se encuentra inicialmente a 30 metros y posteriormente se estudiará que sucedería si inicialmente se encontrase a 10 metros

#### ***3.1.2.3.2 Sucesos:***

El conductor de la motocicleta circula a una velocidad de 110 km/h. El conductor del Ford señala su próxima maniobra poniendo los intermitentes derechos. El motorista continúa en su carril hasta que se percató de que el Dacia comienza a invadir su carril.

El conductor del Dacia tras comprobar que el Ford indicaba su maniobra decide iniciar el cruce de carriles sin percatarse de la presencia de la motocicleta. Esta maniobra se inicia con una aceleración de  $0,6 \text{ m/s}^2$  considerándose una aceleración razonable.

El motorista viendo que el Dacia invade su carril trata de iniciar una maniobra de evasión invadiendo el carril contrario.

#### ***3.1.2.3.3 Conclusiones:***

- Si se supone una distancia inicial entre el motorista y el Ford de 30 metros y el motorista circulase a 110 km/h no llegaría a producirse el impacto. **Ver vídeo 10.**

## ***Herramienta estudio biomecánico accidentes a baja velocidad***



Por extensión a una velocidad mayor tampoco se llegaría a producir el impacto, por tanto, en caso de exceder la velocidad no sería más allá de los 110 km/h. En cualquier caso, la testigo del Ford en ningún momento indicó que el motorista no respetase los límites de velocidad.

- Si se supone una distancia inicial entre el motorista y el Ford de 10 metros y el motorista circulase a 110 km/h, éste impactaría con el Ford. **Ver vídeo 11.** Este choque no se produce por lo que el motorista necesariamente irá a una velocidad inferior.
- Estos análisis de sensibilidad son claros indicativos de que el motorista no superaba el límite de velocidad permitido.