



MEMORIAS DEL 5^{to} CONGRESO DE ACTUALIZACIÓN EN RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

“ARAT 5”

**26 27 de Junio de 2025
Ciudad de Santiago del Estero, Argentina**

Organización: Asociación de Peritos en Investigación y Reconstrucción
de Accidentes de Tránsito – APIAT www.apiat.org

Todos los Derechos de los Autores de los Trabajos presentados en estas memorias, están Reservados.
Prohibida su reproducción en más de 100 palabras.
Respete el trabajo de los autores.

Comité Organizador:

- Ing. Angel A. Montenegro.
- Lic. Gustavo A. Enciso.
- Acc. M. Gisela Insaurrealde.
- Ing. Atilio A. Bigetti.

Comité Científico:

- Lic. Gustavo A. Enciso
- Ing. Angel A. Montenegro

Comisión Directiva:

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| • Presidente: | Ing. Atilio A. Bigetti. |
| • Secretario: | Ing. Angel A. Montenegro. |
| • Tesorero: | Acc. M. Gisela Insaurrealde. |
| • Revisor de Cuentas Titular: | Lic. Patricia Barreto. |
| • Revisor de Cuentas Suplente: | Lic. Gaston F. Miskinich. |
| • Vocal Titular Primero: | Lic. Gustavo A. Enciso |
| • Vocal Titular Segundo: | Lic. Lucas Barrientos. |
| • Vocal Titular Tercero: | Lic. Eduardo Ferreira. |
| • Vocal Suplente Primero: | Lic. Roberto J. Cortez. |
| • Vocal Suplente Segundo: | Lic. Guido Copetti. |
| • Vocal Suplente Tercero: | Lic. Adriana Aguirre. |

Adhieren:

- Universidad Nacional de Santiago del Estero
- Universidad Católica de Santiago del Estero
- Consejo Profesional de la Ingeniería y Afines de Santiago del Estero.
- Consejo Deliberante de Santiago del Estero, Ordenanza N° 6469/25.

Auspician:

- Centro de Entrenamiento en Investigación de Accidentes de Tránsito.
 - Comercializadora URBANA S.A.
 - NOA Autopartes Recicladas.
 - Hamburgo Compañía de Seguros.
 - VDGM Pericias Forenses Reconstrucciones en 3D.
 - RACTT 6.0
-



INDICE

1] Estimación de velocidades por video y análisis con métodos estadísticos.

PhD. y Profesor Fabio Jagosich – Policía Técnico Científica de Sao Paulo. (Brasil). Eje Temático: Metodologías y Herramientas para la Investigación de Accidentes de Tránsito. **Página 6.**

2] Determinación de velocidad de impacto de motocicletas mediante ensayos destructivos.

Equipo de Investigadores del Departamento de Mecánica de la UNSE. Eje Temático: Desarrollo de Modelos Físicos o Computacionales para Análisis de Velocidades. **Página 7.**

3] Medición de Desaceleración en Personal Mobility Vehicles (PMV).

Acc. M. Gisela Insaurralde – CEIRAT. Eje Temático: Metodologías y Herramientas para la Investigación de Accidentes de Tránsito. **Página 20.**

4] Experiencias y Formatos de Crash Test realizados en Brasil.

Profesor en Física Emerson Lopes do Reis – PACTRANSITO (Brasil). Eje Temático: Metodologías y Herramientas para la Investigación de Accidentes de Tránsito. **Página 24.**

5] Análisis Pericial Fidedigno Derivado del Correcto Trabajo de Campo.

Lic. Cyntia Marcela Alfonso; Ministerio Público Chubut. Eje Temático: Resolución de Casos complejos. **Página 24.**

6] Cuando la Imprudencia Dicta Las Normas: El impacto de un siniestro vial en la movilidad urbana.

Ing. Hugo J. Nardelli. Perito de la Provincia de Buenos Aires. Eje Temático: Prevención de Accidentes de Tránsito. **Página 25.**

7] Análisis pericial en discos diagramas y registros en tacógrafos digitales.

PhD. y Profesor Fabio Jagosich – Policía Técnico Científica de Sao Paulo. (Brasil). Eje Temático: Metodologías y Herramientas para la Investigación de Accidentes de Tránsito. **Página 26.**

8] Procesamiento de datos de acelerómetros con aplicación DESAC 1.5.

Ing. Alexandre Fontoura – Policía Científica de Mato Grosso do Sud (Brasil). Eje Temático: Metodologías y Herramientas para la Investigación de Accidentes de Tránsito. **Página 28.**

9] Privacidad, Justicia y Tecnología: El Rol del EDR en el Escenario Europeo.

Perito Luis Ángel Álvarez Gea – ASPEJURE. Eje Temático: Recomendaciones, Propuestas en Procedimientos para la Investigación y/o Reconstrucción de Accidentes de Tránsito. **Página 39.**

10] Uso de la IA en el Ámbito de la Seguridad Vial, Una Mirada a sus Aplicaciones.

Lic. Guido A. Copetti. Ministerio Público de La Pampa – AIC Gral. Acha. Eje Temático: Prevención de Accidentes de Tránsito. **Página 47.**

11] Triple verificación de velocidad en la muerte de Freddy Rincón.

Lic. Gustavo A. Enciso – UNNE. Eje Temático: Resolución de Casos complejos. **Página 59.**

12] Determinación de velocidad por razón cruzada. Aplicación de un caso.

Lic. Diego Rebossio y Lic. Sergio Vera, HSD Estudio Pericial (Neuquén, Argentina), Eje temático: resolución de casos complejos. **Página 67.**

13] Aplicación del motor gráfico de juegos Unreal (UE) Engine y Realidad Virtual (VR), en el proceso de enseñanza del análisis en la reconstrucción de accidentes de tránsito.

PhD. y Profesor Fabio Jagosich – Policía Técnico Científica de Sao Paulo. (Brasil). Eje Temático: Metodologías y Herramientas para la Investigación de Accidentes de Tránsito. **Página 68.**

(1)

Estimaciones de velocidades vehiculares por vídeo y análisis con métodos estadísticos

Fábio Henrique Jagosich; fabio.fhj@policiacientifica.sp.gov.br

Núcleo de Acidentes de Trânsito – Instituto de Criminalística – Superintendência da Polícia Técnico-Científica,
São Paulo (Brasil)

RESUMEN:

El crecimiento exponencial en los últimos años de instalaciones de cámaras de seguridad en las vías públicas, establecimientos comerciales, públicos y residenciales con lo objetivo de monitorización ha traído a la población una mayor sensación de seguridad, además de auxiliar a la policía en la investigación y esclarecimientos de delitos [1].

En los exámenes periciales de accidentes de tránsito, las imágenes registradas por los sistemas de monitoreo han permitido al Perito, en algunos casos, inferir con mayor precisión la dinámica del accidente, así como estimar, a través de metodologías científicas, la velocidad del vehículo involucrado, cuyos resultados son extremadamente relevantes para la aclaración de la causa y la imposición de consecuencias jurídicas [2, 3].

La estimación de la velocidad de un vehículo por vídeo está relacionada con el concepto básico de la cinemática, la velocidad media, que es una grandeza caracterizada por la variación de la posición del vehículo en un determinado intervalo de tiempo [4]. Sabiendo que el vídeo es una sucesión de imágenes que proporciona la sensación de movimiento, el concepto de tasa de reproducción (frame rate), que es la cantidad de fotogramas en un período de tiempo, es fundamental para determinar la variación temporal y su incertidumbre de medición [5].

La variación de la distancia recorrida por el vehículo y sus incertidumbres se puede obtener mediante técnicas de medición realizadas directamente en el local utilizando puntos de referencias en la vía y el posicionamiento del vehículo, o, dependiendo de las características y calidades de las imágenes registradas, se puede obtener mediante la medición directa sobre la imagen digital utilizando el conteo de píxeles, prestando atención a las correcciones de distorsión de la imagen y la aplicación del Método de la Relación Cruzada (Cross-Ratio Method) que relaciona cuatro puntos distintos en el plano asociado a una grandeza invariante [6, 7, 8].

En el presente trabajo tiene como objetivo presentar, en primer lugar, los conceptos para la obtención de la grandeza temporal y las técnicas de medición directa en local, presentando sus ventajas y desventajas. Posteriormente, pretende presentar las técnicas de mediciones en las imágenes, ejemplos de correcciones de distorsión, el uso del Método de la Relación Cruzada, demostrando las ventajas y desventajas, así como presentar resultados comparativos utilizando el software Peritus y métodos estadísticos de distribución de probabilidad y Monte Carlo [9, 10].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] PENNA, R.O.E.M.V. e DUARTE, J.J., Uma morte e um CFTV longínquo: como o esforço pericial e o uso da tecnologia levaram à solução de um crime e à inovação multimídia, Anais do XXVI Congresso Nacional de Criminalística, Campinas, Revista Brasileira de Criminalística, Volume 12, Número 3, 2023. Disponible en <https://revista.rbc.org.br/index.php/rbc/article/view/749/364>. Acceso en 18/02/2025.
- [2] TOCANTINS, R.M., Cálculo de velocidade por meio de câmeras de monitoramento, Memórias do Congresso de Atualización em Reconstrucción de Accidentes de Trânsito 3, Resistencia, 2019.
- [3] VIEIRA, T.G., FRAGA, G.H.C. e MARINHO, P.E.A., Análise de imagens na determinação de velocidades de entrada em perícias de trânsito, Revista Criminalística e Medicina Legal, Volume 1, Número 1, Páginas 12-16, 2016. Disponible en <https://revistacml.com.br/cml-01/>. Acceso en 18/02/2025.
- [4] HALIDAY, D. e RESNICK, R., Fundamentos de Física Volume 1: Mecânica, 10. Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2016.
- [5] MENDES, F., Cálculo de velocidade baseado em imagem de vídeos através de software livre, Trabalho de Conclusão apresentado ao Centro de Referência em Formação e Ead/CERFEAD do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, 2017. Disponible en <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/648>. Acceso en 18/02/2025.
- [6] SILVA, F.R. e FILHO, J.R.C., Cálculo de velocidade por imagens: Um comparativo com a metodologia clássica, Anais do XXVI Congresso Nacional de Criminalística, Campinas, Revista Brasileira de Criminalística, Volume 12, Número 3, 2023. Disponible en <https://revista.rbc.org.br/index.php/rbc/article/view/749/364>. Acceso en 18/02/2025.

- [7] MENDONÇA, G.M.Q., SILVA, G.M. e NASCIMENTO, L.S., Definição da incerteza na estimativa do deslocamento veicular por meio do cálculo da razão cruzada, Anais do XXVI Congresso Nacional de Criminalística, Campinas, Revista Brasileira de Criminalística, Volume 12, Número 3, 2023. Disponible en <https://revista.rbc.org.br/index.php/rbc/article/view/749/364>. Acceso en 18/02/2025.
- [8] WONG, T. W., TAO, C.H., CHENG, Y.K., WONG, K.H., TAM, C.N., Application of cross-ratio in traffic accident reconstruction. Forensic Science International, Volume 235, Pages 19-23, February, 2014. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.11.012>. Acceso en 18/02/2025.
- [9] PERITUS, consultar sitio web: <https://github.com/SEPAEL/Peritus>
- [10] JAGOSICH, F.H., "Estimativa da velocidade veicular por meio de câmera de monitoramento", Webnário, Centro de Perícias, Instituto de Criminalística de São Paulo, 2024.
-

(2)

Determinación de la Velocidad de Impacto de motocicletas mediante ensayos destructivos

Ing. Angel Antonio Montenegro, Ing. Aníbal Oscar Gómez Khairallah, Ing. Walter Fabian Ríos, Estudiante Gabriel A. Montenegro, Técnico Marcos Luis Coronel F.C.E.Y T. - UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO

RESUMEN

El Grupo de Investigadores de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, empleando recursos de bajo costo (del orden de los 150 U\$S) y tecnología, pudieron determinar valores de interés que surgen de los resultados de ensayos de colisiones controladas de motocicletas de 110 c.c. impactando en forma casi perpendicular contra automóviles. Estos valores fueron representados gráficamente, y mediante una función matemática simple, se desarrolló una herramienta de cálculo sumamente fácil de usar, sustentada técnicamente y científicamente. La evaluación utiliza datos experimentales de ensayo de impacto real motocicleta-automovil, los resultados obtenidos dan un indicativo de la velocidad de impacto de la motocicleta. -

INTRODUCCIÓN

Nuestra provincia, nuestro país y Latinoamérica en general, está dentro de aquellos que tienen un elevado porcentaje de accidentes protagonizados por motocicletas de uso masivo como ser la gama de los motovehículos de 110 c.c., paradójicamente es uno de los temas de los que menos se obtiene literatura específica en español y es uno de los menos estudiados y conocidos por peritos, pues cualquier accidente que involucre a una motocicleta agrega una complejidad única a la investigación, que no se la tiene con los accidentes con otros vehículos o con peatones.

Desde el punto de vista biomecánico como el motociclista no está sujeto ni contenido por la motocicleta, normalmente luego del impacto la motocicleta y el conductor se separan, siguiendo sus propias trayectorias de manera independiente. La relación de pesos del motociclista respecto a la motocicleta no es despreciable como lo es en el caso del conductor de un vehículo de mayor porte.

La postura del cuerpo del motociclista ejerce una influencia significativa en el movimiento post impacto, por lo que es importante comprender los mecanismos de expulsión del motociclista de su motocicleta teniendo en cuenta su antropometría

En el marco de la Accidentología Vial Forense, la investigación de los hechos de tránsitos catalogados como Accidentes De Tránsito, requiere de la implementación de conocimientos teóricos y tecnológicos que surgen de la interacción de diversas disciplinas de las ciencias duras.

Muchos de estos requerimientos teóricos refieren además una actualización permanente en relación a la constante modificación que recorre el objeto de la investigación pericial para los estamentos legales, esto es la geometría en el diseño de la motocicleta y el uso de nuevos materiales con tratamientos térmicos.

El Accidentes De Tránsito se conforma entonces como un hecho de compleja investigación debido a la conjunción de sus variables automecánicas, que desarrollan accidentes dentro de un sistema mucho más complejo.

Las proposiciones que se formulan desde la Accidentología Vial para el ámbito judicial se fundan en las utilidades de las ciencias duras y ciencias de la tecnología, por medio de algoritmos y modelaciones que son conjugadas con la matriz de datos que conforman las evidencias del hecho.

En muchas ocasiones, esta matriz suele resultar caprichosamente insuficiente para la ejecución de los algoritmos

El propósito de este trabajo es determinar un algoritmo que se base en parámetros físicos fácilmente medibles, tales como el cambio de la distancia entre ejes de la motocicleta y la profundidad de intrusión en el automóvil.

ANTECEDENTES

Las investigaciones de determinación de la velocidad de impacto de motocicletas en función de la deformación del motovehículo datan de aproximadamente del año 1965 y son:

1960 – JIANG Y COLABORADORES (general de velocidad = f deformación)

1970 – SEVERI (deformación solo motocicleta)

1985 – GRANDEL & ZEISBERGER (deformación motocicleta + automóvil)

2002 – ADAMSON Y COLABORADORES (deformación solo motocicleta)

2006 – WARNER (influencia del punto de impacto vehicular)

2007 – DEYERIL & CHENG (influencia del punto de impacto vehicular)

2009 – BARTLETT - (EUBANKS) (deformación motocicleta + automóvil + ubicación vehicular del punto de impacto)

2009 – WOOD (deformación motocicleta + automóvil)

2009 – GLYNN & WOOD (solo deformación de la motocicleta o solo deformación del automóvil)

2010 – SEARLE (perfecciona la técnica de Wood con coeficientes empíricos)

2014 – WOOD (deformación motocicleta + deformación automóvil + pesos)

2014 – GLYNN (solo deformación de la motocicleta o solo deformación del automóvil + radio de giro + distancia PI al CG + peso de los vehículos)

2014 – BARTLETT/SEARLE (4 ecuaciones sectorizadas).

NUESTRO TRABAJO

Las pruebas han incluido motocicletas que impactan en zonas blandas y en zonas rígidas de un automóvil.

Hemos realizado pruebas de choque de motocicletas en una amplia variedad de ubicaciones y relaciones de velocidad.

Las pruebas de choque se realizan para respaldar el desarrollo de un modelo Físico Matemático que cubra el vacío existente en la problemática de la reconstrucción de accidentes que involucren motovehículos de 110 c.c. como así también de complementar o cotejar con la cinemática del conductor y/o pasajero que resulta del impacto.

Si bien es cierto que el objetivo principal apunta a la Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tránsito, existe la posibilidad de poder orientar el presente trabajo a la Seguridad Vial, específicamente a correcciones en los diseños de la geometría de la motocicleta a fin de disminuir la gravedad del cuadro lesivo cuando se producen accidentes de tránsito.

-

OBJETIVOS

1] Recolectar datos de acortamientos de ejes de motocicletas de 110 c.c., en función de la velocidad de colisión, como magnitudes técnicamente mensurables.

2] Verificar la relación entre variables de acortamiento de ejes de motocicletas de 110 c.c. y deformación en el vehículo impactado (profundidad de intrusión) en función de la velocidad de colisión.

3] Construir un modelo empírico numérico que permita relacionar acortamiento de ejes en motocicletas de 110 c.c. y deformación en el vehículo impactado con velocidad de colisión.

4] Validar el modelo propuesto dentro de la comunidad científica.

MATERIAL Y METODOS:

Motocicletas de 110 cc de diversas marcas nacionales con ruedas de rayos de alambre, que actuaron como vehículos embistentes.

Motocicletas de 110 cc de diversas marcas nacionales con ruedas de aleación de aluminio, que actuaron como vehículos embistentes.

Automóviles de pequeño porte, que actuaron como vehículos embestidos.

Camioneta Toyota Hilux que actuó de vehículo tractor para el ensayo.

Dispositivo de polea con anclaje para ensayo de tracción.

50 metros de cuerda de 16 mm de diámetro.

10 metros de cuerda de 10 mm de diámetro.

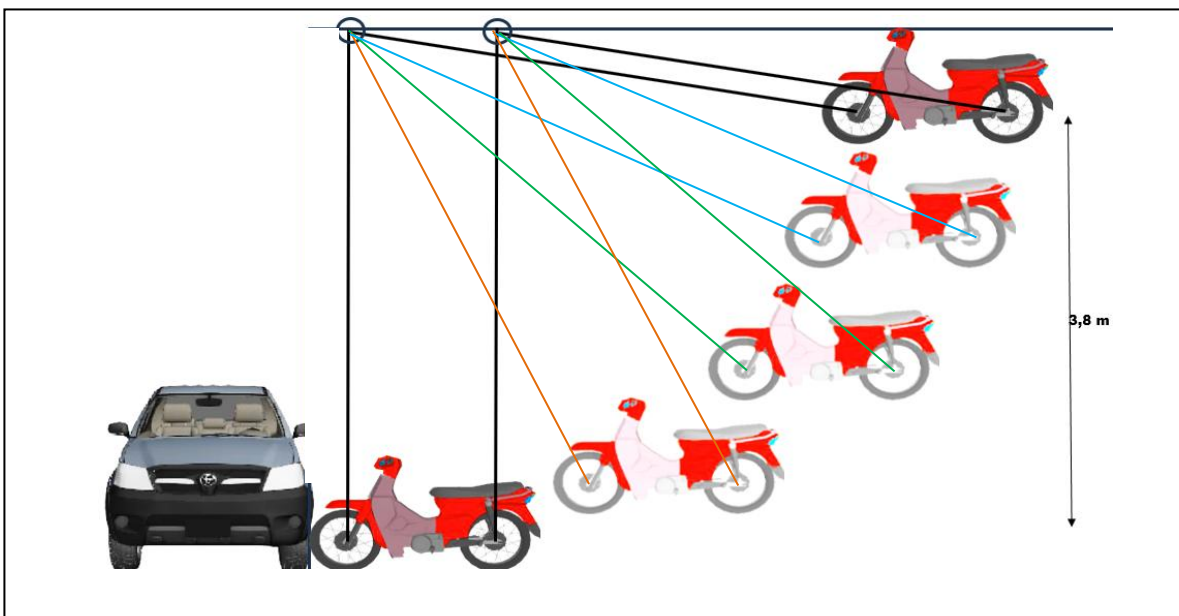
1 Kg de Alambre de uso en la construcción de 1 mm de diámetro.

Caño estructural de 25 x25 mm

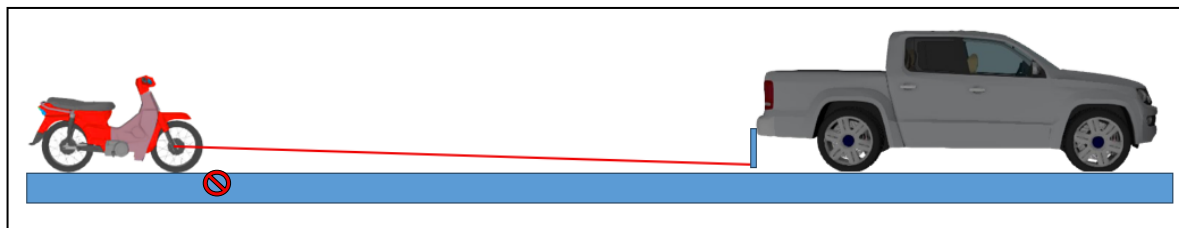
2 cámaras de video (teléfonos smartphone)

1 reloj con GPS

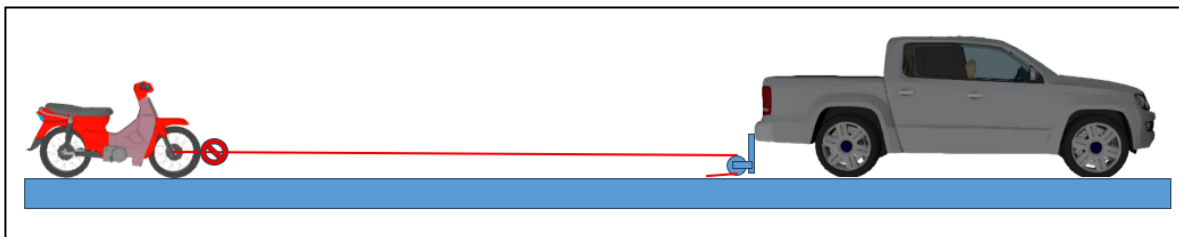
PRIMER MODELO – CONVERSION DE ENERGIA POTENCIAL EN CINETICA



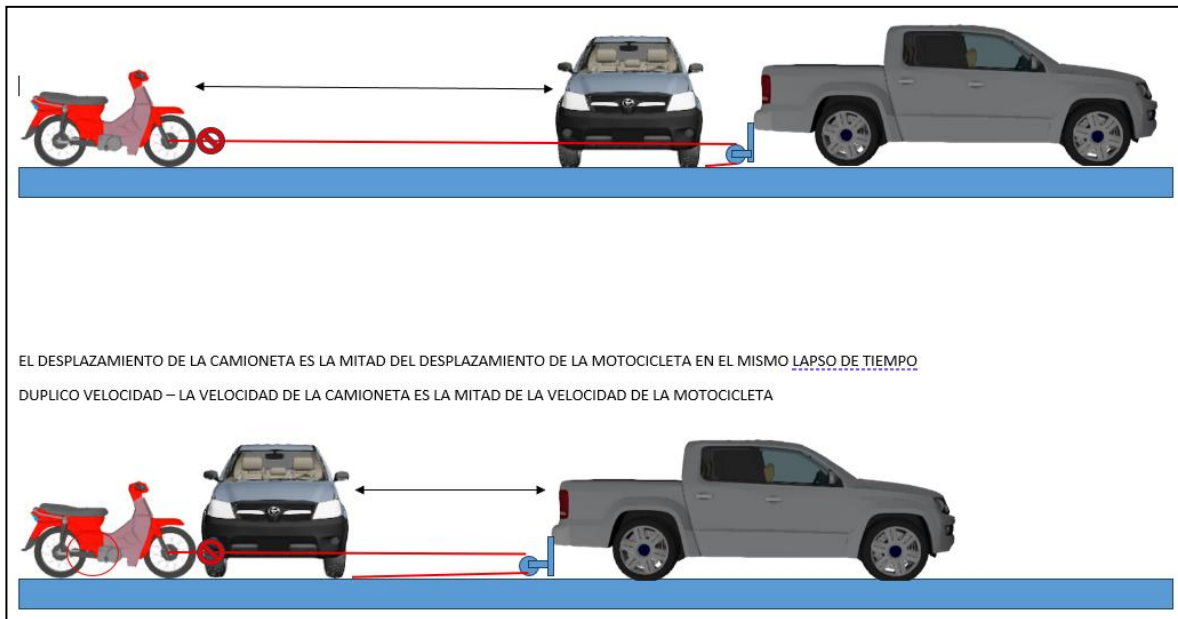
SEGUNDO MODELO – TRACCION SIMPLE DE VEHICULO EMBISTENTE



TERCER MODELO – TRACCION MEJORADA DE VEHICULO EMBISTENTE

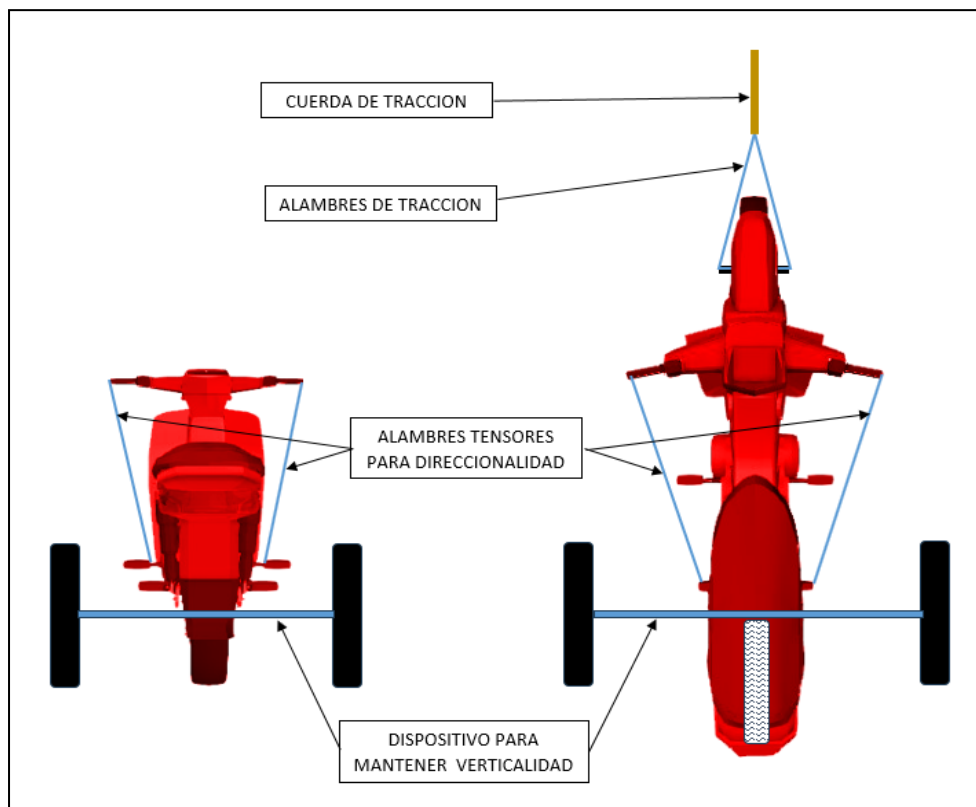


SELECCIÓN DEL TERCER MODELO – ESQUEMA ILUSTRATIVO



En el primer modelo (Conversión de Energías) limitaba la velocidad a 30 Km/h.
En el segundo modelo generaba problemas por la gran distancia necesaria.
El tercer modelo fue la mejor solución de compromiso.

DISPOSICION DE LA MOTOCICLETA PARA MANTENER LA VERTICALIDAD Y LA DIRECCIONALIDAD DURANTE EL ENSAYO DE IMPACTO DINAMICO



METODOLOGIA

Se monta el dispositivo con polea en el enganche trasero de la camioneta, uno de los extremos libres de la cuerda de 16 mm de diámetro se lo vincula al anclaje en el piso mediante 2 (dos) vueltas de alambre de la construcción de 1 mm de diámetro, el otro extremo de la cuerda se lo empalma con el extremo de una cuerda de 10 mm de sección con entalladura, el extremo libre de la cuerda de 10 mm de diámetro se lo vincula al alambre de sujeción de la motocicleta (alambre de fardo o alambre negro de construcción) con 1 (una) sola vuelta.

La razón de disminución de sección de la cuerda y del empleo de alambre de la construcción es lograr en primer lugar que el sistema actúe con varios fusibles mecánicos, y evitar que el esfuerzo de tracción de la camioneta incorpore un daño adicional externo al efecto que se busca determinar, comportándose:

- 1) Como fusible primario, el alambre que se encuentra directamente sujeto a la motocicleta (una vuelta).
- 2) Como fusible secundario, la cuerda de 10 mm de sección.
- 3) Como fusible terciario, el alambre que se encuentra directamente sujeto al anclaje en el piso (dos vueltas).

El anclaje en el piso es realizado mediante un Cáncamo (tonillo con ojal), que además de cumplir con la tarea de fijación, cumple la función de direccionar el impacto, ya que pasa la cuerda por el ojal a fin de asegurar el sector de impacto.

La preparación de la motocicleta insume un tiempo del orden de 2 (dos) horas, y los trabajos consisten en: extraer la batería, el tanque de combustible, la cadena y elementos internos alejados del sector de impacto, esta quita de material es a fines de compensar el peso adicional generado por la colocación de un eje de caño estructural con 2 (dos) ruedas, tendientes a mantener la verticalidad de la motocicleta.

El alambre de tracción (una vuelta de alambre de construcción de 1 mm) se coloca en el sector externo de los extremos del eje delantero.

A los fines de mantener una cierta direccionalidad en el avance de la motocicleta, se vincula los extremos del manubrio de la misma mediante alambre de la construcción a los apoyas pies de la motocicleta.

Una vez montado todo el sistema, se procede a traccionar la motocicleta con la camioneta, dado que el tramo en el cual se desplazará la camioneta es de 25 metros, espacio en el cual debe pasar de 0 Km/h a 30 Km/h, es recomendable hacerlo en 2 marcha en todo momento a fin de evitar los cambios de velocidad que generan tiempos muertos y discontinuidad en los esfuerzos de tracción.

Por la disposición mecánica de la polea, el desplazamiento de la camioneta duplica el desplazamiento de la motocicleta, por ende, el valor de la velocidad de la motocicleta duplica el valor de velocidad de la camioneta.

La medición de velocidad de la motocicleta se hizo a través del programa Tracker, aplicado a los videos que se tomaron desde ambos costados del lugar del impacto, con cámaras ubicadas a 40 cm del nivel del piso y a 5 metros del mismo.

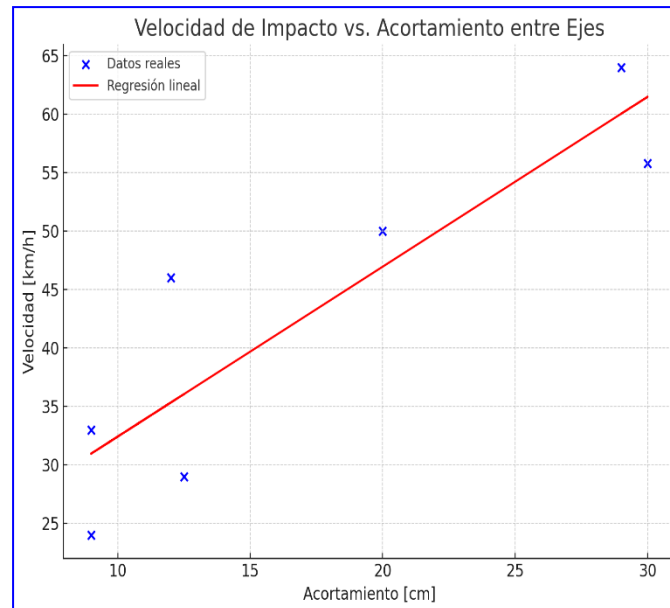
También se cotejo los valores obtenidos con la medición que se registró en reloj con GPS, montado en el interior del baúl de la motocicleta.

SINTESIS DE LOS ENSAYOS (medidas en mm)

ORDEN DE VELOCIDAD DE IMPACTO	SECTOR DE IMPACTO	PROMEDIO DE INTRUSION EN EL AUTOMOVIL	PROMEDIO DE ACORTAMIENTO ENTRE EJES
V = 30 Km/h	PARTE BLANDA	18 a 24	75 a 80
	PARTE DURA	0	90
V = 40 Km/h	PARTE BLANDA	40 a 50	200
	PARTE DURA	0	250
V = 60 Km/h	PARTE BLANDA	60 a 110	250 a 300
	PARTE DURA	0	290

MOTOCICLETAS TODAS LAS MUESTRAS ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL

Diagrama de dispersión de velocidad en función del acortamiento



Para los datos proporcionados, del análisis de regresión lineal se obtiene:

Ecuación de regresión lineal:

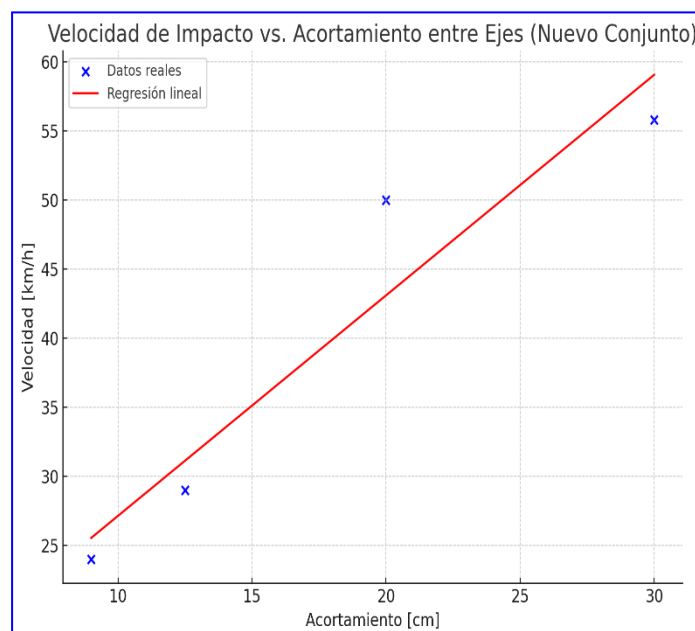
Velocidad a determinar en (km/h) = $1,45 \cdot \text{Acortamiento (cm)} + 17,87$

Coefficiente de determinación (R^2): $R^2=0,793$

Esto indica que aproximadamente el **79,3% de la variación** en la velocidad puede explicarse por el acortamiento entre ejes.

MOTOCICLETAS CON RUEDAS CON RAYOS DE ALAMBRE ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL

Diagrama de dispersión de velocidad en función del acortamiento



Para los datos proporcionados, del análisis de regresión lineal se obtiene:

Ecuación de regresión lineal:

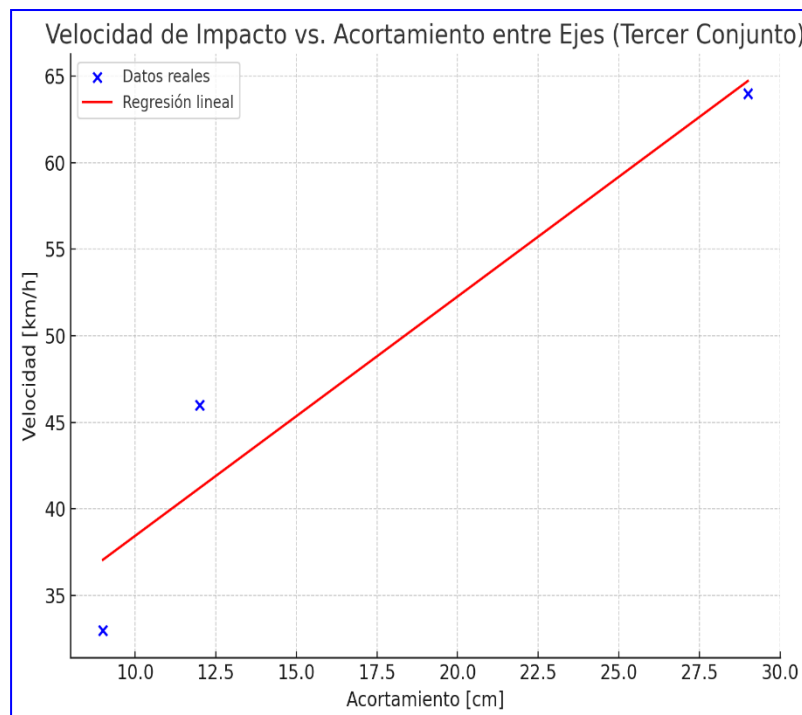
Velocidad a determinar en (km/h) = $1,60 \cdot \text{Acortamiento (cm)} + 11,15$

Coefficiente de determinación (R^2): $R^2 = 0,910$

Esto indica que el modelo explica el **91% de la variabilidad** en la velocidad a partir del acortamiento entre ejes. Es un ajuste muy bueno con estos datos.

MOTOCICLETAS CON RUEDAS CON RAYOS DE ALAMBRE ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL

Diagrama de dispersión de velocidad en función del acortamiento



Para los datos proporcionados, del análisis de regresión lineal se obtiene:

Ecuación de regresión lineal:

Velocidad a determinar en (km/h) = $1,38 \cdot \text{Acortamiento (cm)} + 24,62$

Coefficiente de determinación (R^2): $R^2 = 0,918$

Esto muestra una muy buena correlación lineal: aproximadamente el **91,8% de la variabilidad** en la velocidad puede explicarse por el acortamiento entre ejes en este conjunto.

CONCLUSIONES

- 1) En los ensayos se trabajó con velocidades de referencia del orden de los 30 Km/h, 40 Km/h y 60 Km/h, que son los valores límites respectivamente de: velocidad máxima permitida para intersecciones no semaforizadas, velocidad máxima permitida en calles y velocidad máxima permitida para avenidas. (Ley Nacional de Transito 24.449). -
- 2) Los resultados que se muestran son válidos solo para impactos entre motocicletas tipo CUB de 110 C.C. que colisionan en forma casi perpendicular contra automóviles, en sectores calificados como blandos (puertas y guardabarros) y contra sectores calificados como rígidos (llanta de la rueda o ejes). -
- 3) Los resultados que se muestran son válidos solo cuando los automóviles presentan un estado "normal", es decir, cuando la carrocería no está afectada por la corrosión o tiene daños previos (reparados o no). -
- 4) En impactos del orden de los 30 Km/h, al deformarse los barrales de la suspensión, la rueda no toca con el motor, no se observan daños visibles en las ruedas con rayos de alambre ni en las ruedas de aleación de aluminio. -
- 5) En impactos del orden de los 40 Km/h, al deformarse los barrales de la suspensión, la rueda toca con el motor y se produce la rotura de la cámara y a veces la rotura de la cubierta cuando hace contacto con las aletas de refrigeración. -
- 6) En impactos del orden de los 40 Km/h, al deformarse los barrales de la suspensión, en ruedas con rayos de alambre se producen deformaciones con tendencia a copiar la forma del elemento con el que hicieron contacto, tendencia planar en el sector de la llanta que hace contacto con el motor y deformaciones con tendencia angular en el sector de la llanta que hace contacto con el automóvil.
- 7) En impactos del orden de los 40 Km/h, al deformarse los barrales de la suspensión, en ruedas de aleación de aluminio se producen deformaciones con fracturas solo en el sector de la llanta que hace contacto con el motor, en el sector que hace contacto con el automóvil no se observan deformaciones. -
- 8) Dadas las características de las deformaciones en las motocicletas y en los automóviles se estima más adecuado determinar la velocidad de impacto mediante comparación de características generales de los daños indicados en 2), 3), 4) 5) y 6) con respecto a daños visualizados en el accidente en particular que se analiza.
- 9) Para determinar las velocidades previas al impacto se deben analizar las demás condiciones de entorno. -
- 10) En impactos del orden de los 50 Km/h, al deformarse los barrales, las ruedas tocan con el motor y al colapsar experimentan una destrucción que se la puede calificar como total, en ruedas con rayos de alambre se producen deformaciones con tendencia a copiar la forma del elemento con el que hicieron contacto, deformaciones tendencia planar en el sector de la llanta que hace contacto con el automóvil y deformaciones con tendencia angular en el sector de la llanta que hace contacto con el motor. -
- 11) En todos los impactos el automóvil experimento un desplazamiento transversal. -
- 12) La rigidez de las ruedas de aleación de aluminio es mayor que la rigidez de las ruedas con rayos de alambre. -
- 13) Las deformaciones lineales, en la dirección del impacto, son mayores en las motocicletas con respecto a las deformaciones del automóvil
- 14) La complejidad del presente estudio exige realizar un mayor número de ensayos para validar la expresión matemática que responde al análisis cuantitativo del modelo físico, hasta tanto, el análisis del tipo cualitativo indicado es altamente orientativo y cubre las requisitorias respecto al orden de velocidad de impacto. -
- 15) El estudio no es valido
- 16) Para determinar las velocidades previas al impacto se deben analizar las demás condiciones de entorno. -
- 17) De ser posible, cotejar resultados con la mayor cantidad de métodos posibles. -

BIBLIOGRAFIA

- * Baxter Albert – **Motorcycle Crash Investigation** - Editorial Jacksonville, Fla: Institute of Police Technology and Management, University of North Florida.
- * Jouvencel M. R. – **Biocinémática del Accidente de Tráfico** – Editorial Díaz de Santos.
- * Obenski Kenneth – **Motorcycle Accident Reconstruction: Understanding Motorcycles** – Lawyer & Judges Publishing Co.

- * Reade Mike & Becker Tony - **Fundamentals of Pedestrian/Cyclist Traffic Crash Reconstruction** - Editorial Jacksonville, Fla.: Institute of Police Technology and Management, University of North Florida.

ANEXO FOTOGRÁFICO



DETALLE DEL DISPOSITIVO CON POLEA



DETALLE DEL DISPOSITIVO DE ANCLAJE EN EL SUELO



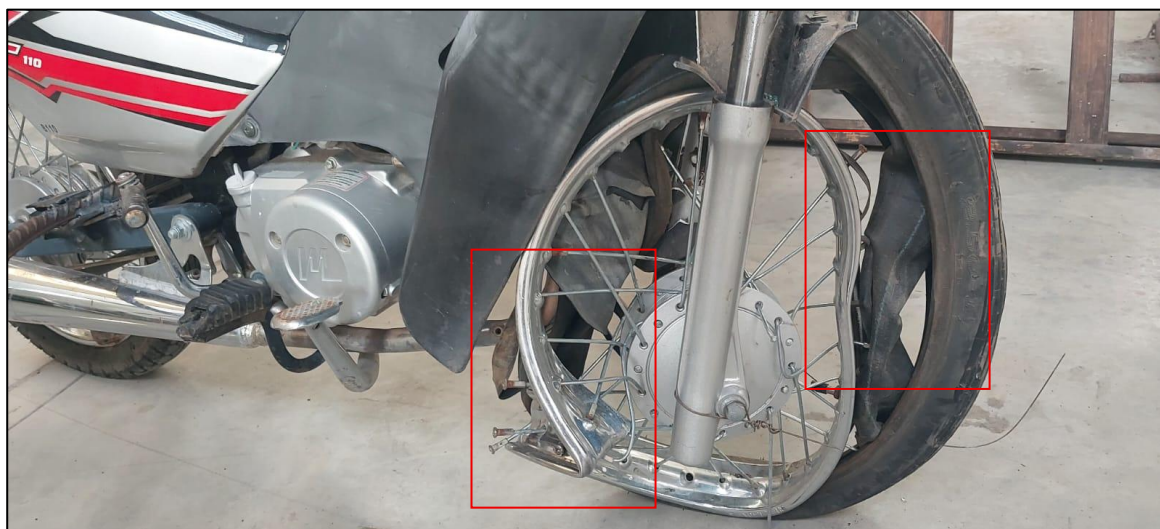
DETALLE DE LOS DISPOSITIVOS SOBRE LA MOTOCICLETA



DAÑOS SOBRE LA MOTOCICLETA A 29 KM/H (RUEDAS CON RAYOS DE ALAMBRE)



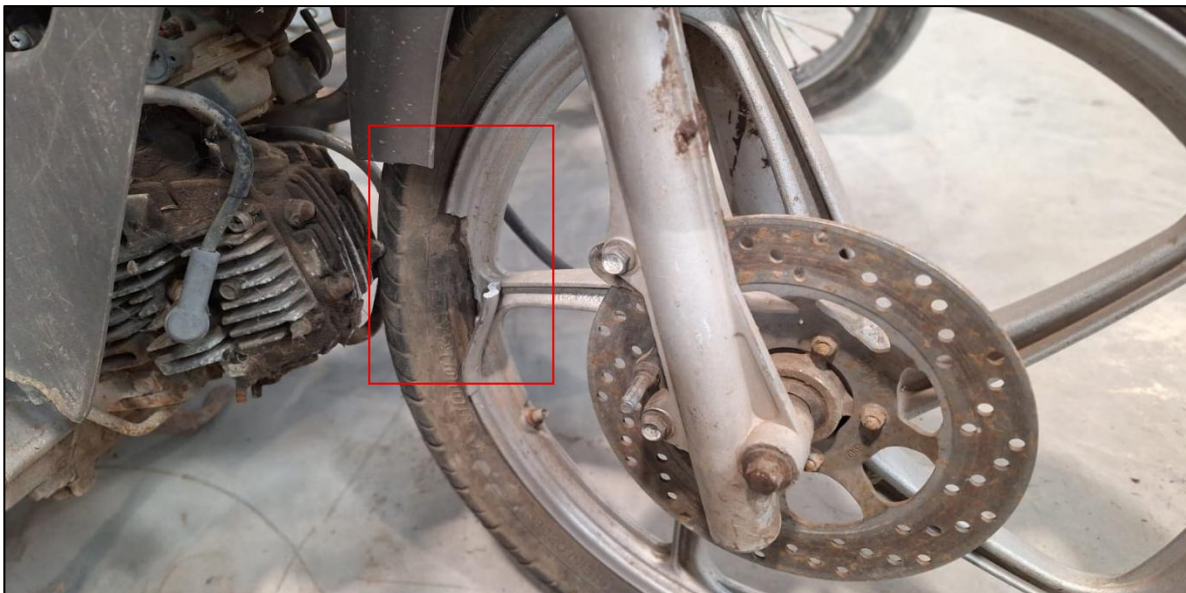
DAÑOS SOBRE LA MOTOCICLETA A 40 KM/H (RUEDAS CON RAYOS DE ALAMBRE)



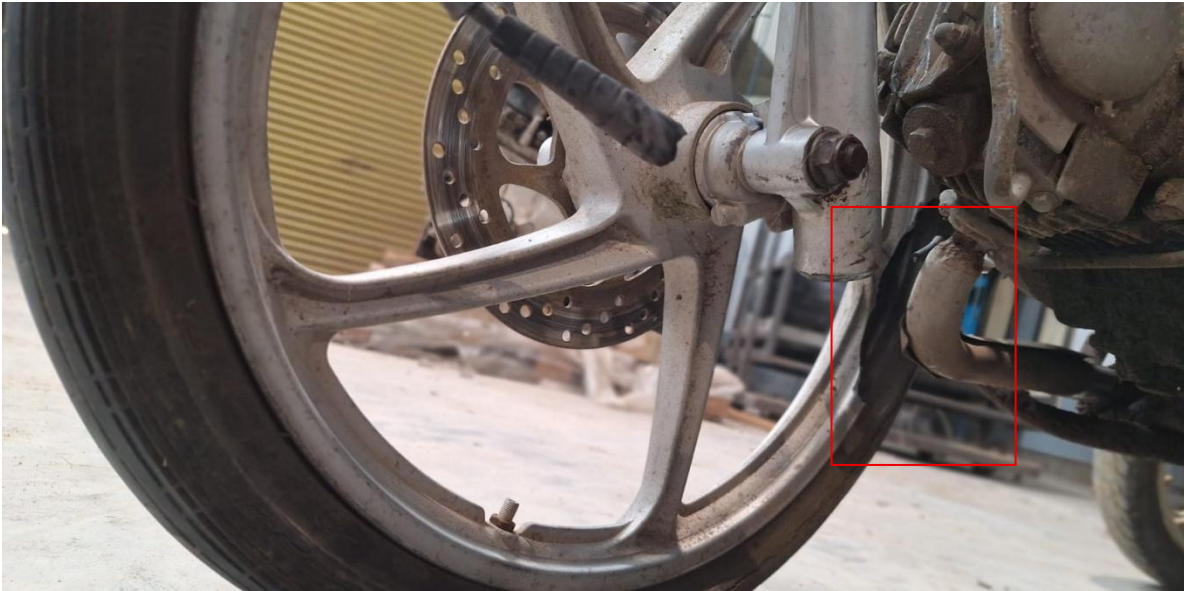
DAÑOS SOBRE LA MOTOCICLETA A 56 KM/H (RUEDAS CON RAYOS DE ALAMBRE)



DAÑOS SOBRE LA MOTOCICLETA A 33 KM/H (RUEDAS ALEACION DE ALUMINIO)



DAÑOS SOBRE LA MOTOCICLETA A 46 KM/H (RUEDAS ALEACION DE ALUMINIO)



DAÑOS SOBRE LA MOTOCICLETA A 46 KM/H (RUEDAS ALEACION DE ALUMINIO).

(3)

Medición de Desaceleración en Personal Mobility Vehicles (PMV)

Maria Gisela Insaurrealde, Accidentóloga - CEIRAT – ginsaurrealde@ceirat.com

RESUMEN:

Investigar los accidentes con Personal Mobility Vehicles (PMV), como monopatines eléctricos, bicicletas asistidas o scooters, es esencial debido al creciente uso de estos medios en entornos urbanos. Su incorporación al tránsito ha generado nuevas dinámicas de interacción con peatones y vehículos motorizados, aumentando el riesgo de siniestros viales. A diferencia de los vehículos tradicionales, los PMV presentan características únicas en cuanto a estabilidad, velocidad, protección del usuario y visibilidad, lo que demanda un análisis específico de su comportamiento en situaciones de riesgo. Además, muchos usuarios carecen de formación vial adecuada, y las regulaciones aún son incipientes o insuficientes. Comprender las causas, patrones y consecuencias de estos accidentes permite diseñar políticas de prevención, mejorar la infraestructura urbana y promover una movilidad segura e inclusiva.

El presente trabajo tiene como objetivo conocer la capacidad de desaceleración de un PMV marca Xiaomi electric scooter 4 Lite, el cual fue sometido a quince (15) pruebas de desaceleración circulando a máxima velocidad.

Los datos se analizan estadísticamente a partir de análisis de video para determinar el comportamiento de la desaceleración. Se comparan los valores con los métodos clásicos de medición de la longitud de las marcas de arrastre.

MÉTODOS Y MATERIALES

Los elementos de trabajo empleados son:

- Una patineta eléctrica marca Xiaomi electric scooter 4 Lite.
- Un celular iPhone 11, empleado con la aplicación GFRecord® que se adaptó al manubrio de la patineta para registro de la desaceleración.
- Un celular Samsung ZFold 5 para grabación de videos de frenada.
- Cinta métrica para medición de las marcas de frenada.
- Tipo de superficie: concreto (hormigón armado).

La patineta Xiaomi electric scooter 4 Lite tiene una velocidad máxima de 25km/hr. En las pruebas el operador circulaba a máxima velocidad y al ingresar a la zona de campo visual de la cámara, donde iniciaba la maniobra de frenado.

La desaceleración se registraba en la aplicación GFRecord®. La cámara se ubicó a 2.5 metros de la línea de frenado. Ver Figura 1, configuración de la prueba de frenado.

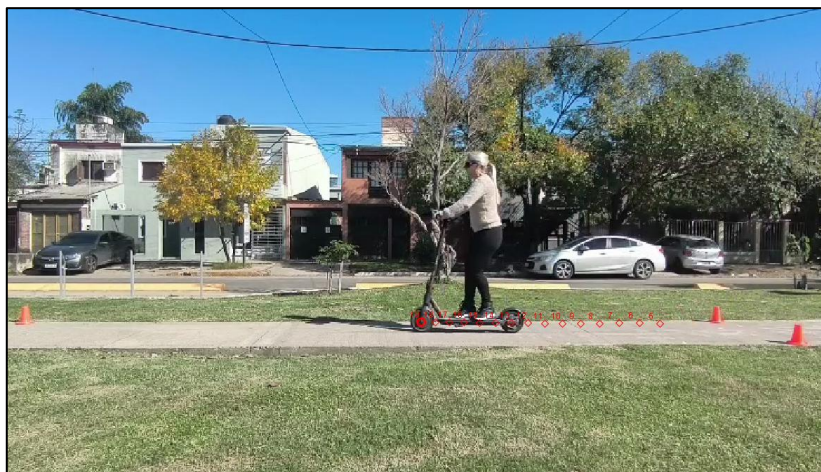


Figura 1: captura de la cámara que registro las frenadas.

Se realizaron 15 mediciones de frenados y los videos de cada ensayo fueron analizados en Tracker®, del cual se extraen las mediciones discretas de desaceleración. Ver Figura 2, captura de pantalla de medición de desaceleración desde Tracker®.



Figura 2: pantalla de trabajo de Tracker® y datos obtenidos de desaceleración media.

De cada medición realizada por video análisis se recogieron en promedio 35 datos de desaceleración media, desde el inicio de frenado hasta la detención de la patineta eléctrica.

La muestra completa se conformó con 529 datos de desaceleración media.

Se introdujo esos datos en la IA ChatGPT con el siguiente prompt: “te voy a dar un excel con datos de medición de desaceleración en metros sobre segundos al cuadrado. Dame una distribución de frecuencia con una comparación de distribución normal, y las medidas de posición central y distribución.”

La Figura 3 muestra la distribución de frecuencia y su comparación con una distribución normal.

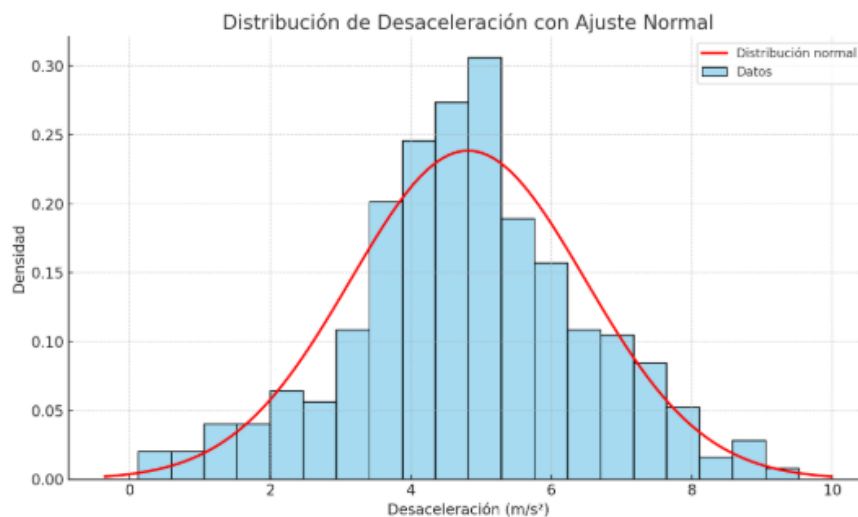


Figura 3: distribución de frecuencia de la muestra de desaceleración obtenida.

Los valores de posición central y distribución son:

Medidas de posición central:

- Media: 4.814 m/s².
- Mediana: 4.797 m/s².
- Moda: 0.114 (con frecuencia 1, lo que sugiere que no hay una moda significativa)

Medidas de dispersión:

- Desviación estándar: 1.672 m/s².

- Varianza: 2.795 m/s^2 .
- Rango: 9.405 m/s^2 . (diferencia entre el valor máximo y mínimo)

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los datos obtenidos desde la aplicación GFRecord® no resultaron completamente aptos para el tratamiento debido a la baja frecuencia de registros y la incorrecta adaptación del celular iphone sobre la patineta eléctrica.

No obstante, se registraron mediciones de desaceleración con picos de 0.42 g (4.15 m/s^2). Ver Figura 4.

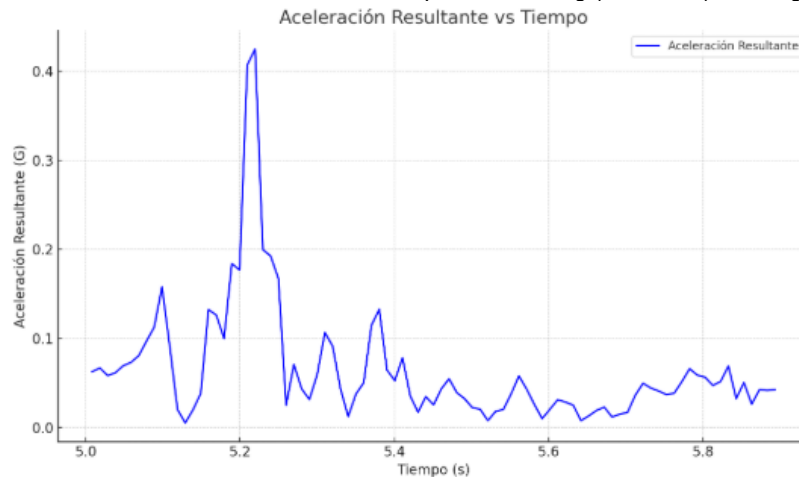


Figura 4: resultados de desaceleración obtenidos de GFRecord®.

Los valores obtenidos por video análisis no se contradicen con las mediciones de otros estudios [2] donde se han obtenidos registros de desaceleración de 0.36 g (3.5 m/s^2), teniendo presente de que se emplearon modelos más antiguos de patinetas (2019).

Se consideran también los valores de desaceleración obtenidos a partir de las marcas de arrastre producidas por la patineta eléctrica. Se tomaron cinco (5) mediciones de arrastre. Las medidas de estas marcas se ilustran en la Figura 5.

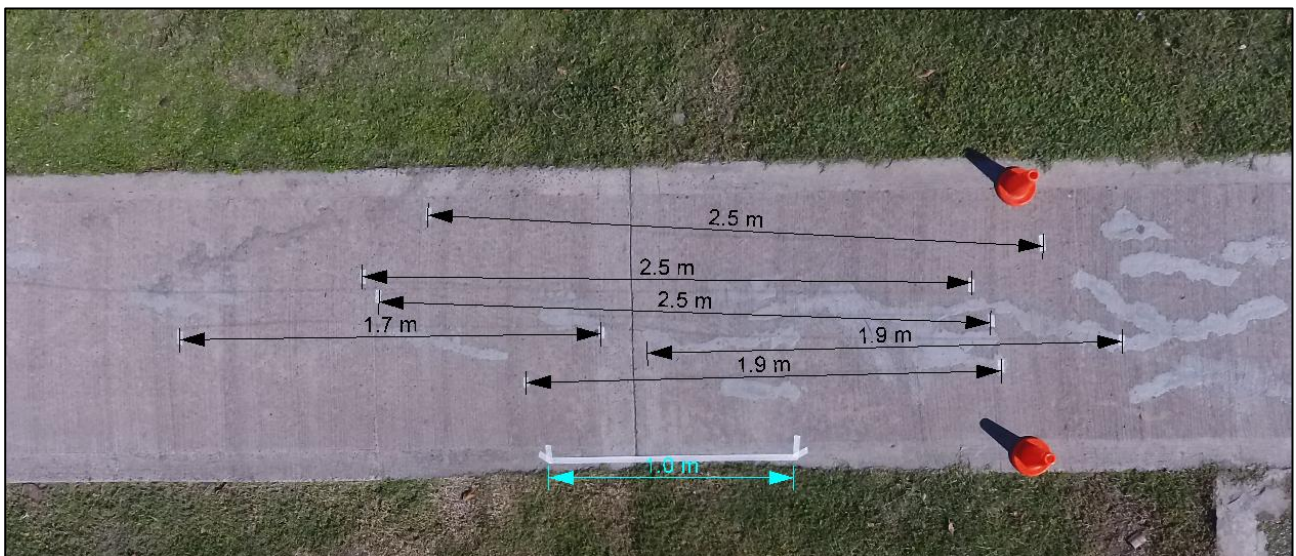


Figura 5: cinco mediciones de marcas de frenado.

Las medidas de desaceleración que se obtienen a partir de las marcas de arrastre se calculan entre 0.98 g a 1.45 g , sin ninguna correspondencia con los valores obtenidos descartando esta metodología para verificar desaceleración.

CONCLUSIONES

Considerando la muestra grande de mediciones de desaceleración media mediante video análisis, se recomienda considerar una desaceleración media de 0.49 g con una desviación estándar de 0.17 g.

No se recomienda utilizar las evidencias de longitud de huella de arrastre como indicador para estimación de la velocidad de la patineta eléctrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS:

- 1] Manual Xiaomi Electric Scooter 4 Lite. [https://www.mi.com/co/support/user-guide-pdf/xiaomi-electric-scooter-4-lite-\(2nd-gen\)](https://www.mi.com/co/support/user-guide-pdf/xiaomi-electric-scooter-4-lite-(2nd-gen))
 - 2] Robert O Anderson, Michael Rosenfield, Russell Anderson. Electric scooter hard brake, acceleration and top speed Testing. Collision Magazine – Vol 15.
 - 3] Gustavo A. Enciso, M. Gisela Insaurralde, A. Montenegro. Mediciones de factor de desaceleración en frenados de vehículos con smartphone. VXII Congreso de Criminalística, Florianopolis 2017. Asociación Brasileira de Criminalística.
-

(4)

Experiencias y Formatos de Crash Test realizados en Brasil.

Emerson L. Reis; emersonperito852@gmail.com

RESUMEN:

Apresentação dos modelos de Crash Test realizados no Brasil desde 2018, quando foi realizado o primeiro Crash Test para fins de investigação Forense no Brasil. Apresentação dos crash tests realizados durante a conferência "Anual Crash Test" na cidade de Campo Grande/MS dos anos de 2019 a 2025. Experiências que adquirimos até o momento realizando este tipo de evento. Dificuldades e também as conquistas até aqui alcançadas. Objetivo testar metodologias de reconstrução de sinistros de trânsito, especialmente colisões veiculares, atropelamentos e colisões com ciclistas. Coleta de dados de desaceleração por frenagem, deslizamento de motocicletas e projeção de pedestres em trajetória do tipo Wrap.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS:

Motorcycle Accident reconstruction. Natan Rose. SAE International. <https://www.sae.org/publications/books/content/r-483/?src=2018-01-0517>
Burg, Heinz; Andreas Moser. Handbook of Accident Reconstruction. 1st Edition.
Fricke, Lynn B., "Accident Crash Reconstruction" 2th Edition, Northwestern University, 2010.
Limpert R., "Motor Vehicle Accident Reconstruction and Cause Analysis. 7th Edition, Lexis Nexis, 2022.

(5)

ANÁLISIS PERICIAL FIDEDIGNO DERIVADO DEL CORRECTO TRABAJO DE CAMPO

Autor: Cyntia Marcela Alfonso - Email: cyntiamarcelaa.ca@gmail.com

RESUMEN

En fecha 17-07-2024, en provincia del Chubut, aproximadamente 15km de la localidad de Sarmiento hacia cardinal Oeste, sobre Ruta Nacional Nº 26, kilómetro 154, entre las 15-16hs aproximadamente, se registró un suceso de tránsito que involucró a un vehículo Volkswagen, Gol 1.6, Sedan 5 ptas. Comfortline L/06, dominio GWV114, 2008 y un TractorCamión Scania, modelo G340B4X2, dominio KES545, 2011, con acoplado Hermann, modelo Baranda Volcable ABV.3E.23 dominio AC399NF, 2018; resultando en el deceso de una persona y dos con lesiones de diferente gravedad.

OBJETIVOS

- Aproximación al lugar del suceso, preservación, relevamiento. Aplicación de metodología de trabajo, asignación de roles.
- Elaboración del informe pericial accidentológico.

FINALIDAD DEL TRABAJO

Enfatizar que la realización de una buena preservación del suceso de tránsito, el trabajo en equipo de los diferentes agentes intervinientes, el cumplimiento de los roles que corresponden a cada uno de ellos, la mirada científica del perito accidentólogo-coordinador del trabajo al relevar los indicios en el lugar; realizado sin prisa y con una metodología adecuada, deriva en un análisis posterior claro, confiable y objetivo del hecho investigado.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA:

[1] Ley Nacional de Tránsito Nº 24.449. Título VI - Capítulo I. Art.39. Inc. b). Capítulo II. Art.51. Inc. b): 3. Dr. Adolfo Roberto Vázquez. Edición 1999. Editorial Ruy Díaz S.A.E.I.C. Buenos Aires.
[2] R.A.C.T.T. - Reconstructor Analítico de Colisiones de Tránsito Terrestre 6.0 – CEIRAT & Gustavo A. Enciso
<https://ceirat.com/ractt/>.

[3] Autos Clásicos de Argentina Volkswagen Gol. Juan Ignacio Gaona. 31/1/2024 <https://noticias.autocosmos.com.ar>

[4] PROCURACION GRAL. MPF PCIA CHUBUT INSTRUCCIÓN N° 005/09 P.G. PROCURADOR GENERAL DE LA PCIA DR. JORGE LUIS MIQUELARENA. INSTRUCTIVO DE ACTUACION DEL LUGAR DEL HECHO Y SUS MODIFICACIONES POR RESOLUCIÓN N°166/17.

(6)

Cuando la Imprudencia Dicta las Normas. El Impacto de un Siniestro Vial en la Movilidad Urbana

Ing. Hugo Javier Nardelli; hjnardelli@yahoo.com.ar

RESUMEN:

En noviembre de 2021, un joven alcoholizado conduciendo a alta velocidad por la Av. Patricio Peralta Ramos, en Mar del Plata, protagonizó un siniestro vial que rápidamente se viralizó por redes sociales y medios: instantes antes del impacto, registró en video la frase “si nos matamos, nos matamos”. El accidente no sólo tuvo consecuencias legales, sino que impactó directamente en la configuración de la infraestructura vial local. A partir del hecho, el municipio instaló reductores físicos, divisores viales y radares con un límite de 30 km/h en zonas de alto tránsito costero.

Esta ponencia analiza cómo un hecho individual de extrema imprudencia puede influir de forma desproporcionada en políticas públicas de movilidad, priorizando la reacción social frente al análisis técnico. Se exponen criterios de seguridad vial y se cuestiona la eficacia real de las soluciones adoptadas.

El trabajo propone una reflexión técnica sobre la diferencia entre decisiones viales basadas en evidencia y aquellas impulsadas por la presión mediática, evidenciando cómo el diseño urbano puede terminar siendo dictado por hechos excepcionales, y no por estudios sistemáticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Primera cita 1] Infobae (2021, 2022). “Si nos matamos, nos matamos”: cobertura del siniestro vial de Mar del Plata.

Segunda cita 2] La Nación+

Tercera cita 3] “El Trece” – Telenoche

Cuarta cita 4] OMS (2018). Global Status Report on Road Safety.

Quinta cita 5] Ley 24.449 Ley Nacional de Tránsito de la República Argentina

(7)

Análisis periciales en discos diagramas y registros en tacógrafos digitales

Fábio Henrique Jagosich; fabio.fhj@policiacientifica.sp.gov.br

Núcleo de Acidentes de Trânsito – Instituto de Criminalística – Superintendência da Polícia Técnico-Científica,
São Paulo (Brasil)

RESUMEN:

Tacógrafo es el instrumento o conjunto de instrumentos destinado para indicar y registrar, de manera simultánea, inalterable y instantánea, la velocidad y la distancia recorrida por el vehículo, en función del tiempo ão do tempo transcurrido, así como los parámetros relacionados con el conductor del vehículo, como: tiempo de trabajo y los tiempos de parada y conducción [1].

Los propósitos del tacógrafo incluyen: proporcionar la mejora de la seguridad del tránsito; permitir la inspección en cualquier momento y lugar con lectura directa; posibilitar el análisis pericial en casos de accidentes de tránsito; controlar el tiempo al volante con registro continuo, instantáneo y inalterable y la estandarización de los registros a nivel mundial [2].

Así, delante de las diversas aplicaciones, desde sus inicios en Europa en 1947, los tacógrafos se han vuelto ampliamente utilizados en varios países del mundo, especialmente, en la Unión Europea y países latinoamericanos como Argentina, Brasil, Chile, Paraguay, Uruguay y México, cuyo uso es obligatorio por legislación para categorías específicas de vehículos [3, 4, 5].

Existen diferentes fabricantes de tacógrafos, sin embargo, los modelos se dividen e: mecánicos, electrónicos y electrónicos modulares (tacógrafos analógicos) que utilizan discos diarios o semanales y, más recientemente, los tacógrafos digitales que permiten la impresión de datos en tickets de registro, pero, principalmente, la extracción digital de las informaciones segundo a segundo, permitiendo análisis con excelente precisión [6, 7, 8, 9].

En el presente trabajo tiene como objetivo presentar, en primer lugar, la limitación temporal en los registros en discos de tacógrafos analógicos que son intrínsecos al propio instrumento y a su forma de registro, pero que, sin embargo, pueden ser mejor analizado mediante la captura en un microscopio óptico, la digitalización de la información impresa e los estudios de los resultados en softwares gráficos de análisis de datos y estadísticos, como Origin, LabPlot y SciDAVis. Posteriormente, pretende presentar las ventajas del uso de datos extraídos de tacógrafos digitales y los resultados obtenidos mediante integraciones numéricas, extrapolación, interpolación y método numérico de ajuste de curvas [10].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS:

- [1] BRASIL, Ministério da Economia. Portaria INMETRO nº 481/22. Aprova o Regulamento Técnico Metrológico consolidado para cronotacógrafos. Disponible en <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002874.pdf>. Acceso en 17/02/2025.
- [2] NORONHA, L., Apresentação da Continental / VDO: Registrador inalterável de velocidade e tempo, 2024.
- [3] UNIÃO EUROPEIA, Regulamento (EM) nº 165/2014 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de fevereiro de 2014, Relativo à utilização de tacógrafos nos transportes rodoviários, que revoga o Regulamento (CEE) n.o 3821/85 do Conselho relativo à introdução de um aparelho de controlo no domínio dos transportes rodoviários e que altera o Regulamento (CE) n.o 561/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo à harmonização de determinadas disposições em matéria social no domínio dos transportes rodoviários (JO L 60 de 28.2.2014, p. 1). Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0165>. Acceso em 17/02/2025.
- [4] BRASIL, Ministério dos Transportes. Resolução. CONTRAN nº 993/23. Estabelece os equipamentos obrigatórios para a frota de veículos em circulação e relaciona o índice de regulamentações sobre segurança veicular aplicáveis. Disponible en <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao9932023.pdf>. Acceso en 17/02/2025.
- [5] ARGENTINA, Decreto Reglamentario 1716/2008 – Anexo X. Disponible en https://ligadelconsorcista.org/files/anexo_decreto_1716-2008.pdf. Acceso en 17/02/2025.
- [6] VDO, consultar sitio web: <https://www.vdo.com.br/>
- [7] ACTIA, consultar sitio web: <https://tachograph.actia.com/en/>

[8] STONERIDGE, consultar sitio web: <https://stoneridge.com.br/>

[9] FUL-MAR, consultar sitio web: <https://www.ful-mar.com.br/>

[10] JAGOSICH, F.H., “Análises periciais em disco diagramas e registros digitais de tacógrafos”, Webnário, Centro de Perícias, Instituto de Criminalística de São Paulo, 2024.

(8)

Processamento de datos de acelerómetros e giroscopio con aplicación DESAC 1.5 e VDAC 2.0

Alexandre Magno Bernardo Fontoura; alexandre.fontoura.consulting@gmail.com.

RESUMEN:

Los acelerómetros son equipos con una alta barrera de entrada, ya que tienen costos y procesos de importación considerables, que pueden hacer inviable su aplicación en el trabajo forense cotidiano. Ante este escenario, se ha vuelto muy importante el desarrollo de herramientas y aplicaciones informáticas accesibles que puedan obtener y procesar datos con buena calidad [1], ya que no sólo hacen factible su uso con fines forenses, sino que también permiten procesar los datos de manera científica. El procesamiento de los datos adquiridos mediante el uso de smartphones [2,3,4,5], utilizando la aplicación G-Field Recorder [6] en lugar de los acelerómetros establecidos, combinado con herramientas desarrolladas en lenguaje Python e inteligencia artificial [7], en este trabajo el Código de Análisis de Señales de Desaceleración (DESAC) y el Código de Análisis de la Dinámica del Vehículo (VDAC), ha demostrado que es posible aplicar esta configuración de bajo coste y obtener resultados de alto valor científico. DESAC y VDAC son códigos que permiten analizar datos de aceleración y rotación y hacen posible reconstruir con precisión accidentes de tráfico de gran complejidad.

INTRODUCCION

Los especialistas en reconstrucción de accidentes recurren habitualmente al software informático para realizar sus análisis. Aunque disponen de una gran variedad de paquetes de software, muchos de ellos utilizan aplicaciones personalizadas basadas en hojas de cálculo, como Microsoft Excel, para llevar a cabo sus análisis. Los paquetes comerciales como *Virtual Crash* o *PC-CRASH* ofrecen una interfaz mejorada y la posibilidad de crear animaciones tridimensionales sofisticadas del movimiento de los vehículos, pero su coste puede ser prohibitivo. Además, se requiere una buena experiencia de usuario, por lo que éste debe introducir los valores más realistas posibles para las variables físicas relacionadas con los fenómenos estudiados, de modo que estos programas puedan proporcionar buenas estimaciones de velocidad. En este marco, VDAC y DESAC son softwares implementados basados en Python que, en su estado actual, pueden automatizar análisis de datos obtenidos por acelerómetros fijados a vehículos, como aceleración longitudinal e transversal, velocidad lineal, velocidad angular, ángulo de rotación, trayectoria del centro de gravedad e ángulo posterior al impacto. En esta publicación se ilustran las capacidades actuales de VDAC y DESAC y se evalúa su precisión mediante validación con vídeos en software libre *Tracker*. Los resultados indican que estos softwares están bien equipados para realizar análisis fundamentales de reconstrucción de accidentes, incluidos los efectos relacionados con el impacto, pero su sensibilidad a la calidad de los datos es una limitación, el acelerómetro debe estar bien fijado, calibrado y preferiblemente con ejes de referencia claramente adoptados.

DESARROLLO

DESAC

1. Fijación de un acelerómetro al vehículo de interés

Para obtener los datos que procesarán los programas, es necesario instalar un acelerómetro lo más cerca posible del centro de gravedad (c.g) del vehículo estudiado. En este trabajo se probó un acelerómetro de smartphone para análisis de DESAC. Para hacerlo, se fijó un *iPhone 14 Pro Max* cerca de la palanca de cambios del vehículo, dejándolo en una posición en la que la aceleración en el eje y del dispositivo se correspondía con el eje longitudinal del vehículo (ilustraciones 4 y 5). Utilizando la aplicación móvil G-Field Recorder, se obtuvieron los datos en formato .csv o .txt y se organizaron e importaron correctamente por los softwares. Los datos de ejemplo para este trabajo considera una frenada de un camión tanque munido de un sistema de frenos ABS en la carrocería y sistema neumático en el semirremolque.

2. Importación de datos al programa DESAC

Como se muestra en las ilustraciones 2 y 6, el programa permite importar los datos exportados por la aplicación GFRecorder (ilustración 5) en formato .csv o .txt e organiza su separación en columnas.

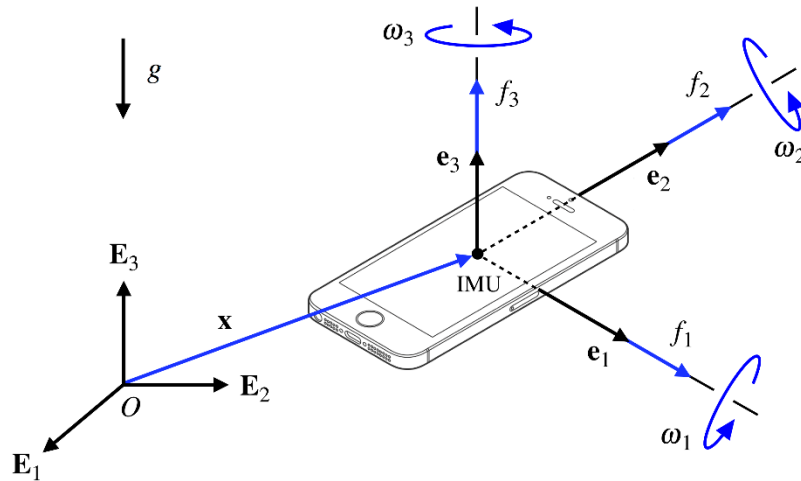


Ilustración 1: Ejes de referencia de un smartphone [8].

```
=====
DESAC - Código de Análisis de Señal de DEceleración
Edición Mejorada del Método Inverso
=====
Este programa analiza datos de deceleración de acelerómetros utilizando el método inverso
que calcula la velocidad inicial mediante la integración inversa de los datos de aceleración.
Esta versión incluye métodos avanzados para integración de orden superior, análisis de errores,
e inferencia bayesiana para mejorar la precisión y cuantificación de incertidumbre.

ATENCIÓN: Todos los resultados deben ser verificados por el usuario.
El autor no es responsable por cualquier uso indebido de este programa.

Concepto original de Kleber Cardoso (kleber.cardoso@hotmail.com)
Versión mejorada: Marzo 2025
=====
Introduzca la ruta al archivo de datos (.txt, .csv, or .xlsx):
```

Ilustración 2: Interface de DESAC en su versión 1.5.

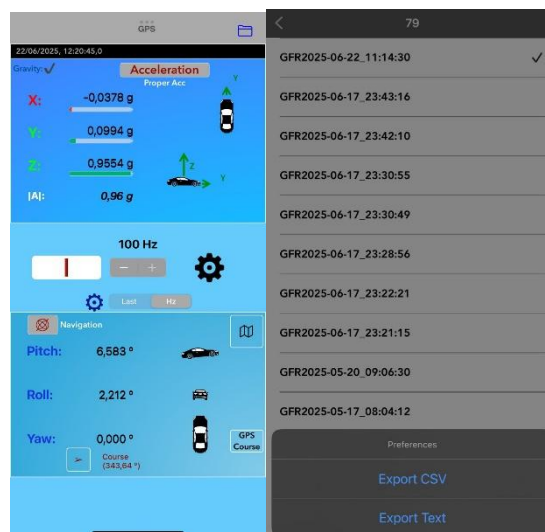


Ilustración 3: Interface de la aplicación GFRRecorder e ventana de exportación.



Ilustraciones 4 y 5: Ejemplo de fijación del teléfono móvil iPhone 14, equipado con el aplicación GFRecorder, al soporte original del vehículo, cerca del pomo de la palanca de cambio de marchas.

```

Fallback: using delimiter ','
2025-06-22 11:29:01,584 - INFO - [desac-v9c_es.py:652] - Detected scientific notation with period decimal separator
Detected delimiter: ',' | Decimal separator: '.'
Archivo importado exitosamente.

Columnas disponibles: Time, Xg, Yg, Zg, Pitch, Roll, Yaw, Course, Speed, Altitude, Peek, HeaderLatitude, Longitude,
.1, Hori_Accuracy, Vert_Accuracy

Primeras filas:
      Time      Xg      Yg      Zg      Pitch      ...      HeaderLatitude  Longitude  Peek.1  Hori_Accuracy  Vert_Ac
0  0.000000  0.010208  0.031464  0.976288  2.545724  ...      -54.58147    2.765109    3.0      NaN
1  0.009968 -0.002716  0.054337  0.995865  2.545120  ...      -54.58147    2.765109    3.0      NaN
2  0.019936  0.006836  0.069611  1.006699  2.544636  ...      -54.58147    2.765109    3.0      NaN
3  0.029905  0.005920  0.030701  0.974503  2.543485  ...      -54.58147    2.765109    3.0      NaN
4  0.039873  0.008575  0.025452  0.968353  2.542979  ...      -54.58147    2.765109    3.0      NaN

```

Ilustración 6: Importación de datos con éxito.

3. Corrección de compensación de la señal (desaceleración)

Como se muestra en la ilustración 7, el programa hace la compensación automática de la señal de interés mediante un gráfico de señales interactivo que se ejecuta con sólo dos clics entre los intervalos de tiempo elegidos (ilustración 8).

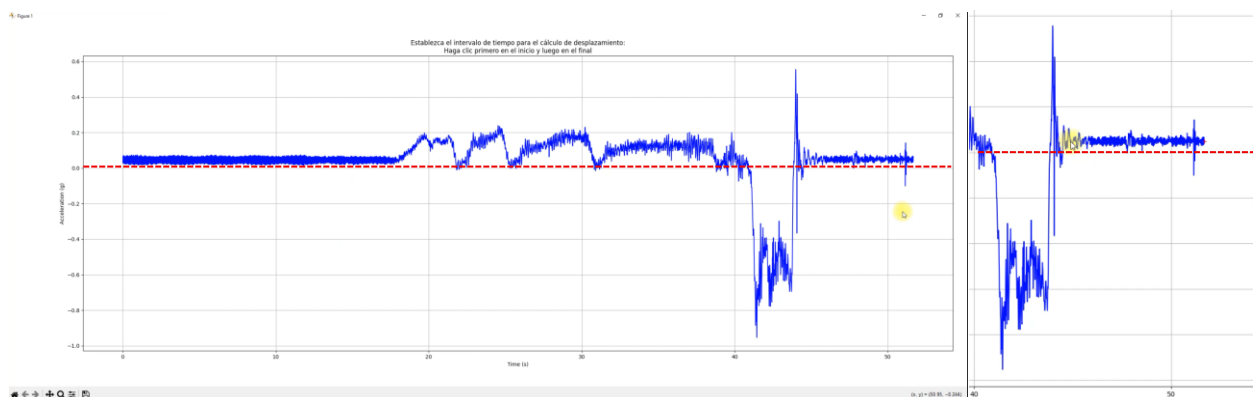


Ilustración 7: Señal de interés con problema de compensación e su corrección (cero es la línea de puntos roja).

```

=== Configuración de Compensación (Offset) ===
¿Desea especificar un intervalo para el cálculo de compensación? (S/N): S
Rango de tiempo disponible: 0.0000 a 51.6653
Haga clic en el gráfico para seleccionar los tiempos de inicio y fin para el cálculo de compensación.
2025-06-22 11:41:46,482 - INFO - [figure.py:3567] - input 1: 44.600093, 0.052552
2025-06-22 11:41:48,825 - INFO - [figure.py:3567] - input 2: 51.491859, 0.052552
Intervalo de compensación capturado: 44.6001 s a 51.4919 s
Compensación calculada: 0.049530

```

Ilustración 8: Valor estimado de corrección de compensación con sólo dos clics dentro del programa.

4. Estimativa de velocidad

De la misma forma interactiva, el usuario elige los puntos de inicio y fin del frenado. El programa utilizará la integración inversa ("backward") e un modelo bayesiano exponencial de desaceleración para estimar la velocidad en el momento logo antes del frenado, suponiendo que el vehículo se ha detenido en el intervalo de tiempo final elegido por el usuario.

```

Concavidad positiva (forma de 'U'): la deceleración aparece como valores negativos
Concavidad negativa (forma de 'n' invertida): la deceleración aparece como valores positivos
Observar el tramo correspondiente al frenado y determinar el tipo de concavidad.
ADVERTENCIA: DESAC necesita una señal de aceleración negativa para continuar.
¿El gráfico de aceleración tiene concavidad positiva (forma de 'U')? (S/N):S
Haga clic primero en el INICIO del frenado, luego en el FIN del frenado.
El programa asume que el vehículo está detenido (velocidad = 0) en el punto final.
Braking START captured: 40.90 s
Braking END captured: 44.16 s

Braking interval: 40.9036 s to 44.1615 s
2025-06-22 11:42:04,599 - INFO - [desac-v9c_es.py:1485] - Utilizando el modelo de desaceleración: exponencial
Calculated initial velocity: 56.02 km/h (15.56 m/s)

```

Ilustración 9: Estimativa de velocidad con éxito.

5. Comparación con las mediciones in situ

A continuación, el usuario introduce las mediciones de las marcas de frenado utilizando una cinta métrica, o una rueda de medición o mismo un análisis visual. De este modo, estima los intervalos de tiempo y las distancias de deceleración más próximos a los datos introducidos, para poder estimar el transitorio de la fase poco visible de la marca de freno (ilustración 10).

```

Excel file saved to: C:\Users\Perito Alexandre\Desktop\TESTES DRAG SLED\results\analysis_20250622_115206\braking_analysis.xlsx
¿Desea analizar la longitud de la marca de frenado? (S/N): S
Ingrese la longitud medida de la marca de frenado (m) (mín: 0.0): 22

Método de medición:
1. Cinta métrica (±0.5m)
2. Rueda de medición (±0.5m)
3. Estimación visual (±1.50m)
Seleccione método de medición (1-3) (1 a 3) [1]: 1
Incertidumbre estimada: ±0.50 m

Puntos más cercanos a la longitud de la marca:

Puntos con distancia mayor que la longitud de la marca:
Tiempo: 40.9395 s, Distancia: 22.6229 m, Velocidad: 55.9384 km/h
Tiempo: 40.9494 s, Distancia: 22.4682 m, Velocidad: 55.9158 km/h
Tiempo: 40.9594 s, Distancia: 22.3134 m, Velocidad: 55.8909 km/h
Tiempo: 40.9694 s, Distancia: 22.1586 m, Velocidad: 55.8651 km/h
Tiempo: 40.9793 s, Distancia: 22.0039 m, Velocidad: 55.8433 km/h

Puntos con distancia menor que la longitud de la marca:
Tiempo: 40.9893 s, Distancia: 21.8493 m, Velocidad: 55.8230 km/h
Tiempo: 40.9993 s, Distancia: 21.6949 m, Velocidad: 55.7986 km/h
Tiempo: 41.0092 s, Distancia: 21.5404 m, Velocidad: 55.7698 km/h
Tiempo: 41.0192 s, Distancia: 21.3860 m, Velocidad: 55.7432 km/h
Tiempo: 41.0292 s, Distancia: 21.2317 m, Velocidad: 55.7161 km/h

```

Ilustración 10: Estimativa de velocidad con éxito.

6. Análisis dos datos e visualización interactiva

Por último, el programa genera todos los gráficos de las variables, además de abrir una ventana tridimensional interactiva para visualizar los datos de aceleración, tiempo y distancia analizados (ilustración 11).

3D Visualization: Time, Velocity, Acceleration

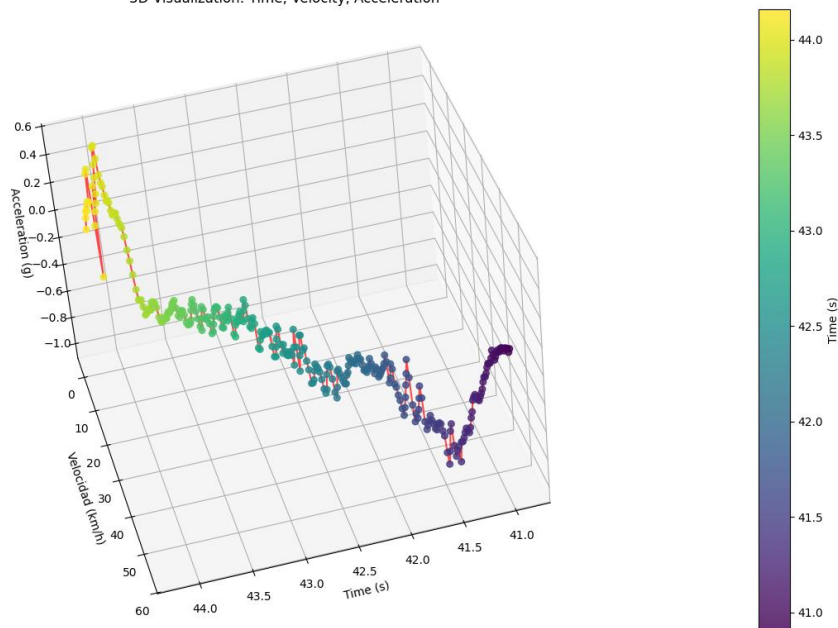


Ilustración 11: Ventada de visualización 3D interactiva.

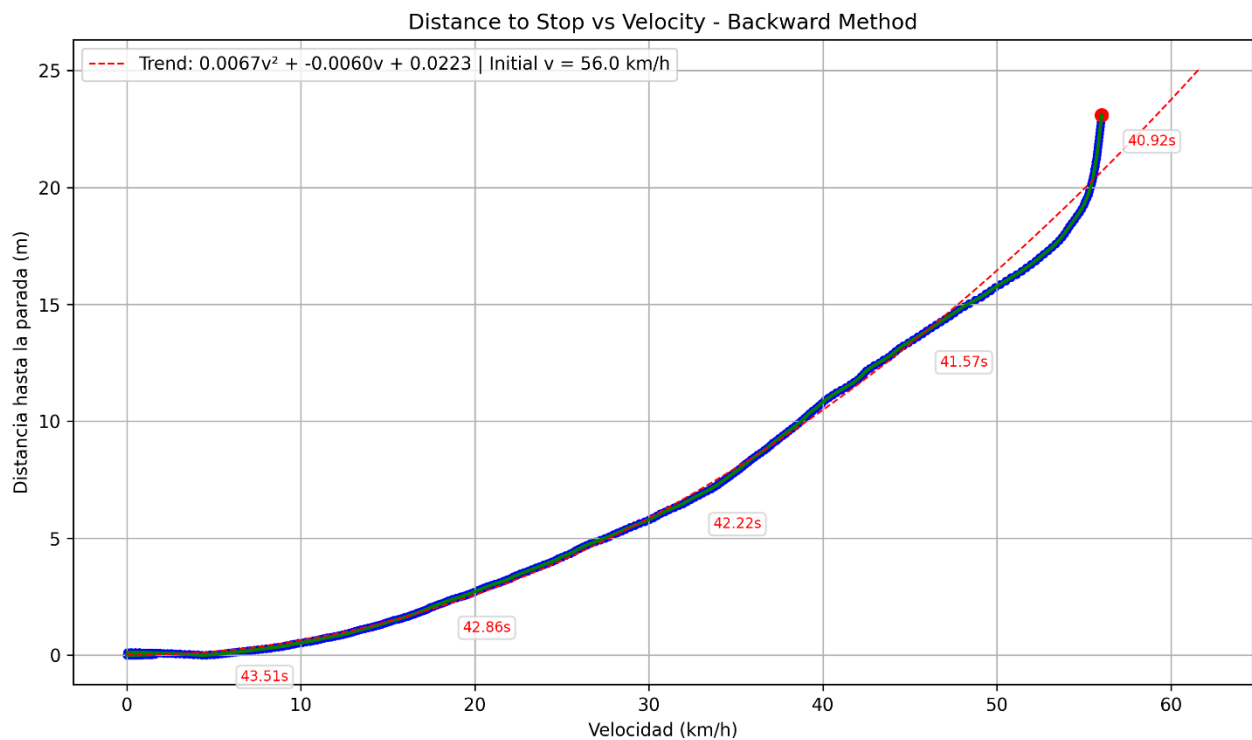


Ilustración 12: Distancia de parada x tiempo de ejemplo de camión tanque.

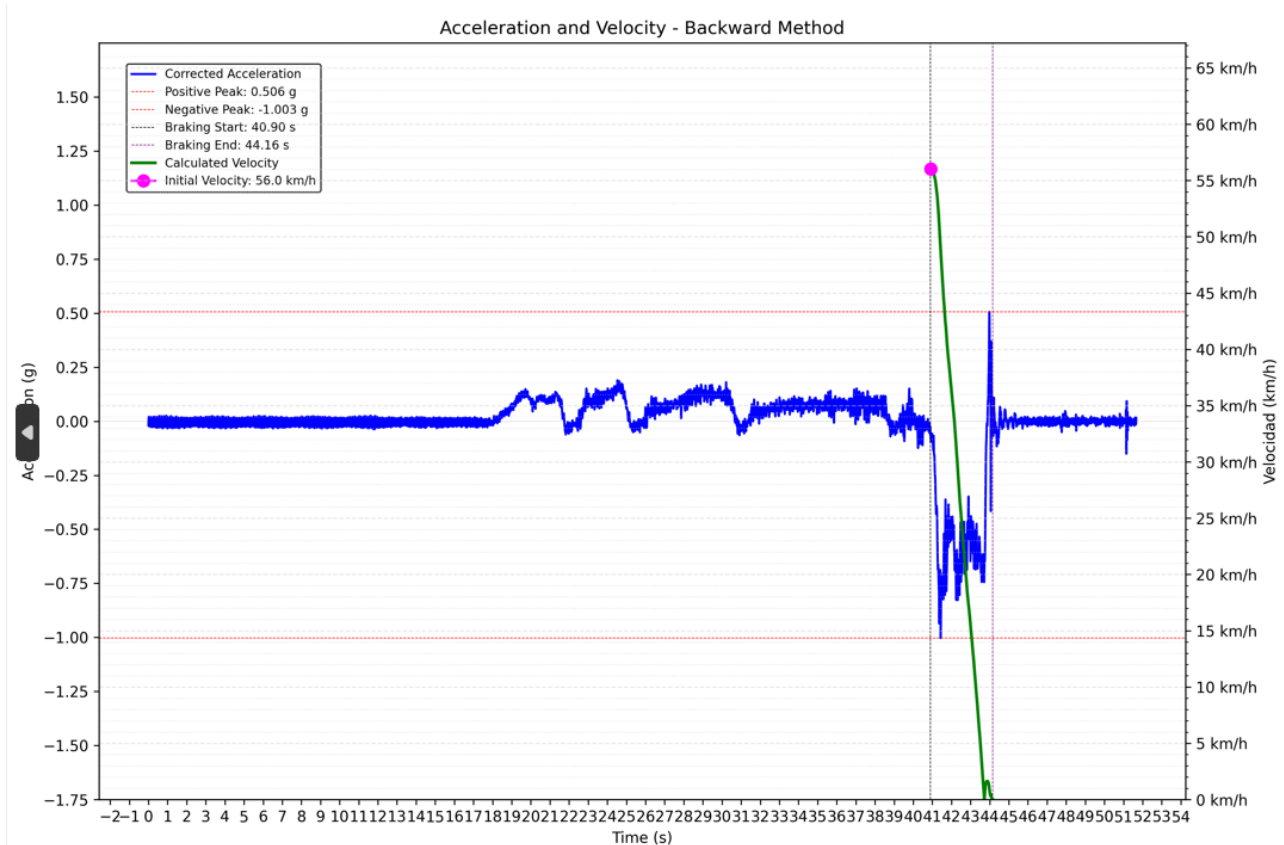


Ilustración 13: Aceleración e velocidad de ejemplo de camión tanque.

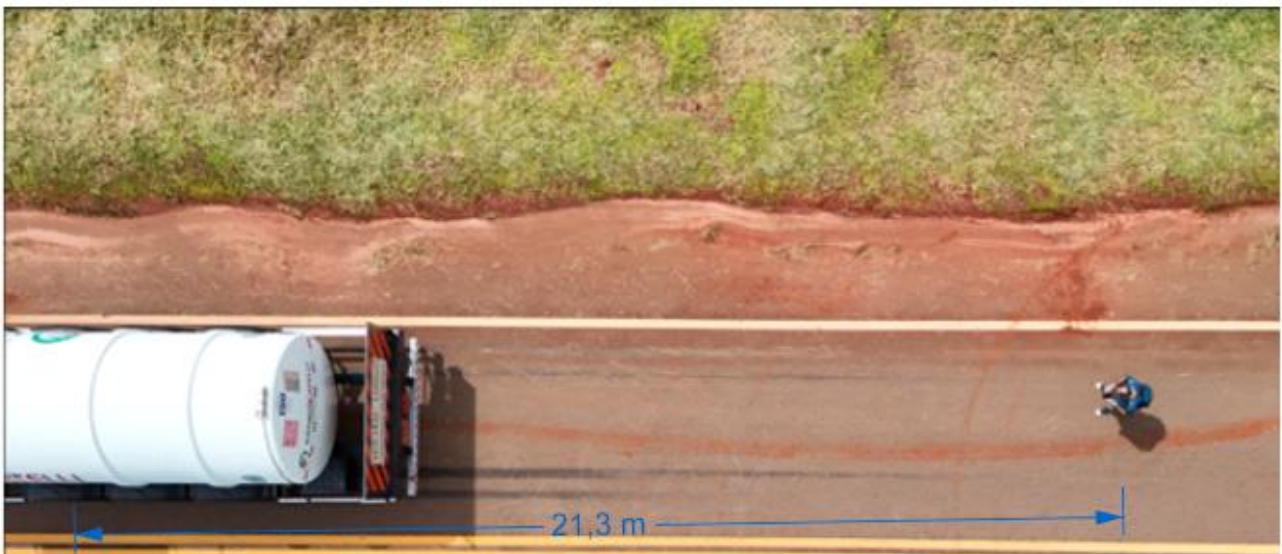


Ilustración 14: Marca de frenado medida en V Annual Crash Test 2025 en Campo Grande – Brasil.

VDAC

1.Importación de datos

A condición de que el usuario disponga de datos de aceleración y de un giroscopio, el programa VDAC permite un análisis más avanzado, no sólo de las deceleraciones, sino sobre todo un análisis de los vehículos implicados en colisiones

céntricas o excéntricas, analizando el ángulo de rotación, la trayectoria del centro de gravedad e ángulo posterior al impacto. Si los valores obtenidos están en el sistema de referencia del vehículo, que gira considerablemente, el programa dispone de un módulo para corregir las fuerzas de Euler y reposicionar el acelerómetro como si estuviera en el centro de masa del vehículo, si no se ha fijado allí.

2. Corrección de montaje (offset)

Si es necesario, el usuario puede corregir los datos antes de procesarlos, lo que puede ocurrir cuando el acelerómetro está desalineado y descentrado.

```
=====
VDAC 2.0: Vehicle Dynamics Analysis Code
Sistema Modular para Análise de Dados no Referencial da Terra
=====

=== Etapa 1: Importação e Processamento de Dados ===
Digite o caminho para seu arquivo de dados: DSD_TEST_04_P08_PRETO.csv
Delimitador detectado: ';'
Arquivo importado com sucesso.

=== Colunas Disponíveis ===
1. Time [s] (ex: [-6.724175 -6.722175 -6.720175])
2. Omega_Z [degrees/s] (ex: [0.188395 0.064898 0.00927 ])
3. a_cg_x [m/s²] (ex: [0.103441 0.087913 0.067167])
4. a_cg_y [m/s²] (ex: [-0.090679 -0.086422 -0.078853])
5. a_cg_z [m/s²] (ex: [0.113067 0.128997 0.137769])
6. phi_z [degree] (ex: [15. 14.999949 15.000038])
7. Vel GPS [kph] (ex: [0.061117 0.061117 0.061117])
8. V_x (ex: [0. 0.00019135 0.00034643])
9. V_y (ex: [0. -0.0001771 -0.00034238])
10. Beta (ex: [0. -42.7847233 -44.66245614])
11. a_x_corr (ex: [0.12338579 0.087913 0.067167 ])
12. a_y_corr (ex: [-0.06081669 -0.086422 -0.078853 ])
13. V_x_corr (ex: [0. 0.0002113 0.00036638])
14. V_y_corr (ex: [0. -0.00014724 -0.00031251])
15. theta_corr (ex: [0.26179939 nan nan])
16. Beta_corr (ex: [0. -34.869823 -40.46350703])

=====
Selecione a coluna de TEMPO (obrigatório) (1 a 16): 1
Tem dados de Aceleração longitudinal ax? (Y/N): Y
```

Ilustración 15: VDAC 2.0 para tratamiento de datos de aceleración acoplados con giroscopio.

3. Rotación de datos desde el punto de referencia del vehículo a la tierra

La Tierra es considerada un lugar de referencia inercial. Un acelerómetro fijado en un coche, sin duda, mide los valores de aceleración relativos a la Tierra. Mientras tanto, aun así es necesario transformar estos datos tal y como los vería un observador desde el suelo [9]. Esto se debe a que las ecuaciones para la conservación de la cantidad de movimiento presuponen la adopción de un punto de referencia fijo en la tierra, así como el hecho de que los datos están influidos por rotaciones considerables (fuerzas no inerciales). Para esto, VDAC utiliza matrices de rotación basadas en los valores del ángulo frontal del vehículo en función del tiempo. Con los datos en referencia terrestre, VDAC posibilita el análisis del gráfico de velocidad y sus componentes, la trayectoria del centro de gravedad y el drag factor del movimiento, así como la distancia total recorrida y la distancia en línea recta recorrida por el centro de gravedad.

```
Correção aplicada a 5794 pontos de dados
Exemplo da correção (primeiros 3 pontos válidos):
Ponto 1: (0.103, -0.091) → (0.123, -0.061)
Ponto 2: (0.088, -0.086) → (0.107, -0.061)
Ponto 3: (0.067, -0.079) → (0.085, -0.059)
Colunas 'ax_corrected' e 'ay_corrected' criadas com sucesso
Rumo do veículo calculado usando phi_z com ângulo inicial 32.0°

=== Etapa 2: Seleção de Módulos de Análise ===
Módulos de análise disponíveis:
1. Análise de Velocidade - Perfis de velocidade e componentes
2. Análise de Trajetória - Heading angle, departure angle e trajetória CG
3. Análise Dinâmica - Momento de inércia, drag factor e análise de rotação
4. Executar todos os módulos
Selecione o módulo de análise (1-4) (1 a 4):
```

Ilustración 16: Módulos implementados en VDAC 2.0.

4. Análisis dos datos obtenidos

Las gráficas que se generan son la trayectoria del centro de gravedad en el referencial terrestre, la evolución del ángulo que forma el vector velocidad respecto al eje este (considerado 0 grados), la evolución del ángulo de la parte delantera del vehículo, la velocidad angular en función del tiempo y las distancias recorridas total y en línea recta. Además, se utilizó el programa informático Tracker para validar los datos generados (Ilustración 20).

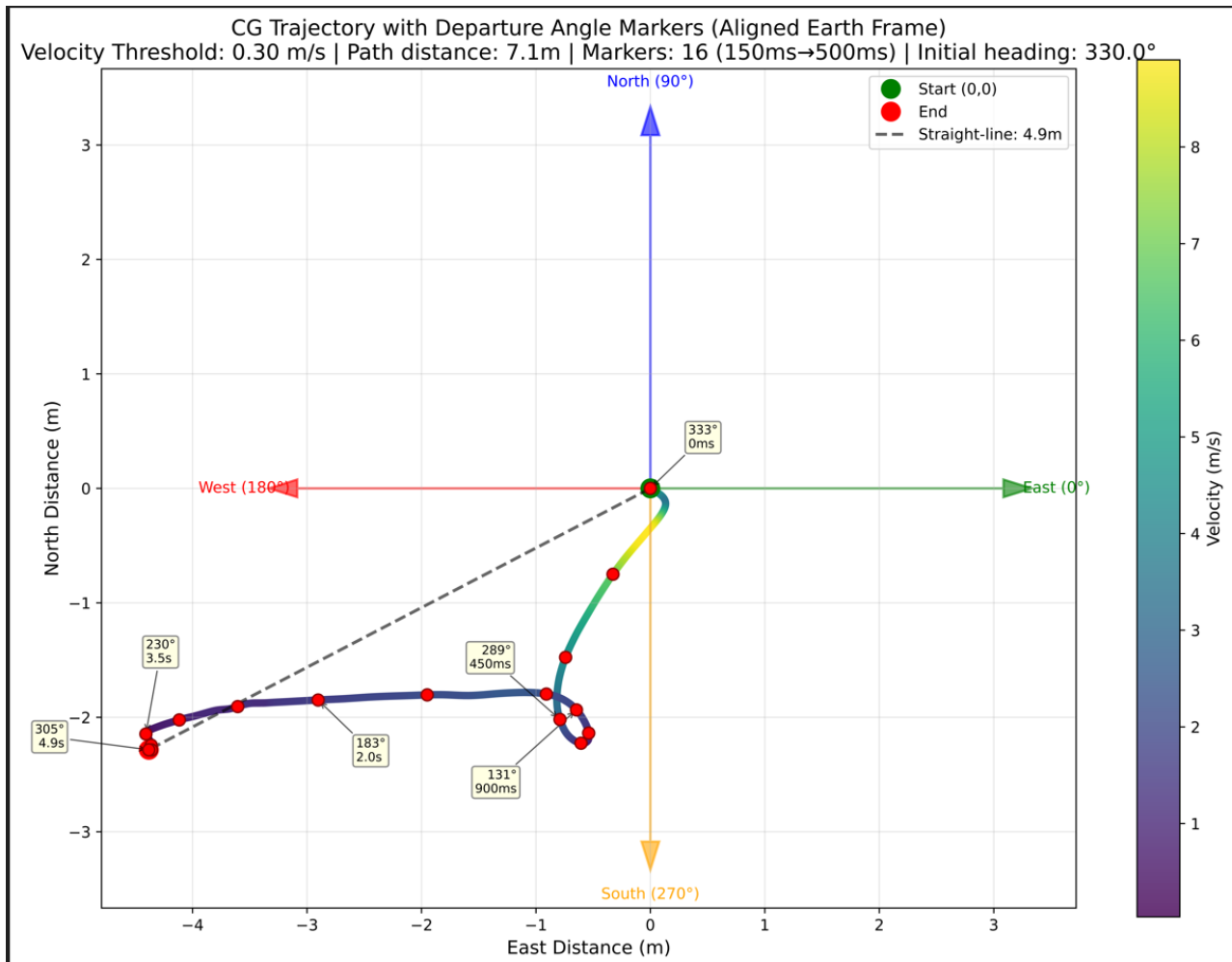


Ilustración 17: Trayectoria del centro de gravedad para un vehículo negro de un crash test en 2024.

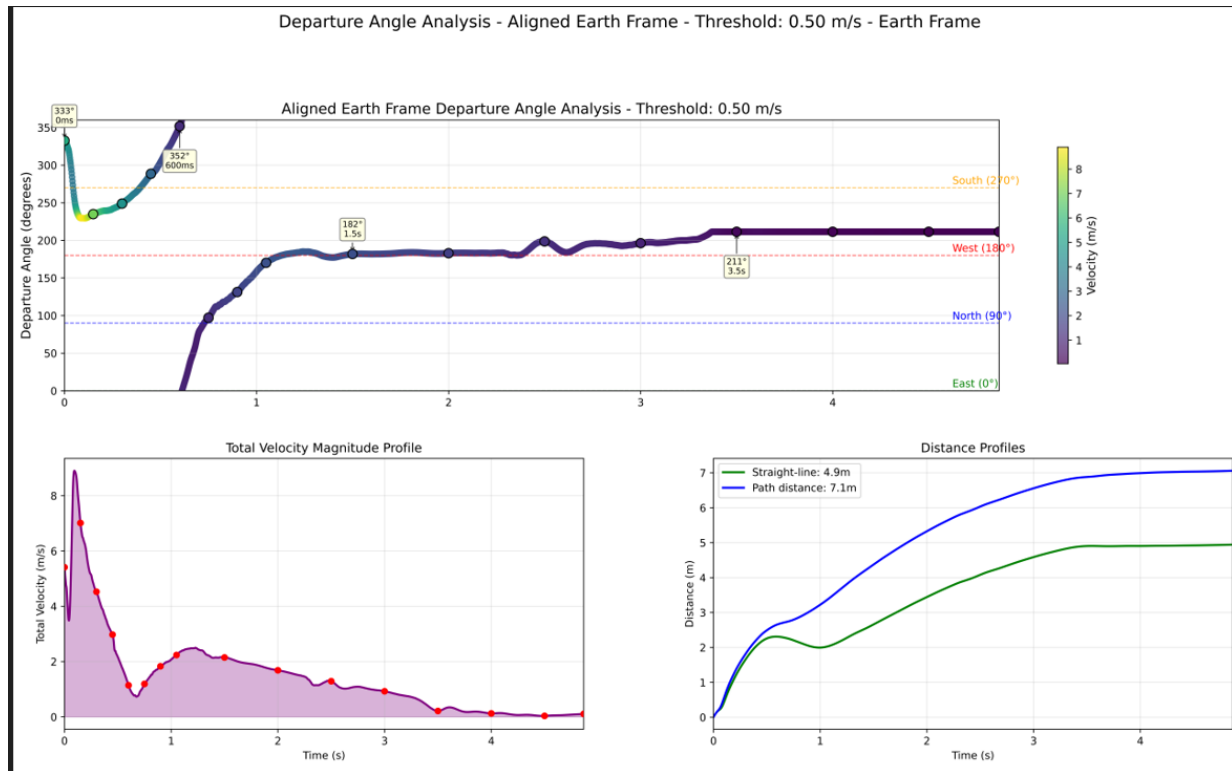


Ilustración 18: Ángulo del vector velocidad, gráfica velocidad x tiempo e distancias total e rectilínea recorridas para un vehículo negro de un crash test en 2024.

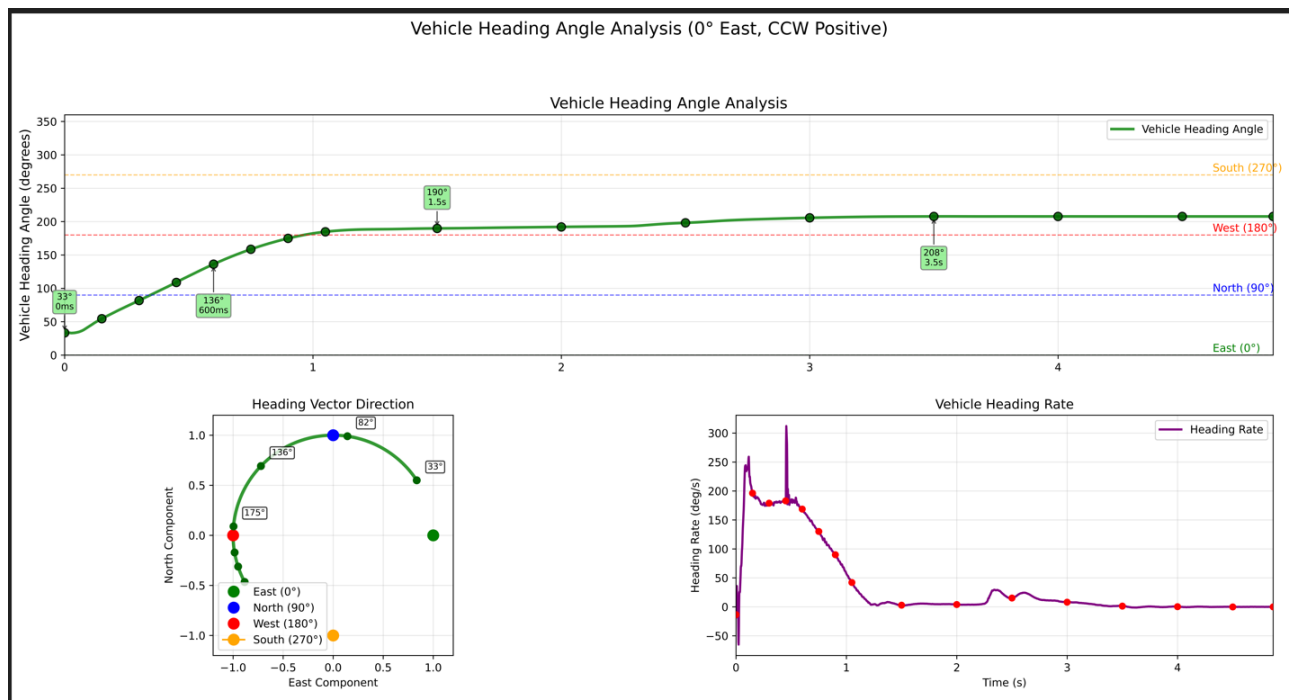


Ilustración 19: Ángulo de la parte delantera del vehículo, gráfica velocidad angular x tiempo e dirección de la frente del vehículo en la tierra para un vehículo negro de un crash test en 2024.



Ilustración 20: Validación de las gráficas obtenidas por medio del software libre Tracker para el vehículo negro.

CONCLUSIONES

Los programas presentados, si se facilitan datos de calidad y se respetan los procedimientos de fijación de instrumentos como acelerómetros y giroscopios, permiten generar gráficos con datos valiosos para reconstruir siniestros viales. A partir de ellos, es posible cuantificar las variables cinemáticas y dinámicas más importantes en experimentos de frenado y análisis de la conservación del movimiento lineal con rotación considerable de los vehículos implicados, de modo que puedan insertarse en programas más complejos (como Virtual Crash o PC-CRASH), o realizarse cálculos utilizando plataformas de cálculo analítico como RACTT [10].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS:

- 1] "Pycrash: An Open-Source Tool for Accident Reconstruction,". Cormier, J., Funk, J., Beauchamp, G., and Pentecost, D. 2021. SAE Technical Paper 2021-01-0896, 2021, <https://doi.org/10.4271/2021-01-0896>.
- 2] "Smartphone acceleration sensors in undergraduate Physics experiments". Monsoriu, J.A., Giménez, M.H., Ballester, E., et al. Proceedings of the Joint International Conference on Engineering Education & International Conference on Information Technology (ICEE/ICIT), Riga, pp. 109–116.
- 3] "Deceleration of current generation of road vehicles during intensive braking and conditionality of accident quantities with respect to this parameter". Kohút, P., Jurina, R., Ondruš, J. 2016. 25 EVU Congress, Bratislava.
- 4] "The Usage Of Smartphones For Recording Accidents And Incidents From The Critical Situation Up To The Post-Crash Phase". Hannawald, L. Marschner, M.; Liers, H. 2013. 22 EVU Congress, Florence.
- 5] "Comparative Analysis of Methods to Estimate the Tire/Road Friction Coefficient Applied to Traffic Accident Reconstruction". Baena, A., Remolina, E., Enciso, G., Londoño, H. et al. 2020. SAE Technical Paper 2020-01-5058, 2020, <https://doi.org/10.4271/2020-01-5058>.
- 6] Sítio eletrônico de aplicação G-Field Recorder; <https://www.gfieldrecorder.com/>; Acesso en 01/03/2025.
- 7] Artificial Intelligence (AI) in Accident Reconstruction. Moser A, Steffan. H. 2019. 28 EVU Congress, Barcelona.
- 8] Sítio eletrônico <https://rotations.berkeley.edu/reconstructing-the-motion-of-a-tossed-iphone/>; Acesso en 01/03/2025.

9] "Crash-Induced Yaw Motion Effects on Airbag Control Module Delta-V". Marine, M. Collision Magazine Vol. 15 Issue 1. 2021.

10] R.A.C.T.T. - Reconstructor Analítico de Colisiones de Tránsito Terrestre 6.0 – CEIRAT & Gustavo A. Enciso
<https://ceirat.com/ractt/>

(9)

Privacidad, justicia y tecnología: El rol del EDR en el escenario europeo.

Luis Ángel ALVAREZ GEA; correo electrónico info@acperitosasociados.es

RESUMEN:

La incorporación del Event Data Recorder (EDR) –o registrador de datos de eventos, la “caja negra” de los automóviles– marca un cambio significativo en la seguridad vial y en el ámbito legal europeo. A partir del Reglamento (UE) 2019/2144, la Unión Europea ha exigido que los nuevos vehículos de categorías M1 (autos particulares) y N1 (furgonetas ligeras) estén equipados con EDR: primero en homologaciones desde julio de 2022, y en *todos* los vehículos nuevos matriculados desde julio de 2024. El objetivo declarado es mejorar la investigación de siniestros y reducir víctimas en carretera a través de datos objetivos sobre los accidentes. Sin embargo, la introducción de este dispositivo suscita una tensión latente entre su utilidad técnica y probatoria en la investigación de accidentes y la protección de derechos fundamentales, especialmente la privacidad. En Europa –y particularmente en España– el debate jurídico está abierto: ¿cómo aprovechar la valiosa información del EDR sin socavar la intimidad, el consentimiento informado, la cadena de custodia o la presunción de inocencia de las personas involucradas? Este artículo analiza críticamente el rol del EDR en el escenario europeo actual, examinando su valor como prueba y sus requerimientos técnicos conforme a la normativa (Reglamento ONU n.º 160 y Reglamento (UE) 2019/2144), las garantías jurídicas vigentes en privacidad (RGPD y normativa española), las tensiones y vacíos legales que emergen en su uso judicial, y posibles vías para conciliar tecnología y derechos mediante mejoras técnicas, protocolos y formación especializada.

Valor probatorio y técnico del EDR en siniestros viales

El EDR se ha convertido en una herramienta forense de alto valor en la reconstrucción de accidentes de tráfico. Su función es registrar parámetros clave del vehículo instantes antes, durante e inmediatamente después de una colisión, proporcionando una “fotografía” objetiva de lo ocurrido. De hecho, la última generación de EDR ofrece una instantánea completa de la cinemática del vehículo y las acciones del conductor en los segundos previos a un accidente, con datos tan reveladores como la velocidad del vehículo, la aceleración longitudinal y lateral, la velocidad de guiñada, la posición del acelerador, la aplicación de frenos y los movimientos de la dirección. Esta riqueza de información permite esclarecer con mayor precisión la secuencia de eventos: por ejemplo, si el conductor frenó antes del impacto, a qué velocidad circulaba, si giró el volante bruscamente o si los sistemas de seguridad (como airbags o frenos ABS) se activaron correctamente. En términos probatorios, los datos del EDR pueden corroborar o refutar declaraciones de testigos o implicados, apoyar peritajes de reconstrucción de accidentes y en general aportar evidencia científica en tribunales. Se han documentado casos judiciales pioneros en España donde el EDR fue determinante: por ejemplo, una sentencia de la Audiencia Provincial de Barcelona (AP Barcelona 560/2021) confirmó la condena de un conductor por exceso de velocidad en zona urbana basándose en la “caja negra” del taxi con el que colisionó, que registró una velocidad de 137,8 km/h antes del choque. En esa causa, el EDR actuó como un *testigo electrónico* cuya lectura objetiva resultó crucial para establecer la responsabilidad del accidente.

No obstante, para que este potencial probatorio se materialice con todas las garantías, es imprescindible asegurar la fiabilidad, integridad y legitimidad de los datos extraídos del EDR. La prueba digital que aporta debe ser obtenida y analizada correctamente, pues de lo contrario su valor en juicio puede ser cuestionado. La Ley de Enjuiciamiento Criminal (LECrim) española, por ejemplo, exige que toda evidencia sea válida y fiable, y en el caso de un EDR las partes pueden impugnar su fiabilidad si sospechan errores en la recolección o interpretación de sus datos. En suma, el EDR proporciona un alto valor técnico (objetividad y detalle de datos) y un alto valor probatorio (evidencia pericial sólida) en la investigación de siniestros viales, siempre que se respeten los estándares de calidad y legalidad en su manejo.

Datos registrados, activación y extracción según la normativa (ONU 160 y UE 2019/2144)

La regulación internacional ha establecido especificaciones uniformes sobre qué debe registrar un EDR, cuándo debe activarse y cómo se accede a sus datos. En el ámbito de la ONU, el Reglamento n.º 160 (R160) fija los requisitos técnicos para la homologación de vehículos respecto al EDR, y Europa los ha adoptado integrándolos en su normativa de homologación mediante el Reglamento Delegado (UE) 2022/545. Tanto la legislación europea como la R160 coinciden en que el EDR debe captar un conjunto mínimo de variables esenciales en cualquier vehículo. En la Unión Europea se ha dispuesto que al menos 15 datos críticos queden registrados y disponibles tras un accidente. Entre estos datos figuran, según el artículo 6 del Reglamento 2019/2144, la velocidad del vehículo, el frenado (incluyendo si se accionó el freno y su intensidad), la orientación o inclinación del vehículo en la calzada, el estado de todos los sistemas de seguridad (cinturones, airbags, asistencias) y su momento de activación, la información del sistema eCall de emergencia 112, y cualquier otro parámetro relevante de los sistemas activos de seguridad o prevención de accidentes. Se exige, además, un alto nivel de precisión y durabilidad en estos datos registrados, dado que de su exactitud depende la confianza en el análisis forense posterior.

Las condiciones de activación del EDR están igualmente estandarizadas. En términos generales, el registrador de eventos se “dispara” y guarda datos cuando ocurre una desaceleración brusca o impacto que supere ciertos umbrales. Por ejemplo, la normativa técnica exige que el EDR registre un suceso si la variación de velocidad longitudinal o lateral del vehículo excede aproximadamente 8 km/h en un lapso de 150 ms o menos. En la práctica, esto significa que ante una deceleración repentina típica de una colisión, el dispositivo entra en acción. Asimismo, la activación de sistemas de seguridad desencadenantes, como un airbag o un pretensor de cinturón (sistemas de retención no reversibles), obliga al EDR a capturar el evento. Incluso la puesta en marcha de sistemas de protección de peatones u otros usuarios vulnerables (si el vehículo los equipa) se contempla como disparador de registro. Estos criterios garantizan que el EDR grabe los instantes críticos de un accidente (normalmente desde unos segundos antes hasta unos segundos después del impacto).

Una vez ocurrida la colisión, los datos quedan alojados en una memoria específica del vehículo. Ahora bien, no todos los eventos se conservan indefinidamente: si el choque no llegó a desplegar airbags u otros mecanismos irreversibles, la información puede ser temporal. Por ejemplo, en muchos vehículos los datos de un incidente menor se sobrescriben al poco tiempo o tras ciclos de encendido, salvo que se extraigan antes. En cambio, si el accidente involucra un despliegue de airbag u otra circunstancia grave, el sistema entra en modo de bloqueo (freeze) y salva permanentemente los datos en memoria no volátil, evitando su borrado. Esta lógica de *bucle cerrado* del EDR –grabando en continuo y sobrescribiendo, pero congelando los datos en caso de choque serio– está diseñada para asegurar que los accidentes de suficiente severidad dejen un rastro indeleble para la investigación.

La extracción de los datos del EDR requiere herramientas y procedimientos especializados. Los fabricantes, siguiendo el reglamento europeo, deben proveer una interfaz normalizada para acceder al EDR, de forma que las autoridades o técnicos autorizados puedan descargar la información sin dificultad indebida ni manipulación. En la práctica, se utilizan sistemas de *Crash Data Retrieval (CDR)*, como el ampliamente difundido equipo de Bosch, que se conecta al vehículo (vía el conector OBD-II o directamente al módulo de airbag, según el estado del vehículo) y permite recuperar el archivo de datos EDR en un formato legible. El archivo resultante (generalmente extensión *.CDRx*) se abre mediante un software forense que genera un informe –normalmente en PDF– con todas las lecturas registradas. Este informe es de solo lectura, con los datos presentados tanto en unidades físicas (km/h, G de aceleración, etc.) como en forma hexadecimal (datos crudos). Es importante destacar que el proceso de extracción no altera ni borra los datos del EDR; el CDR actúa de manera pasiva, copiando la información, por lo que no existe riesgo de modificar el “testimonio” digital del vehículo si se siguen los procedimientos correctos.

Garantías de privacidad y tratamiento de datos: RGPD y normativa española

Dado que el EDR recopila información potencialmente vinculada al conductor (por ejemplo, sus acciones antes del choque), surge inevitablemente la pregunta: ¿constituyen estos registros datos personales y cómo se protegen? El Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) de la UE (2016/679) proporciona el marco general aplicable: cualquier dato relativo a una persona identificada o identificable merece protección y solo puede tratarse con base legal legítima y respetando principios de minimización, transparencia, integridad y confidencialidad. Ahora bien, el RGPD no menciona expresamente a los EDR, lo que deja un área gris en la que ha habido que interpretar cómo encaja este dispositivo. En la práctica, la UE ha optado por anonimizar los datos del EDR en la medida de lo posible desde el diseño mismo del sistema. De hecho, el Reglamento 2019/2144 estipula que el EDR debe funcionar en un *bucle cerrado* y no puede grabar ningún dato que identifique directamente al vehículo, su propietario o conductor, como por ejemplo el número de chasis completo (VIN): está prohibido almacenar los últimos dígitos del VIN u otros identificadores personales en la memoria del EDR. Asimismo, los datos se registran de forma anónima y *protegida contra manipulaciones o usos indebidos*, sirviendo únicamente para las finalidades de seguridad vial y análisis de accidentes. Los considerandos del reglamento europeo son claros en que los EDR deben recoger datos críticos “*anonimizados*” –es decir, sin posibilitar la identificación del titular– y que todo tratamiento de datos de conductores obtenido del EDR debe cumplir estrictamente con la normativa de protección de datos. En resumen, a nivel europeo se ha intentado un delicado equilibrio: aprovechar la información del EDR para mejorar la seguridad, pero blindándola frente a derivaciones hacia la privacidad. Por eso el uso previsto de esos datos se limita legalmente al análisis de accidentes y a fines de seguridad vial o investigación técnica, nunca a vigilancia generalizada, y con la salvedad de no vincularlos a personas salvo que medie autorización legal para ello.

En cuanto a la normativa española, no existe todavía una ley específica del EDR, de modo que se aplican las disposiciones generales de protección de datos y garantías constitucionales. El derecho a la intimidad personal está consagrado en el artículo 18 de la Constitución Española, que además en su apartado 4 ordena limitar el uso de la informática para proteger la privacidad de los ciudadanos. El desarrollo de esta garantía se encuentra en la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales (LOPDGDD), que adapta el RGPD al ordenamiento español. Dicha ley, concordante con el RGPD, exige que todo tratamiento de datos personales tenga una base legal (consentimiento del interesado o alguna de las excepciones previstas, como un interés legítimo prevalente, una obligación legal, la salvaguarda de intereses vitales, la misión de interés público, etc.). ¿Aplican estos principios al EDR? Si los datos del EDR permiten identificar indirectamente al conductor o al vehículo, podrían ser considerados personales y por tanto protegidos. En tal caso, para extraerlos y usarlos sin consentimiento explícito del titular, debería invocarse alguna base legal. En un escenario de investigación de accidente, la base jurídica podría ser el cumplimiento de una obligación legal (por ejemplo, la persecución de delitos o infracciones, que ampararía a la Policía para recabar la evidencia) o el interés público en la seguridad vial. Por su parte, un asegurador que quisiera acceder al EDR de un vehículo privado tal vez requeriría consentimiento del asegurado o una autorización judicial, pues en el ámbito civil prima el consentimiento o, en su defecto, el interés legítimo ponderado caso por caso. En todo caso, la LOPDGDD junto con el RGPD enfatizan la minimización: los datos han de ser adecuados, pertinentes y limitados a lo necesario para la finalidad perseguida. Aplicado al EDR, esto refuerza la idea de que solo se debe acceder a sus registros para investigar el accidente y no para otros propósitos colaterales (por ejemplo, no sería lícito usarlos para evaluar hábitos de conducción con fines comerciales, sin consentimiento).

Otro pilar jurídico es la garantía de la cadena de custodia y la licitud de la prueba. La obtención de datos del EDR sin las debidas formalidades podría vulnerar no solo la privacidad sino también el derecho a un proceso con garantías. En España, el Tribunal Constitucional asentó desde 1984 (STC 114/1984) la llamada doctrina de la *prueba ilícita*, según la cual cualquier prueba obtenida vulnerando derechos fundamentales deviene nula. Asimismo, la jurisprudencia del Tribunal Supremo incorporó el principio de exclusión de los “frutos del árbol envenenado”, de modo que no solo la prueba ilícita original, sino sus derivados, quedan contaminados. Esto tiene implicaciones directas: si la extracción de datos de un EDR se realizara de forma invasiva, sin autorización judicial cuando fuera requerida o sin respetar garantías, esa información podría ser inadmitida en juicio. Por ejemplo, si un agente accede al módulo EDR de un vehículo sin consentimiento del propietario ni mandamiento judicial en un contexto donde se discute la privacidad, la defensa podría alegar vulneración de derechos. Por tanto, las autoridades deben extremar el cuidado legal: en investigaciones penales, la Policía (como

policía judicial) está obligada a atenerse a los cauces de la LECrim –solicitar autorizaciones judiciales para registros, etc.– y a documentar rigurosamente la recogida del EDR, preservándolo como evidencia. De hecho, en la sentencia antes citada de Barcelona, la parte apelante argumentó que el EDR no fue debidamente puesto a disposición de las partes ni custodiado, y pidió la nulidad de esa pericia por falta de garantías en su obtención. Aunque en ese caso el tribunal acabó valorando la prueba igualmente (entre otros motivos, porque no se presentó una prueba pericial contradictoria que rebatiera los datos), el toque de atención jurídico es evidente: sin garantías de privacidad y cadena de custodia, el EDR puede convertirse en un foco de litigios.

Tensiones entre la utilidad del EDR y derechos fundamentales

A la luz de lo anterior, se delinearán varias tensiones actuales en torno al empleo del EDR. La primera y más visible es la colisión con el derecho a la intimidad. Un conductor promedio quizá ignore que su vehículo lleva un EDR grabando su forma de conducir segundos antes de un choque. Esta falta de *consentimiento informado* choca con la noción intuitiva de privacidad: nadie espera que su propio coche pueda “declarar” en su contra sin aviso. Aunque legalmente la Unión Europea suple el consentimiento con la obligatoriedad regulatoria (es decir, instala EDR por ley, no por elección del usuario), persiste la preocupación de que se abra la puerta a usos indebidos de esos datos. ¿Podría, por ejemplo, la policía utilizar un EDR para multar infracciones de tráfico detectadas en sus registros? En principio no, ya que la normativa limita su uso a investigación de accidentes, pero el simple hecho de que exista esa información sensible despierta recelos. Algunos estados de EE. UU., conscientes de esto, legislaron que los datos del EDR son *propiedad del propietario del vehículo* y requieren su consentimiento (u orden judicial) para ser descargados, salvo excepciones puntuales (investigaciones de tránsito, emergencias médicas, etc.). En Europa no se ha adoptado un enfoque de propiedad privada del dato, sino de control regulatorio, pero el debate sobre el consentimiento sigue latente: por ejemplo, sería deseable que el comprador de un coche sea claramente informado de la presencia del EDR y sus fines, en cumplimiento del principio de transparencia del RGPD.

Otra tensión crítica es la de la cadena de custodia y el riesgo de vulneración del derecho de defensa. Para que los datos del EDR sean admisibles en juicio (sea penal o civil), deben haberse obtenido de manera legal y fidedigna. Un error en el procedimiento –como extraer el módulo sin autorización, no documentar quién lo manipuló, o almacenarlo indebidamente– podría contaminar la evidencia. Esto preocupa tanto como la precisión técnica: de nada sirve un registro perfecto si el tribunal lo invalida por defectos formales. Volviendo al caso de la AP de Barcelona, la controversia no fue sobre la veracidad de los 137,8 km/h registrados, sino sobre “la forma de obtención” de esos datos. La aseguradora impugnó la prueba precisamente alegando falta de protocolo de recogida, guarda y custodia del EDR, pidiendo su nulidad. Esto ilustra cómo la utilidad del EDR (aclarar la velocidad real) entró en conflicto con garantías del proceso (derecho a una prueba no contaminada). En última instancia, los tribunales deberán ponderar caso a caso, pero es innegable que el EDR añade un frente nuevo donde la tecnología forense se cruza con principios jurídicos básicos.

Asimismo, se ha señalado la posible incidencia del EDR en la presunción de inocencia y el derecho a no autoincriminarse. Si bien los datos del EDR son evidencia física (no un testimonio directamente obtenido del acusado), sí pueden incriminar a un conductor demostrando, por ejemplo, que iba a una velocidad excesiva. ¿Puede verse esto como una autoincriminación forzada? En principio, la jurisprudencia suele equiparar los EDR a otras fuentes de prueba objetiva (como un tacógrafo de camión o el análisis de una centralita electrónica) que se obtienen sin intervención activa del sospechoso, por lo que no vulnerarían el derecho a no declarar contra uno mismo. Sin embargo, la discusión no es puramente teórica: la defensa de un conductor podría argumentar que no fue informado de la existencia de ese dispositivo y que, de haberlo sabido, quizá hubiera actuado diferente (por ejemplo, no dar su consentimiento a la extracción voluntaria de datos). Esto roza la filosofía del consentimiento de datos, ya abordada, pero cabe mencionar que en España la LECrim prevé que la policía *pueda requerir la conservación de datos informáticos* relevantes mientras tramita la autorización judicial para obtenerlos. Aplicado al EDR, tras un accidente con posibles implicaciones penales, la policía está facultada para precintar y conservar el módulo a la espera de un mandamiento judicial si fuese necesario. Este trámite busca

precisamente salvaguardar la prueba sin violar derechos: no se “lee” el EDR hasta contar con cobertura legal, pero se evita su pérdida o alteración.

Finalmente, existe una tensión derivada de la falta (posible) de contexto en los datos del EDR. Aunque suene más técnico que jurídico, tiene consecuencias para la justicia. Un EDR nos dice *qué* pasó con el vehículo (frenó, giró, aceleró), pero no siempre *por qué* pasó. Por ejemplo, puede registrar un volantazo y una frenada brusca antes del impacto; eso podría interpretarse como conducción imprudente... a menos que se sepa que el conductor realizó esas maniobras para esquivar a un niño que irrumpió en la vía. El EDR por sí solo no captura ese detalle externo. De allí que expertos adviertan que no se debe sacar de contexto ni absolutizar la lectura del EDR, sino integrarla con otras pruebas (testimonios, peritajes, inspección ocular). Un uso irreflexivo de los datos, sin atender a las explicaciones alternativas, podría conducir a conclusiones erróneas y, en última instancia, a una vulneración de la presunción de inocencia si se condena apoyándose excesivamente en una *lectura fría* del dispositivo. La prudencia judicial indica valorar el EDR como un elemento más del acervo probatorio, potente pero no infalible.

Vacíos legales y uso judicial: ¿regulación insuficiente?

Dado que la normativa específica sobre EDR es reciente, es natural que existan lagunas legales o cuestiones no resueltas en su aplicación práctica ante los tribunales. En la Unión Europea, el Reglamento 2019/2144 y su norma delegada definen las obligaciones técnicas del fabricante y ciertos límites de uso de los datos, pero no detallan el procedimiento policial/judicial para su obtención en cada supuesto. Esto se deja a los ordenamientos nacionales y a la interpretación caso a caso. En España, por ejemplo, no hay un protocolo legal detallado en la LECrim o en la Ley de Seguridad Vial que indique cómo debe procederse para extraer un EDR tras un accidente de tráfico. Surge la duda: ¿se asimila a un “registro” de dispositivo electrónico que requeriría autorización judicial, como ocurre con la intervención de un teléfono o la entrada en un domicilio digital? La *Ley Orgánica 13/2015*, que reformó la LECrim en materia de tecnologías, introdujo medidas de investigación tecnológica que exigen control judicial para la obtención de datos almacenados (por ejemplo, el registro de dispositivos de almacenamiento masivo). Un módulo EDR podría caer en esa categoría si se interpreta extensivamente, aunque al mismo tiempo es equiparable a tomar muestras de un tacómetro o un airbag tras un siniestro, lo cual tradicionalmente la policía ha hecho bajo sus facultades de investigación sin orden previa (amparada en los artículos 282 y ss. de la LECrim sobre indagaciones de Policía Judicial). Esta ambigüedad normativa podría desembocar en disparidad de criterios: algunos operadores entendiendo que hace falta mandamiento judicial para acceder al EDR en ciertos casos (sobre todo si el propietario se opone), y otros considerándolo parte de las diligencias ordinarias en un accidente con heridos o fallecidos (delito vial flagrante).

En el proceso civil, los vacíos son igual de relevantes. Imaginemos un juicio de responsabilidad civil por accidente donde una de las partes desea aportar los datos del EDR. ¿Cómo se obtienen si el vehículo está en poder de la otra parte? ¿Puede el juez de lo civil ordenar la exhibición o lectura del EDR como diligencia preliminar o medida cautelar? La ley de Enjuiciamiento Civil no contempla expresamente este supuesto, aunque sí obliga a las partes a colaborar con la justicia y a exhibir pruebas en su poder cuando sean requeridas. Podría usarse la figura del dictamen pericial judicial: nombrar un perito que extraiga los datos, con las debidas garantías, a instancia del juzgado. De nuevo, nada de esto está reglado con precisión para el EDR, representando un vacío legal que se tendrá que ir llenando jurisprudencialmente. La segunda sentencia relevante en España (AP Granada, Recurso 611/2022) es ilustrativa: fue en sede civil y sirvió para dirimir si un accidente se debió a fallo humano o avería mecánica, gracias a la información proporcionada por el EDR y el historial de control del vehículo (Vehicle Control History). El tribunal de Granada aceptó plenamente esos datos técnicos –que registran qué hizo el conductor con el volante, freno, etc., en los 5 segundos antes y después de un impacto de 2Gs– como base probatoria. Pero, ¿qué habría ocurrido si la parte perdedora hubiera impugnado la obtención de esos datos alegando que no se les permitió intervenir en la extracción o que no hubo custodia adecuada? Son cuestiones abiertas. El escenario actual sugiere que falta un desarrollo normativo más detallado sobre el uso judicial del EDR, tanto en lo penal como en lo civil. Las normas de protección de datos ofrecen principios, pero no un procedimiento; las normas procesales clásicas ofrecen un armazón genérico (evidencia pericial, inspecciones oculares, etc.), pero no una guía

específica. En palabras de un material formativo, *“la normativa relativa a los sistemas EDR en nuestro país todavía se encuentra en pañales al ser muy reciente, por tanto no cubre todos los supuestos que pueden afectarlos”*. Esto deja zonas grises que podrían dar lugar a incertidumbre jurídica y disparidades en la admisión o rechazo de la prueba EDR según el criterio de cada tribunal.

Hacia la conciliación: mejoras técnicas, protocolos de custodia, garantías y formación

Para paliar los conflictos y vacíos identificados, expertos y legisladores deberán trabajar en soluciones multidisciplinarias. En el plano técnico, una propuesta clave es incorporar el principio de *“privacy by design”* en los EDR: que los dispositivos y sus softwares de extracción integren mecanismos de seguridad y anonimización robustos. Por ejemplo, se podría cifrar la información del EDR de tal modo que solo personal autorizado (con una clave o herramienta oficial) pudiera leerla, evitando accesos no controlados. También se sugiere que los EDR incluyan registros de auditoría (logs) que documenten cuándo y por quién fueron descargados los datos, creando una pista de verificación para garantizar su autenticidad. El Reglamento europeo ya obliga a la interfaz normalizada y prohíbe que terceros accedan a los datos salvo autoridades competentes, pero en la práctica habría que materializar esto en herramientas concretas que impidan extracciones no registradas. Además, ampliar la capacidad de almacenamiento del EDR (para guardar más de un evento y evitar sobrescrituras prematuras) ayudaría a que no se pierdan datos relevantes; de hecho, la R160 exige memoria para al menos dos eventos independientes, pero podría contemplarse más capacidad en el futuro, dado que los accidentes a veces ocurren en secuencia (p. ej., choques múltiples).

En el plano procedimental, urge desarrollar protocolos claros de cadena de custodia adaptados al EDR. Esto implicaría que, ante un accidente grave, los investigadores recojan el módulo EDR siguiendo pasos estandarizados: desconexión segura de la batería (para no resetear el módulo inadvertidamente), uso de bolsas antiestáticas y guantes para extraer el Airbag Control Module (ACM) donde reside el EDR, etiquetado y precinto del dispositivo en el lugar de los hechos, almacenamiento en sobre sellado y custodia en depósito policial, etc... Varios de estos pasos son análogos a la manipulación de cualquier evidencia electrónica, pero conviene detallarlos. Por ejemplo, es recomendable fotografiar el módulo en el vehículo antes de retirarlo, documentando su ubicación y conexiones, para luego poder reproducir exactamente su montaje si hiciera falta. Igualmente, no conectar el EDR a ningún equipo de lectura sin el adaptador correcto y sin verificar que el vehículo está completamente apagado; errores como alimentar el módulo con corriente inadvertidamente o conectarlo con un pinout equivocado pueden corromper la memoria o incluso disparar “eventos falsos” que mezclen ruido en los datos. Un protocolo bien afinado debe contemplar estos detalles, asegurando que la extracción de datos sea lo menos invasiva y más fiable posible. De seguirse procedimientos así, la credibilidad de la prueba se refuerza y es menos probable que un juez la invalide por dudas sobre manipulación. En la sentencia de Barcelona, la crítica fue precisamente no haber seguido un protocolo; si en el futuro se establecen guías oficiales (por ejemplo, un estándar emitido por los institutos de medicina legal o criminalística), las partes tendrán más difícil cuestionar la validez de la evidencia siempre que se acredite su cumplimiento.

En cuanto a garantías judiciales, sería deseable que las legislaciones nacionales clarifiquen el estatus del EDR. Una reforma legal podría especificar, por ejemplo, que *“los datos de los registradores de eventos podrán ser recabados por agentes de la autoridad tras un siniestro con víctimas, debiendo comunicarlo de inmediato a la autoridad judicial”*, trazando un paralelismo con ciertas diligencias urgentes. O bien se podría requerir formalmente una orden judicial para acceder al EDR en situaciones en que el propietario se opone y no hay peligro en la demora. Sea cual sea la opción, la clave es dotar de seguridad jurídica: que investigadores, abogados y jueces sepan a qué atenerse. Asimismo, en sede judicial, se pueden aplicar medidas para proteger la privacidad a posteriori: por ejemplo, si del EDR se extraen datos, que se acordone su uso exclusivamente al procedimiento de accidente y no se difundan más allá. La anonimización que la normativa europea demanda (no grabar identificadores personales) ayuda en este punto, pero podría complementarse con decisiones judiciales de limitar el acceso a la información EDR solo a peritos acreditados o partes del proceso bajo confidencialidad, según la sensibilidad.

Finalmente, un aspecto frecuentemente subestimado es la formación de los peritos y operadores jurídicos. Un EDR genera datos complejos; interpretarlos correctamente exige conocimientos de ingeniería de automoción, dinámica de impactos y software forense. Es imprescindible formar a peritos especialistas en análisis EDR, que cuenten con certificaciones y acrediten conocimiento actualizado (de hecho, en España un perito que intervenga en juicio debe demostrar su cualificación técnica en la materia). La capacitación debe cubrir tanto el manejo técnico (uso del CDR, lecturas hexadecimales, detección de errores en archivos) como los aspectos legales (cómo documentar la extracción, cómo defender la cadena de custodia en estrados, etc.). Los cuerpos policiales también requieren protocolos internos y entrenamiento para actuar correctamente en el lugar del accidente respecto al EDR: no olvidemos que un fallo simple – como no hacer copia de seguridad de los datos antes de manipular el módulo– podría resultar en pérdida irrecuperable de la información. La capacitación incluiría aprender de errores pasados: estudios han identificado fallos comunes como *no realizar un backup, no usar herramientas adecuadas, no verificar la integridad física del módulo, o ignorar las instrucciones del fabricante* –todos ellos con potencial de comprometer la prueba. La solución es inculcar una cultura de meticulosidad técnica y respeto a los procedimientos. Del lado de los jueces y abogados, también hay un reto educativo: comprender qué es y qué no es un EDR, sus alcances y limitaciones, para poder valorar críticamente la evidencia. Solo así se evitará tanto la *fascinación ciega* por el dato digital (asumiéndolo infalible) como el *rechazo infundado* por temor a lo desconocido.

Conclusión

El despliegue del EDR en Europa ejemplifica el dilema clásico entre los avances tecnológicos y la salvaguardia de los derechos fundamentales. Por un lado, estos registradores prometen una justicia más informada y objetiva en materia de accidentes de tráfico, aportando datos antes inimaginables que pueden salvar casos complejos de quedar sin esclarecer. Por otro lado, su implementación masiva y uso judicial plantean desafíos legales que aún requieren refinamiento: la protección de la privacidad de los ciudadanos, el respeto al debido proceso y la adaptación de nuestras leyes a la era del vehículo conectado. En el estado actual, la normativa da pasos en la dirección correcta (limitando los datos a los estrictamente necesarios y prohibiendo identificadores personales en el EDR), pero quedan lagunas por llenar y tensiones que resolver en la práctica cotidiana de los tribunales. Es imperativo que dichas tensiones se aborden integrando perspectivas técnicas y jurídicas.

A corto plazo, casos judiciales concretos seguirán marcando la pauta, estableciendo precedentes sobre cómo debe manejarse la prueba del EDR –como las sentencias de Barcelona y Granada, que ya han enseñado lecciones sobre cadena de custodia y valor pericial–. A medio plazo, probablemente veremos guías de buenas prácticas e incluso reformas legales que doten de mayor certeza al procedimiento. El equilibrio ideal será aquel en que el EDR sea una herramienta confiable al servicio de la verdad en los accidentes, sin que su uso suponga comprometer derechos fundamentales. Lograrlo implicará invertir en mejores tecnologías (EDR más seguros y “privacidad por diseño”), en protocolos garantistas y en la formación de quienes intervienen en todo el ciclo de vida de la prueba, desde el lugar del siniestro hasta la sala de vistas. Solo así, *privacidad, justicia y tecnología* dejarán de verse como fuerzas en conflicto y pasarán a ser componentes armónicos de un mismo sistema orientado al bienestar social: un sistema donde la seguridad vial mejora sin sacrificar libertades, y donde la evidencia tecnológica robustece –en vez de minar– la confianza en la justicia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

LIBRO – TECNOLOGÍA AVANZADA EN SEGURIDAD VIAL. EL EDR/CDR – LUIS ANGEL ALVAREZ GEA – UNED MÁLAGA – CURSO EDR/CDR NIVEL INICIAL.

EL FUTURO EN LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE SINIESTROS VIALES. EL DISPOSITIVO E.D.R (EVENT DATA RECORDER) Y SU APLICACIÓN PARA AYUDAR A REDUCIR LA SINIESTRALIDAD - RICARDO SERRANO DE ANDRÉS - CABALLERO ALFÉREZ CADETE DE LA GUARDIA CIVIL - GRADO EN INGENIERÍA DE LA SEGURIDAD POR LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.

López Riera, I. (2020). LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO: LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES A TRAVÉS DEL EVENT DATA RECORDER (LAS DENOMINADAS "CAJAS NEGRAS" DEL VEHÍCULO)

FISCALÍA DE SEGURIDAD VIAL (2017). MEMORIA 2017 - JORNADAS DE FISCALES DELEGADOS: CAJAS NEGRAS (EDR) Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF AUTOMOTIVE MEDICINE. AAAM TEAM. (17 DE ENERO DE 2018). *EVENT DATA RECORDER (EDR)*.

CODE OF FEDERAL REGULATIONS. (28 DE AGOSTO DE 2006). *PART 563 - EVENT DATA RECORDERS*. TITLE 49.

DASILVA, M. P. (2008). *ANALYSIS OF EVENT DATA RECORDER DATA FOR VEHICLE SAFETY IMPROVEMENT*. NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION.

DIRECTIVA 2009/18/CE, DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DE 23 DE ABRIL DE 2009, POR LA QUE SE ESTABLECEN LOS PRINCIPIOS FUNDAMENTALES QUE RIGEN LA INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES EN EL SECTOR DEL TRANSPORTE MARÍTIMO Y SE MODIFICAN LAS DIRECTIVAS 1999/35/CE DEL CONSEJO Y 2002/59/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. *DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA*, 131, DE 28 DE MAYO DE 2009.

LEY ORGÁNICA 3/2018, DE 5 DE DICIEMBRE, DE PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES Y GARANTÍA DE LOS DERECHOS DIGITALES. *BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO*, 294, DE 6 DE DICIEMBRE DE 2018.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). (2006). *EVENT DATA RECORDERS (EDRS). FINAL REGULATORY EVALUATION*.

REGLAMENTO (CE) Nº 661/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DE 13 DE JULIO DE 2009, RELATIVO A LOS REQUISITOS DE HOMOLOGACIÓN DE TIPO REFERENTES A LA SEGURIDAD GENERAL DE LOS VEHÍCULOS DE MOTOR, SUS REMOLQUES Y SISTEMAS, COMPONENTES Y UNIDADES TÉCNICAS INDEPENDIENTES A ELLOS DESTINADOS. *DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA*, 200, 31 DE JULIO DE 2009.

REGLAMENTO (UE) 2019/2144 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DE 27 DE NOVIEMBRE DE 2019, RELATIVO A LOS REQUISITOS DE HOMOLOGACIÓN DE TIPO DE LOS VEHÍCULOS DE MOTOR Y SUS REMOLQUES, ASÍ COMO DE LOS SISTEMAS Y COMPONENTES DESTINADOS A ESOS VEHÍCULOS. *DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA*, 325, DE 16 DE DICIEMBRE DE 2019.

RESOLUCIÓN DEL PARLAMENTO EUROPEO, DE 6 DE OCTUBRE DE 2021, SOBRE EL MARCO DE LA POLÍTICA DE LA UNIÓN EUROPEA EN MATERIA DE SEGURIDAD VIAL PARA 2021-2030 –. RECOMENDACIONES SOBRE LOS PRÓXIMOS PASOS HACIA LA «VISIÓN CERO», *DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA*, 132, DE 24 DE MARZO DE 2022.

(10)

USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL ÁMBITO DE LA SEGURIDAD VIAL, UNA MIRADA A SUS APLICACIONES.

Guido Alexandro Copetti; gcopetti@mplapampa.gob.ar

RESUMEN:

La implementación de sistemas de inteligencia artificial ha aumentado exponencialmente en los últimos años, por su rápida implementación, su versatilidad y la gran capacidad de adaptabilidad que presentan ante diversos escenarios. En los vehículos permiten optimizar el funcionamiento y la interpretación de datos que realizan los sensores y cámaras asociados a los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS), enviando alertas tempranas a los usuarios de la vía pública, e incluso tomar medidas correctivas sobre el vehículo.

Asimismo, la inteligencia artificial permite recopilar, ordenar y analizar grandes cantidades de datos del tránsito, relacionándolos y brindando advertencias y recomendaciones para el anticipo y gestión del riesgo en áreas conflictivas, contribuyendo a la toma de decisiones para el ajuste de velocidades máximas, señalización vial y adecuación de la vía. El objetivo del presente trabajo es recopilar y ordenar la información acerca de cuáles son las principales aplicaciones de la inteligencia artificial en la seguridad del tránsito. Para ello se utilizarán diversas fuentes de consulta, tales como publicaciones científicas, documentos de organismos nacionales e internacionales y bibliografía actualizada. El trabajo se centrará en mostrar el aporte que realiza esta tecnología tanto en el ámbito de la conducción, como en su capacidad de procesamiento de información.

La finalidad planteada por este trabajo es dar el puntapié inicial en esta línea de investigación, para dar a conocer su funcionalidad y producir material científico a nivel latinoamericano, que a futuro se traduzca en la aplicación de esta tecnología para la anticipación y gestión los riesgos de manera proactiva, optimizando los recursos y mejorando la seguridad vial.

Palabras claves: Inteligencia Artificial; IA; Seguridad vial; Prevención; Accidentes de tránsito; Big Data; ADAS

ABSTRACT:

The implementation of artificial intelligence systems has increased exponentially in recent years due to their rapid deployment, versatility, and great adaptability to various scenarios. In vehicles, they optimize the functioning and interpretation of data performed by sensors and cameras associated with advanced driver-assistance systems (ADAS), sending early alerts to road users, and even taking corrective measures on the vehicle. Likewise, artificial intelligence allows for the collection, organization, and analysis of large amounts of traffic data, relating them and providing warnings and recommendations for anticipating and managing risk in conflict areas, contributing to decision-making for adjusting maximum speeds, road signage, and road modifications.

The objective of this work is to collect and organize information about the main applications of artificial intelligence in traffic safety. To achieve this, various sources will be used, such as scientific publications, documents from national and international organizations, and updated bibliography. The work will focus on demonstrating the contribution of this technology both in the field of driving and in its information processing capability.

The purpose of this work is to kickstart this line of research, to showcase its functionality and produce scientific material at the Latin American level, which in the future will translate into the application of this technology for the proactive anticipation and management of risks, optimizing resources and improving road safety.

Keywords: Artificial Intelligence; AI; Road Safety; Prevention; Traffic Accidents; Big Data; ADAS

INTRODUCCION

De acuerdo con la asociación Civil “Luchemos por la Vida”, en el año 2024 solo en la República Argentina se produjo un promedio diario de 16 decesos por accidentes de tránsito, convirtiendo a estos en una de las principales causas de fallecimientos no naturales en el país.

Esto implica la necesidad de adoptar nuevas tecnologías destinadas a la prevención de siniestros viales, tales como el uso de herramientas de compilación, análisis y aplicación de información para predecir comportamientos de los conductores, localizar fallas en el diseño vial, detectar patrones biométricos riesgosos (cansancio, distracción, uso de celulares, etc).

La utilización de sistemas de IA se encuentra en pleno proceso de expansión en el ámbito profesional de los preventores y reconstructores de accidentes de tránsito, involucrándose directamente en la colaboración para desplegar técnicas, compilar información y desarrollar modelos de análisis para la prevención, análisis y predicción de incidentes de tránsito. El presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer al lector de las aplicaciones en el ámbito de la seguridad vial que proveen los sistemas de IA y difundir los beneficios del uso de esta tecnología que momentáneamente no esta siendo explotada en nuestro país.

DESARROLLO

1. La implementación de un sistema de inteligencia artificial.

Para implementar un sistema de IA es requerido el análisis de una serie de pasos previos que incluyen:

Definición del problema a resolver: la IA debe ir enfocada a cubrir una necesidad particular.

Recopilación de datos requeridos: para la confección de una base de información que permita “entrenar” al sistema, en esta etapa es indispensable que el programador se asegure de que los datos sean distintivos y estén ajenos a sesgos.

Preparación de datos: Cuando tengamos una cantidad de datos apropiada será momento de “limpiar” y “ordenar” la base mediante la utilización de campos o criterios que clasifiquen cada una de las variables que forman parte del contenido informado.

Selección del modelo: Con los datos filtrados es importante considerar cual será el objetivo que el sistema de IA solventará, también se deberá pensar el tipo de datos a examinar (cualitativos o cuantitativos) y la complejidad de la necesaria. Debe tenerse en cuenta que muchas veces un modelo de regresión lineal es suficiente para analizar un conjunto de datos básicos. En otras circunstancias es requerido emplear modelos que permitan realizar predicciones complejas con una cantidad de variables mayor que pueden requerir emplear modelizaciones complejas como Random Forest, SARIMA, Red Neuronal Profunda (DNN) o Generalizada por Regresión (GRNN).

Entrenamiento del modelo: Esta es sin dudas la etapa más importante del proceso, donde alimentamos el modelo seleccionado con información que le permita cumplir su función. El aprendizaje puede ser supervisado, cuando el operador debe incluir datos etiquetados, es decir le vamos a decir al modelo que queremos que aprenda. El aprendizaje puede ser también no-supervisado, cuando los datos que contiene el modelo no se encuentran etiquetados, generalmente se emplean para generar nuevo conocimiento. También existen modelos de enfoque mixto y por refuerzo (consistente en un esquema de premios y castigos)

Evaluación y mantenimiento: Finalmente el modelo debe ser testeado para verificar que esté cumpliendo su función, y si se ha seleccionado un entrenamiento automático mantener en funcionamiento todo el sistema para garantizar su evolución.

Debe entenderse que este no es un proceso ordinal, sino cíclico, pues la gran ventaja que ofrecen los sistemas de aprendizajes automáticos es la posibilidad de definir nuevas problemáticas que puedan ser resueltas por la misma IA

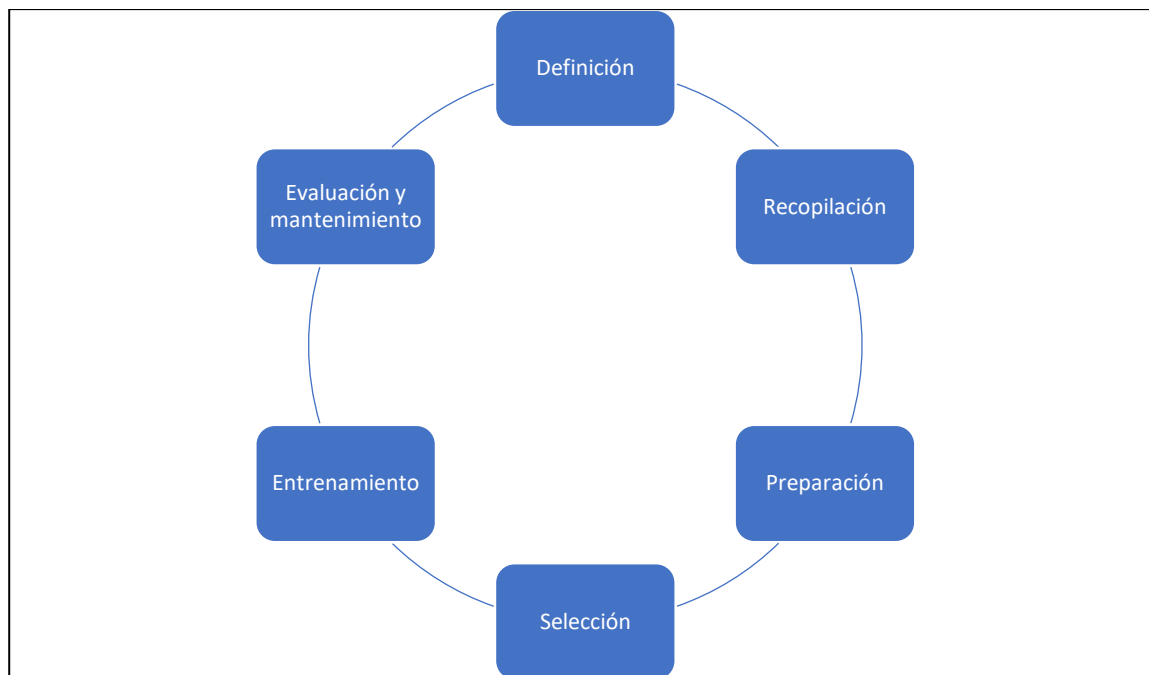


Ilustración 1: Diagrama de flujo del funcionamiento de un sistema IA

2. Modelos de aprendizaje automático

Existe una gran diversidad de modelos de aprendizaje automático y la selección de este dependerá en gran medida de la definición del problema a solucionar. Por otra parte, también debe tenerse en cuenta la cantidad de datos que se pretende ingresar al sistema, pues si introducimos grandes cantidades de información en un esquema con muchos subprocesos, y no contamos con un hardware lo suficientemente moderno podríamos encontrarnos con demoras excesivas, colapso del sistema o daños en los equipos.

Otro factor a considerar es el tipo de información a suministrar, por lo general si deseamos examinar imágenes optaremos por un esquema de redes convolucionales, mientras que si buscamos que se genere una predicción en base a un conjunto de decisiones emplearemos un Random Forest.

A modo de referencia, se explicará brevemente en que consisten algunos modelos que serán mencionados en párrafos posteriores del presente trabajo:

Árboles de Decisión: Son modelos de aprendizaje automático que utilizan estructuras en forma de árbol para tomar decisiones. Cada nodo interno del árbol representa una característica o atributo, y cada borde representa una regla de decisión basada en esa característica. Los árboles de decisión se utilizan principalmente en clasificación y regresión.

Random Forest (Bosques Aleatorios): Es una técnica que combina múltiples árboles de decisión durante el entrenamiento. Cada árbol en el bosque se entrena con una muestra aleatoria del conjunto de datos y utiliza una selección aleatoria de características en cada nodo. Al predecir, el random forest promedia las predicciones de todos los árboles individuales para mejorar la precisión.

Redes Neuronales: Son modelos de aprendizaje profundo inspirados en el funcionamiento del cerebro humano. Consisten en capas de neuronas artificiales organizadas en una estructura similar a una red. Cada neurona está conectada a las neuronas de la capa anterior y siguiente, y aprenden mediante la adaptación de los pesos de las conexiones entre ellas. Las redes neuronales se utilizan para una amplia gama de tareas, como clasificación, reconocimiento de patrones y procesamiento de datos.

Redes Convolucionales (CNN): Son un tipo específico de red neuronal diseñada para procesar datos estructurados en forma de matrices multidimensionales, como imágenes. Las CNN utilizan capas de convolución que aplican filtros para extraer características importantes de los datos de entrada. Son altamente efectivas en tareas de visión por computadora, como reconocimiento de objetos, segmentación de imágenes y detección de patrones.

3. Aplicaciones específicas vinculadas a la gestión de tráfico

Análisis de datos para determinar riesgo de accidente: La IA puede recopilar y analizar datos históricos de accidentes, condiciones de la carretera, clima, tráfico y otros factores para predecir datos relacionados con los accidentes. Para esto es recomendable administrar información de primera línea al sistema de fuentes confiables como estadísticas e información oficiales.

Teniendo en cuenta de que se trata de información de tipo discreta, optar por un esquema de Decision Tree, que como se muestra en la ilustración 2 puede ser útil para un conjunto de información pequeña, en el caso de ejemplo el clima:

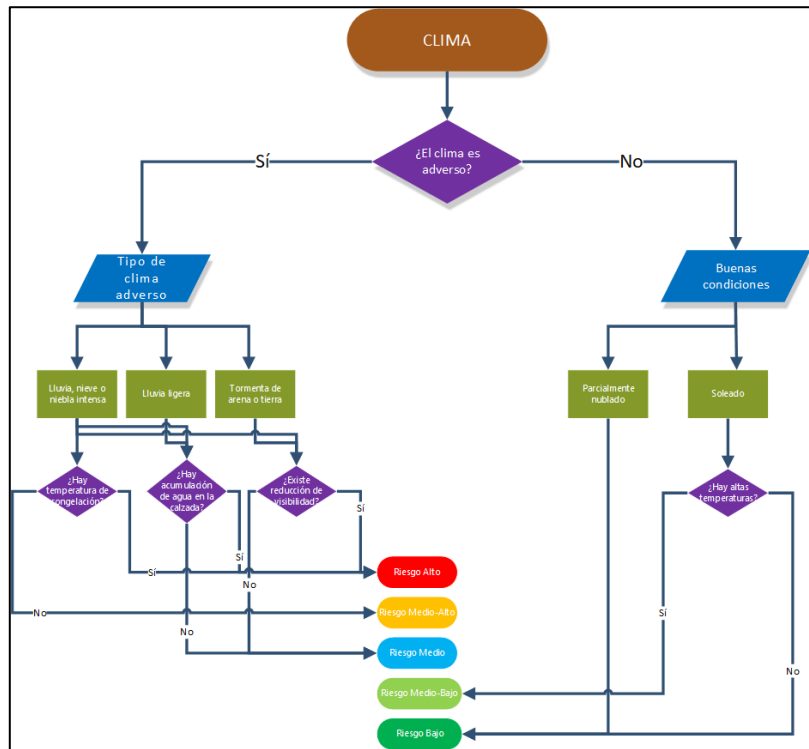


Ilustración 2 Árbol de decisión para clima

No obstante, se entiende que los accidentes de tránsito son fenómenos complejos, que involucran múltiples factores, por lo que, si se requiere involucrar otros elementos en el sistema, un modelo de Random Forest puede resultar más adecuado. Este esquema permitirá correlacionar muchos arboles de decisión estableciendo un resultado a partir de la aplicación de todos.

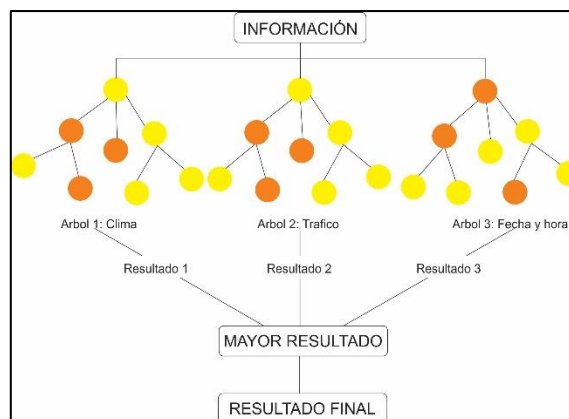


Ilustración 3 Random forest

Sistemas de control de tráfico adaptativo (ATCS o ATMS): En las grandes ciudades, la fluidez del tránsito es un factor clave para la seguridad vial. Garantizar un movimiento vehicular armónico permite que las personas lleguen a sus destinos de forma segura, evitando atascos que generan estrés, impaciencia y pueden predisponer a los conductores a reacciones temerarias.

Los ATCS se basan en el análisis de datos de tráfico en tiempo real para modificar y adaptar las señales de tránsito según la demanda actual. La Administración Federal de Carreteras (FHWA), dependiente del Departamento de Transporte de los Estados Unidos, promueve estos sistemas a través de la iniciativa “*Every Day Counts*”.

Mediante la instalación de dispositivos de captura (como sensores inductivos, cámaras, magnetómetros o radares) en los sectores conflictivos, se obtiene información sobre el estado actual del tráfico. Estos datos son procesados en un servidor central utilizando diversas tecnologías, que pueden incluir redes neuronales profundas (*Deep Learning*), aprendizaje reforzado profundo (*Deep Reinforcement Learning*), árboles de decisión, algoritmos de visión por computadora u otros sistemas capaces de interpretar la información proveniente de los sensores.

A partir de este análisis, el sistema puede emitir correcciones sobre la señalización vial: habilitar o bloquear carriles, ajustar los tiempos de los semáforos, o tomar otras decisiones destinadas a mejorar la fluidez del tránsito en tiempo real.

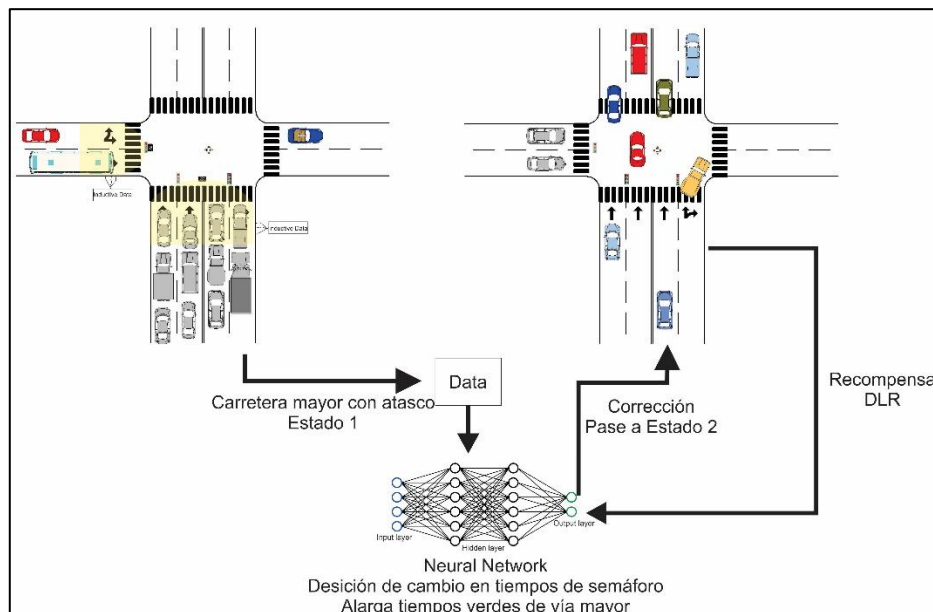


Ilustración 4 Esquema ATMS-ATCS

Detección de uso de cinturones de seguridad y celulares al volante

El uso de las cámaras de tránsito no solo permite recopilar datos de cantidades de vehículos circulantes, sino que gracias a la implementación de equipos con visión infrarroja de alta calidad que entregan imágenes monocromáticas con detalle suficiente para capturar el interior del habitáculo y patente sin influencia de reflejos, luces interiores o clima.

Los domos se componen de dos cámaras y un flash infrarrojo que se activan mediante sensores inductivos o radares.

La cámara capta las imágenes, y luego el sistema, utilizando visión por computadora y algoritmos de detección de objetos (entrenados para reconocer teléfonos, manos en posiciones específicas o cinturones de seguridad) como parte de un sistema de IA, analiza estas imágenes para identificar la presencia o ausencia de estos elementos y, por lo tanto, determinar si el conductor está usando el celular o el cinturón.

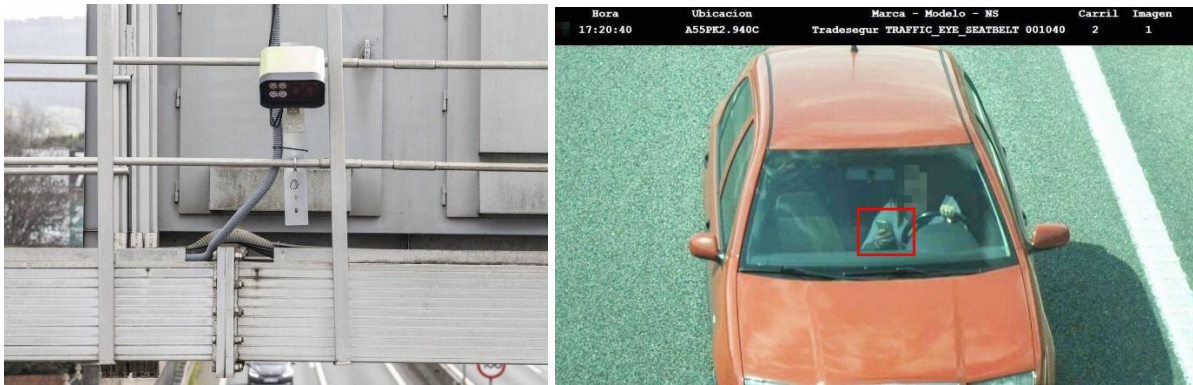


Ilustración 5 cámara para detección de uso de celular

Para cumplir con el objetivo, la imagen será procesada mediante un modelo como Haar Cascade, una técnica de clasificación utilizada para la detección de objetos, propuesta por Paul Viola y Michael Jones. Esta técnica se basa en el uso de características Haar-like y un enfoque en cascada para detectarlas de manera eficiente.

Las características Haar-like se calculan en regiones rectangulares adyacentes dentro de una ventana de detección. El cálculo consiste en obtener la sumatoria de los píxeles del área clara y restarla de la sumatoria del área sombreada. Las regiones, compuestas por zonas claras y oscuras, recorren la imagen extrayendo valores de intensidad. Cada una de estas cuadrículas puede detectar características específicas como bordes, líneas o cambios abruptos de intensidad. Para acelerar este cálculo, se utiliza una técnica llamada *imagen integral*, que permite computar rápidamente estas sumas rectangulares, independientemente del tamaño de la región.

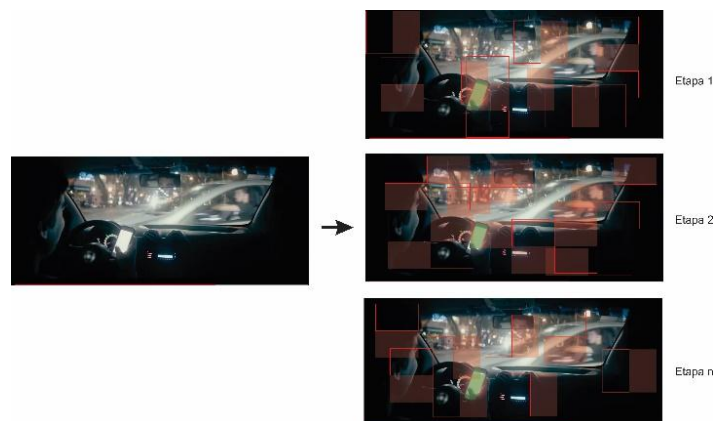


Ilustración 6 Haar-Like detección

Cada característica devuelve un valor: si la diferencia entre regiones supera un cierto umbral, se considera que esa característica está presente, y se pasa a la siguiente etapa del clasificador.

Los clasificadores están organizados en una estructura en cascada, donde cada etapa contiene una serie de clasificadores simples entrenados para identificar la presencia del objeto. La imagen atraviesa estas etapas de forma secuencial. Si una región de la imagen no cumple con los criterios en una etapa, es descartada inmediatamente y no se analiza en las siguientes, lo que permite una detección eficiente.

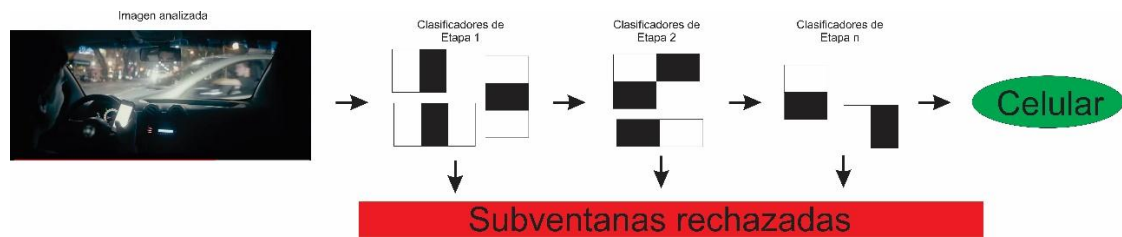


Ilustración 7 Proceso de Cascadas de Haar

Ahora bien, ¿cómo se determinan cuáles son las características más efectivas para identificar un objeto? Para esto, es necesario entrenar el modelo. En este punto, entra en juego el algoritmo *Adaboost*, que selecciona automáticamente, entre miles de características Haar-like posibles, aquellas que mejor distinguen el objeto objetivo. Estas características se combinan formando clasificadores débiles (de baja precisión individual), que al integrarse generan un clasificador fuerte. Este proceso de entrenamiento no aprende las características en sí (como haría una red neuronal), sino que selecciona las mejores entre un conjunto predefinido.

Este proceso se repite miles de veces durante el entrenamiento, y los resultados se combinan para tomar una decisión final sobre la detección.

Actualmente, la biblioteca OpenCV (Open Source Computer Vision Library) permite entrenar modelos de este tipo utilizando Python. Si bien OpenCV ya incluye clasificadores entrenados para objetos comunes como rostros o ojos, no incluye modelos específicos para celulares o cinturones de seguridad. Sin embargo, su estructura permite que el usuario genere sus propios clasificadores mediante un conjunto de imágenes positivas (donde aparece el objeto) y negativas (donde no aparece), y un proceso de entrenamiento supervisado.

Además, existen otros enfoques modernos basados en redes neuronales convolucionales, como YOLO (You Only Look Once), SSD (The Single Shot MultiBox Detector) R-CNN (Redes neuronales convolucionales basadas en regiones), que pueden entrenarse con datasets más complejos como COCO (Common Objects in Context) de Microsoft.

4. Aplicaciones vinculadas a ADAS (Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción)

Sistemas de detección: sensores LIDAR, Radar y cámaras para la identificación de objetos

Parte de las aplicaciones de los sistemas de asistencia al conductor requieren que el vehículo reciba información vinculada a los objetos que se encuentran en su entorno para la toma de decisiones.

En párrafos anteriores hemos mencionado la visión por computadoras con la utilización de Cascadas de Haar, R-CNN, SSD y YOLO.

El sistema de detección y medición de distancias por luz (LIDAR) basa su funcionamiento en la emisión de un pulso laser y la medición del reflejo emitido por un objeto para calcular la distancia que separa el vehículo del objetivo.

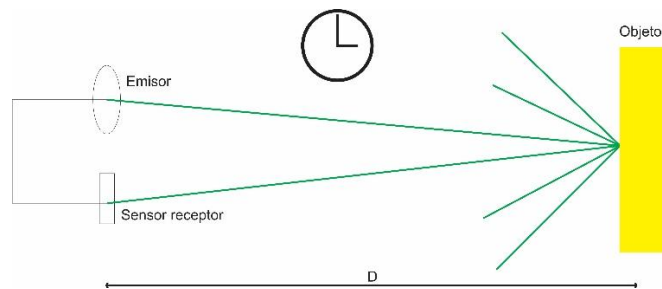


Ilustración 8 Sensor LIDAR

Debe comprenderse que existen diversos tipos de sensores LIDAR, que en función de la distancia de actuación permite obtener diferente información que permitirá a los ADAS a identificar con precisión los objetos, rastrear el movimiento y tomar decisiones precisas para la ejecución de acciones correctivas. Para “ver” en una vista 360° a corta distancia (escasos metros) o detectar cuerpos a cientos de metros las automotrices equipan a los vehículos con LIDAR’s con diferentes diseños ópticos, detectores y láseres; incluso algunos emplean un sistema de direccionamiento que permita dispersar el láser emitido en un ángulo de 180° para detectar objetos cercanos durante el proceso de estacionamiento.

Por otra parte, los ADAS también se informan a través de radares, pues resulta que muchas veces un sistema LIDAR presenta dificultades cuando las condiciones climáticas resultan adversas. Por otra parte, si bien el LIDAR es un sistema muy preciso, se ve limitado para la identificación de características cromáticas de los objetos, siendo superado por el radar en este aspecto, que es capaz de detectar objetos brillantes, oscuros y transparentes, permitiéndole clasificar objetos a larga distancia.

Una característica fundamental y superadora por parte de los radares es la aptitud que poseen para detectar y generar nubes de puntos de objetos que se encuentran superpuestos en su campo de visión.

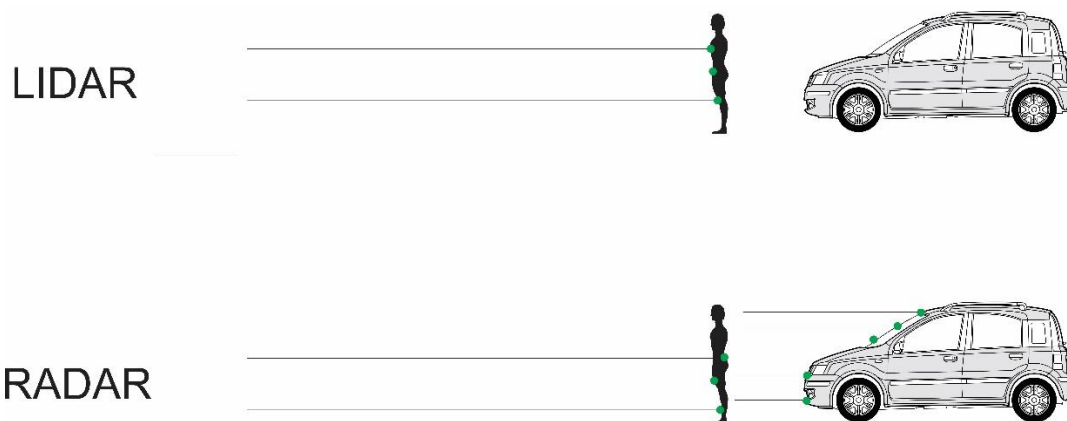


Ilustración 9 Point clouds LIDAR vs Radar

Aplicación de la información recolectada a las ayudas en la conducción

La correcta detección de objetos resulta fundamental para las asistencias al conductor, ya que proveen de la información necesaria para la toma de decisiones mediante redes neuronales o convolucionales, que permitan al vehículo corregir su trayectoria, disminuir la velocidad, activar elementos de seguridad pasiva que resguarden la integridad de los ocupantes, advertir al conductor de un peligro inminente o desviar obstáculos que pudieren propiciar una colisión.

Del párrafo anterior deriva que la inteligencia artificial toma intervención tanto en la seguridad activa, como en la pasiva durante la conducción. A lo largo de los años los fabricantes de vehículos han realizado grandes avances en la incorporación y masificación de sistemas de seguridad autónomos en los vehículos, elevando los estándares a nivel global.

En la siguiente tabla se mencionan algunos de estas ayudas para el conductor junto a su función.

Abreviatura	Sistema	Función
AEB	Frenado Autónomo de Emergencia	Frena el vehículo automáticamente ante la presencia de un obstáculo si el conductor no reacciona a tiempo
PCW	Detección de Peatones y Ciclistas	Permite detectar personas y ciclistas en la calzada en tiempo real, incluso en condiciones climáticas adversas
LKA	Asistencia de Mantenimiento de Carril	Mantiene el vehículo en el carril mediante la detección de las líneas de calzada.
TSR	Reconocimiento de Señales de Tránsito	Analiza imágenes de las cámaras para identificar señales como límites de velocidad, pare, ceda el paso, etc.
ACC	Control de Crucero Adaptativo	Ajusta la velocidad de desplazamiento en función de la distancia y velocidad del vehículo que va adelante.
IPA	Asistente Inteligente de Estacionamiento	Realiza maniobras de estacionamiento de forma autónoma.
DDR-ADR	Detección de Fatiga o Distracción del Conductor	Monitorea rasgos de parpadeo, movimiento ocular y giro de la cabeza para detectar somnolencia o distracción del conductor.
LCA	Asistencia de Cambio de Carril	Utiliza sensores y cámaras para detectar vehículos en el punto ciego y asiste o alerta al conductor durante un cambio de carril.
RCTA	Alerta de Tráfico Cruzado Trasero	Ayuda al salir de un estacionamiento al detectar vehículos que se aproximan desde los lados.
HBA	Control Inteligente de Luces Altas	Detecta vehículos que vienen en sentido contrario o por delante, y apaga o enciende las luces altas.

Tabla 1 Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor

Niveles de autonomía en los vehículos (SAE J3016)

Con la optimización y globalización de los ADAS los vehículos son cada vez más capaces de asumir tareas que antes eran responsabilidad exclusiva del conductor. Es por ello que la Sociedad de Ingeniero Automotrices (SAE) clasificó y estandarizó el grado de automatización de estos sistemas, desarrollando una jerarquía que pudiera ser tomada como referencia a nivel mundial: la clasificación SAE J3016, que define 6 niveles de automatización, del 0 al 5.

Esta jerarquía establece en forma clara qué tanto puede un vehículo operar solo y qué cual es la intervención requerida del ser humano. Es una herramienta clave tanto para fabricantes, desarrolladores de tecnología, legisladores y consumidores, ya que permite establecer responsabilidades, normativas y expectativas realistas frente a las capacidades de los vehículos autónomos. Los niveles se integran de la siguiente manera:

Nivel	Tipo de automatización	¿Interviene el humano?
0	Sin automatización	Si, siempre
1	Asistencia al conductor (ej. control crucero)	Si
2	Automatización parcial (ej. Tesla Autopilot)	Si, debe estar atento
3	Automatización condicional	Solo si el sistema lo necesita
4	Alto nivel de automatización	Casi nunca, solo situaciones específicas
5	Automatización total	No, nunca

Tabla 2 Niveles de automatización en los vehículos



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION

	SAE LEVEL 0	SAE LEVEL 1	SAE LEVEL 2	SAE LEVEL 3	SAE LEVEL 4	SAE LEVEL 5
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering. You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety.			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in "the driver's seat". When the feature requests, you must drive. These automated driving features will not require you to take over driving.		
What do these features do?	These are driver support features These features are limited to providing warnings and momentary assistance. These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver. These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver.			These are automated driving features These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met. This feature can drive the vehicle under all conditions.		
Example Features	• automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning	• lane centering OR • adaptive cruise control	• lane centering AND • adaptive cruise control at the same time	• traffic jam chauffeur	• local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed	• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

Ilustración 10 Niveles de automatización. (Fuente SAE J3016)

Finalmente cabe aclarar que, aunque hoy en día muchos fabricantes promueven sistemas "autónomos", la gran mayoría de los vehículos del mercado aún se ubican en niveles 0, 1 o 2 (asistencia nula o parcial). Solo algunos prototipos avanzados o servicios experimentales (como robotaxis en zonas limitadas) alcanzan niveles 3 o 4, y el nivel 5 aún no existe comercialmente. En Argentina el decreto 196/2025 modificó la Ley Nacional de Tránsito N° 24.449 autorizando la importación y despliegue experimental (en primera instancia y previa autorización de sistemas por parte de la Agencia Nacional de Seguridad Vial), de vehículos autónomos, dando así el puntapié inicial para la llegada de estos sistemas al país.

CONCLUSIONES

La Inteligencia Artificial (IA) se ha vuelto una herramienta fundamental y de rápida expansión en la seguridad vial, demostrando su adaptabilidad. Resulta crucial adoptarla tanto en nuestra vida diaria como conductores, como en nuestra

labor profesional como investigadores y preventores de accidentes, reconociendo el potencial que acarrea, pero también las limitaciones que aún posee.

Es innegable entonces que "vino para quedarse", con una implementación que evoluciona constantemente gracias a su proceso cíclico planteando a futuro una mayor automatización de vehículos y una aplicación cada vez más proactiva para la anticipación y gestión de riesgos, buscando optimizar recursos y mejorar la seguridad vial global.

En resumen, la adopción de la IA ya no es solo una tendencia tecnológica, sino una necesidad para enfrentar los desafíos presentes y futuros de la seguridad vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1] Adewopova, A., Abdelgawad, A., & Wangia-Anderson, V. (2023). Enhancing Traffic Management and Accident Response: A Deep Learning-Based Framework for Accident Detection and Analysis. arXiv. arXiv:2307.12128.
 - 2] Ambrogio, E. Á. J. (2016). Reconocimiento de objetos a través de la metodología Haar Cascades [Presentación de artículo]. RADI 2016.
 - 3] Das, S. (2022). Artificial Intelligence in Highway Safety. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003005599>.
 - 4] Federal Highway Administration. (2013). Adaptive Signal Control Technology: A Guide to System Selection (Report No. FHWA-HOP-13-031).
 - 5] Federal Highway Administration. (2018). Traffic data pocket guide (Report No. FHWA-PL-18-027).
 - 6] Heidari, M., Zad, S., Hajibabaei, P., Malekzadeh, M., HekmatiAthar, S., & Jones, J. H. (2022). Analyzing the Underlying Causes and Predicting the Impact of Traffic Accidents in the United States. arXiv. arXiv:2206.11381.
 - 7] Li, Y., & Shi, H. (2022). Advanced driver assistance systems and autonomous vehicles: From fundamentals to applications. Springer.
 - 8] Miani, M. (2015). Sistema adaptativo de control y optimización de tráfico en la Ciudad de Córdoba [Tesis de grado, Instituto Universitario Aeronáutico]. Córdoba.
 - 9] Renedo Salcedo, A. L. (n.d.). Monitorización del Conductor Basado en Dispositivos Android [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Carlos III de Madrid].
 - 10] Serrano, L., Onieva, E., Landaluce, H., Masegosa, A. D., & Moreno, A. (2020). ¿Cómo puede la inteligencia artificial reducir los accidentes de tráfico y prevenir la congestión? Deusto Social Impact Briefings, (4), 69-87. [https://doi.org/10.18543/dsib-4\(2020\)-pp69-87.pdf](https://doi.org/10.18543/dsib-4(2020)-pp69-87.pdf).
 - 11] Siswanto, J., Syaban, A., & Sarno, R. (2023). Inteligencia artificial en la predicción de accidentes de tráfico. Jambura Journal of Informatics, 5(2), 77-90. <https://doi.org/10.37905/jji.v5i2.22037>.
 - 12] Vanitha, R., & Swedha, M. (2023). Predicción de accidentes de tráfico mediante algoritmos de aprendizaje automático. Middle East Journal of Applied Science and Technology, 6(2), 64-75. <https://doi.org/10.46431/MEJAST.2023.6208>.
 - 13] SAE International. (2021). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (SAE J3016™ APR2021). SAE International.
-

(11)

TRIPLE VERIFICACIÓN DE VELOCIDAD EN LA MUERTE DE FREDDY RINCÓN.

Lic. Gustavo A. Enciso – UNNE. gustavo.enciso@comunidad.unne.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El presente informe pericial documenta la investigación y reconstrucción técnico-científica de un accidente de tránsito ocurrido el 11 de abril de 2022, a las 04:33 horas, en la intersección de la Calle #5 y Carrera #34, en Santiago de Cali. Los vehículos involucrados fueron un Bus del Servicio Público (Vehículo #1), marca Agrale, y un Campero del Servicio Particular (Vehículo #2), marca Ford. Como resultado de este hecho, cuatro personas resultaron lesionadas, y lamentablemente, una de ellas falleció posteriormente.

El objetivo principal de este estudio es establecer las circunstancias del suceso, incluyendo un análisis detallado de la vía, los vehículos, las lesiones de las víctimas, las evidencias físicas y materiales, y las velocidades de circulación de los rodados. La Accidentología, disciplina científica que analiza integralmente los siniestros de tránsito, se apoya en ciencias como la física, la estadística y la informática para esta reconstrucción. Se emplearon tres metodologías independientes para determinar las velocidades de impacto: la metodología clásica basada en principios físicos de colisión, la simulación computacional con software especializado y el análisis de video. Los hallazgos revelaron una colisión perpendicular donde el Vehículo #2 ingresó a la intersección con el semáforo en rojo, siendo impactado por el Vehículo #1.

MÉTODOS Y MATERIALES

La investigación y reconstrucción del accidente se basó en los principios de la **Accidentología**, una disciplina científica que utiliza las **ciencias exactas** como la física, la estadística y la informática. El proceso involucró las siguientes acciones y metodologías:

Inspección y Documentación de Evidencias: Se inició con la inspección y documentación de evidencias en el lugar del siniestro, en los cuerpos de las víctimas, sobre los objetos y en la estructura de los vehículos involucrados.

Análisis del Comportamiento Vehicular y Maniobras: Mediante la lectura sistemática de las evidencias relevadas en el terreno y su confronte con los daños de los vehículos, se logró determinar el comportamiento de los rodados al momento del accidente y las maniobras realizadas por sus conductores antes y después del suceso.

Estudio de Agentes Intervinientes y Factores Externos: La metodología incluyó el estudio de los agentes que intervinieron en el hecho, sopesando los aspectos dinámicos de los vehículos y/o personas, los factores externos a los que se vieron expuestos y el estado de operatividad de las unidades.

Sistemas de Cálculos: La información compilada permitió alimentar el eje fundamental de la metodología: los "sistemas de cálculos", interpretando la evidencia para obtener "datos técnicos" que se utilizaron en modelos físicos planteados.

Determinación de Maniobras y Etiología: Tras el análisis de la mecánica del hecho, se determinaron las maniobras ejecutadas durante el siniestro y se valoraron en función de las condiciones ambientales. Esto permitió especificar la **etiología del accidente** y valorar la relación entre el origen físico del accidente y la conducta del factor humano.

Estudio de la Evitabilidad: Conociendo las causas, se realizó un estudio de la evitabilidad del siniestro, precisando las condiciones bajo las cuales el hecho no se habría producido.

Instrumental y Software Empleados: Se utilizaron los siguientes equipos y programas informáticos para el análisis:

- **Hardware:** 11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11700 @ 2.50GHz.
- **Software:**

PC-Crash® 15: Software principal para simulación computacional del accidente, reconocido y validado en la investigación de accidentes de tránsito.

Tracker® 6.1.3: Licencia de código abierto utilizada para análisis.

RACIT 5.8: Software con licencia de autor a nombre del Lic. Gustavo A. Enciso.

JASP® 0.173: Licencia de código abierto.

Corel Draw®: Software con licencia 413017540.

Speed Estimator®: Licencia GNU, utilizado para análisis de video.

Materiales y Documentos de Origen (Elementos Ofrecidos): Se recibieron copias digitales de los siguientes documentos mediante transferencia electrónica, que sirvieron como base para la investigación:

Informe Policial de Accidente de Tránsito (IPAT No XXX-XXX).

Acta de Inspección a Cadáver.

Informe Investigador de Campo FPJ 11 (álbum fotográfico y recorrido).

Informe de Análisis de Video del Lugar de los Hechos.

Carpeta de videos del lugar del hecho (VIDEO DEL CHOQUE. CASO F RINCON).

Fotografías de XXX-XXX.

Revisión y Diagnóstico Técnico por Accidente de Tránsito (CHEQUEO TECNICO BUS).

Fiscalía General de la Nación. Formato único de noticia criminal.

Acta de Inspección a Lugares FPJ 9.

Informe Ejecutivo FPJ 3.

Informe de IRSVIAL (INFORME FISICO FORENSE IRS RECONSTRUCCION ACCIDENTE).

Informe de Necropsia No XXX-XXX (Sr. Freddy Rincón).

Inspección a Vehículo FPJ 22.

Planos Topográficos (PLANO TOPOGRAFICO XXX-XXX CASO FREDY RINCON).

Informe redactado por Agente de Tránsito Oscar Humberto Salazar Viuche (SEMAFORO EN ROJO - CALLE 5 CARRERA 34).

Informes del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses XXX-XXX, (valoración de XXX-XXX).

Carpeta con imágenes del lugar (otras imágenes medios y focalización).

Copia de trámite de la investigación con número de SPOA XXX-XXX (SEMAFORO EN ROJO - CALLE 5 CARRERA 34).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis de las evidencias y la aplicación de diversas metodologías permitieron establecer los siguientes hechos y circunstancias:

1. Características del Lugar del Hecho y Condiciones Ambientales:

El accidente ocurrió el 11 de abril de 2022, a las 04:33 hrs, en la intersección de la Calle #5 con Carrera #34, en un área urbana, sector comercial y zona deportiva de Santiago de Cali.

La **Calle #5** es una vía urbana de dos calzadas con trazado recto, plano y andenes, con un ancho de 10,6 m, dividida en tres carriles, uno exclusivo para buses, y una bicisenda. La superficie es de concreto en buen estado, con una pendiente de 2.50°, y estaba seca al momento del hecho. El tránsito del Vehículo #1 (Bus) era de Nororienta a Suroccidente.

La **Carrera #34** es una calzada única de 14,3 m de ancho, con andenes, de trazado recto y pendiente, dividida en cuatro carriles, con sentido vial único de Suroriente a Noroccidente. La superficie es de concreto en buen estado y estaba seca al momento del hecho. Por esta vía circulaba el Vehículo #2 (Campero).

Ambas vías contaban con señalización horizontal y vertical adecuada (líneas de división de carriles, bordes, flechas, separadores físicos, senda peatonal, línea de PARE) y sus cruces estaban regulados por **semáforos operativos**. La intersección no es simétrica.

La iluminación era artificial y las condiciones de visibilidad y climáticas eran normales al momento del accidente para ambas vías.

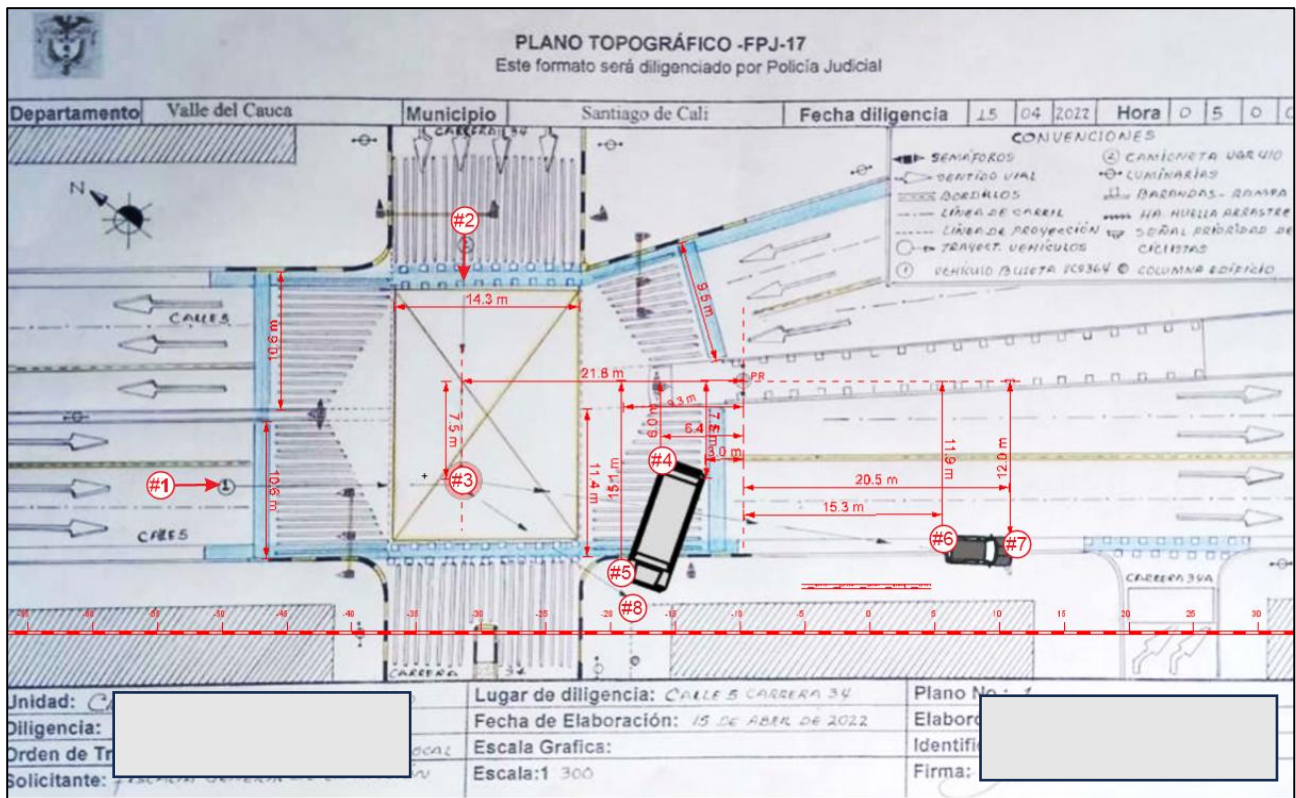


Figura N° 1: vista planimétrica de la intersección de Calle #5 y Carrera #34, donde se esquematiza el sentido de circulación de los vehículos en los instantes previos a la colisión.

2. Vehículos Involucrados y Daños:

- **Vehículo #1 (Bus):** Marca Agrale, Línea MA 90TCA, Modelo 2009, Placas XXX-XXX.
 - **Zona de Impacto:** Frontal. Fue el vehículo que impactó.
 - **Daños Físicos:** Presentaba roturas, abolladuras, partes faltantes y fragmentos de vidrio en las zonas anterior superior e inferior izquierda y derecha. Autopartes afectadas en la zona superior e inferior derecha. Daños en el paragolpes delantero, parabrisas, guardabarros, faldón lateral derecho anterior, faros delanteros, chasis, cabina y puerta de acceso. También se identificaron daños en la rueda delantera izquierda. La magnitud de los daños frontales evidenció la dispersión de autopartes, fracturas estructurales y desplazamiento hacia atrás del alma de la defensa, motor y su soporte.

- Estos daños son compatibles con la colisión con el Vehículo #2 y un posterior choque contra una estructura fija de la vía (columna del predio en Calle #5).
- **Vehículo #2 (Campero):** Marca Ford, Línea Escape, Modelo 2015, Placas XXX-XXX.
 - **Zona de Impacto:** Lateral derecha. Fue el vehículo impactado.
 - **Daños Físicos:** Presentaba roturas, abolladuras, y partes faltantes en faros, puerta lateral derecha, paragolpes delantero, capó y neumático del tren delantero. Daños en autopartes en las zonas anterior inferior derecha, media superior e inferior derecha.

3. Análisis de las Lesiones de las Víctimas: El accidente resultó en lesiones para cuatro personas y el fallecimiento de una.

- **Víctima 1** (conductor del Vehículo #1): Sufrió trauma craneoencefálico leve, cefalea, trauma en rodilla, piernas y tobillos bilateral, con secuelas de deformidad física transitoria y perturbación funcional del sistema de locomoción transitoria. La incapacidad médico-legal definitiva fue de ciento diez días.
- **Víctima 2** (conductor del Vehículo #2): Falleció debido a un trauma craneoencefálico severo con patrón de desaceleración y rotacional, y lesiones en intestino y cara posterior de la aorta torácica. La causa básica de muerte fue un accidente de tránsito violento.
- **Víctima 3** (copiloto del Vehículo #2): Presentó trauma facial, trauma en tórax con dolor a la palpación y amnesia del evento. Su incapacidad médico-legal definitiva fue de veinte días.
- **Víctima 4** (pasajera trasera del Vehículo #2): Presentó una mácula hipercrómica en el brazo izquierdo, consistente con una lesión abrasiva. Su incapacidad médico-legal definitiva fue de tres días.
- **Víctima 5** (pasajera del Vehículo #2): No se pudieron establecer el mecanismo traumático, la incapacidad médico-legal ni las secuelas debido a la falta de acceso a su historial clínico.
- Se mencionó a una quinta persona, José Luis Valencia Martínez, que viajaba detrás del piloto en el Vehículo #2, pero no fue identificado en el informe policial inicial.

4. Análisis de Evidencias Materiales Probatorias (EMP) y Físicas (EF): Se utilizaron puntos de referencia fijos y se detallaron las posiciones de los vehículos y la zona de colisión:

- **Punto de Referencia (PR):** Poste de iluminación pública en el cantero central de la Calle #5.
- **Sentidos de Circulación:** Vehículo #1 por Carrera #34 (Suroriente a Noroccidente). Vehículo #2 por Calle #5 (Nororiente a Suroccidente). (Nota: el sentido de circulación de los vehículos en la evidencia #1 y #2 parece estar invertido en el texto, ya que la Figura N° 1 y el texto posterior indican que Vehículo #1 circulaba por Calle #5 y Vehículo #2 por Carrera #34. Se mantiene la descripción tal como aparece en las "Evidencias" para consistencia con el documento).
- **Zona de Colisión (Evidencia #3):** A 21,8 m al Nororiente y 7,5 m al Noroccidente del PR.
- **Posición Final Vehículo #1 (Evidencias #4 y #5):** Extremo trasero derecho a 6,4 m al Nororiente y 6,0 m al Noroccidente del PR; extremo delantero derecho a 9,3 m al Nororiente y 15,1 m al Noroccidente del PR, en el bordillo.

- **Posición Final Vehículo #2 (Evidencias #6 y #7):** Vértice trasero izquierdo a 15,3 m al Suroccidente y 11,9 m al Noroccidente del PR, sobre la bicisenda de Calle #5; vértice delantero izquierdo a 20,5 m al Suroccidente y 12,0 m al Noroccidente del PR, sobre la bicisenda.
- **Daños en Estructura Fija (Evidencia #8):** Daños en la columna del edificio en la esquina Occidente donde el Bus (Vehículo #1) impactó post-colisión.

5. Análisis de las Velocidades de Circulación: Se emplearon tres metodologías, arrojando resultados consistentes:

- **Primer Método: Metodología Clásica de Análisis (Física Newtoniana):**
 - Velocidad de impacto del Vehículo #1: **62.8 km/hr.**
 - Velocidad de impacto del Vehículo #2: **31.8 km/hr.**
 - Este método considera la conservación de la cantidad de movimiento lineal y angular, requiriendo datos como masa de los vehículos, dirección de entrada/salida y energía/velocidad post-separación.
- **Segundo Método: Simulación Computacional (PC-Crash®):**
 - Velocidad de impacto del Vehículo #1: **59 km/hr.**
 - Velocidad de impacto del Vehículo #2: **23 km/hr.**
 - Este simulador determina velocidades y direcciones pre/post-impacto mediante iteración de cálculos hasta encontrar una solución que se corresponda con el punto de colisión y las posiciones finales de los vehículos.

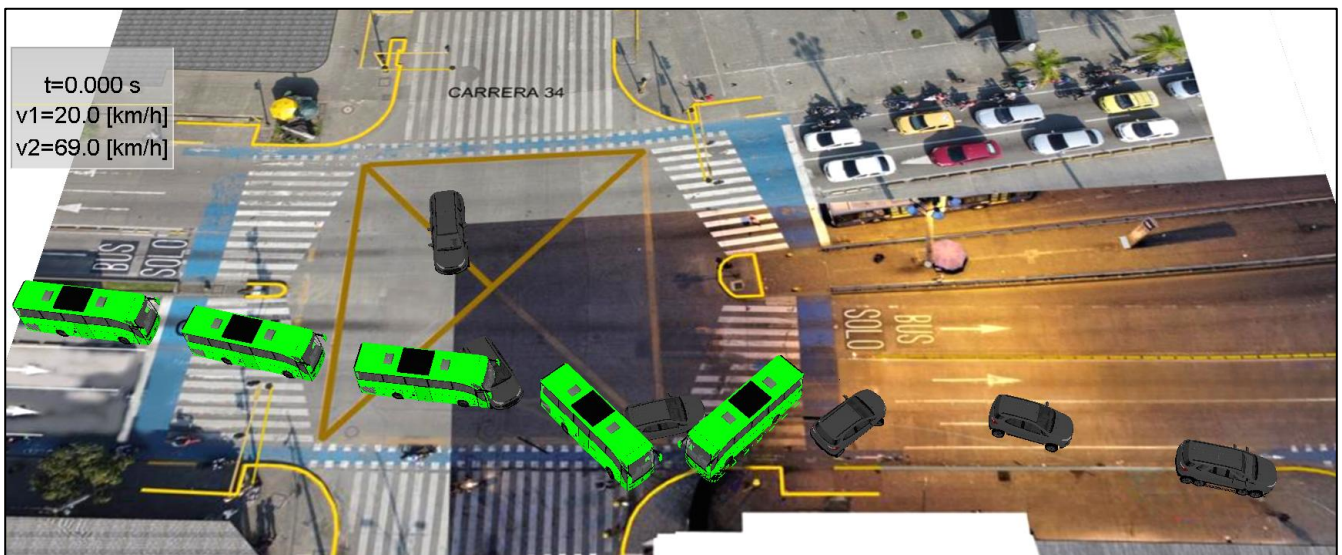


Figura N° 2: Resultado de la simulación por PC-Crash®. Resultados de velocidad en el recuadro superior rojo.

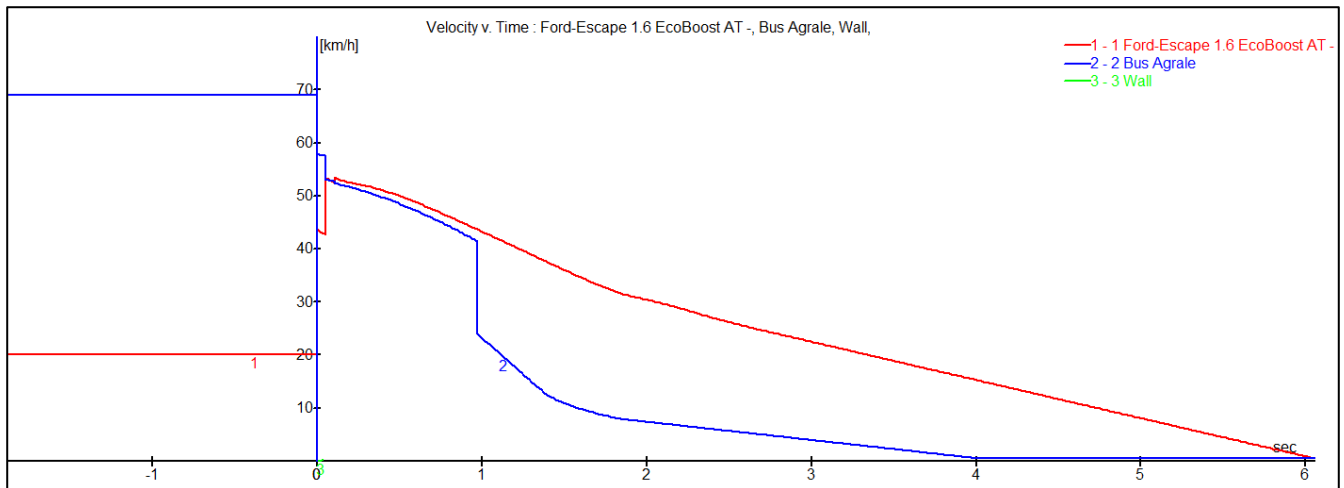


Figura N° 3: Gráficas de velocidad – tiempo para ambos vehículos obtenidos por la simulación con PC-Crash®.

- Tercer Método: Análisis de Video (Speed Estimator®):**

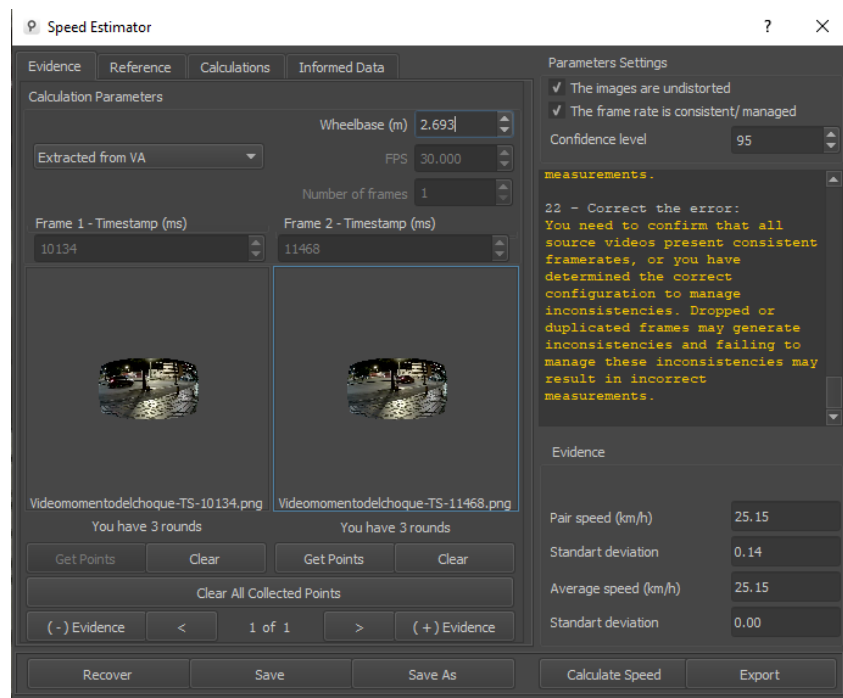


Figura N° 4: Resultado de la velocidad del vehículo #2 Campero, Marca Ford, Línea Escape, Modelo 2015, con Placas UGR 410, antes de arribar a la intersección con Calle #5.

- Velocidad de circulación previa al impacto del Vehículo #2: **25.15 km/hr.**
- Esta técnica se basa en el análisis de registros de posiciones de un objeto en un video, utilizando la distancia entre ejes del vehículo como medida de comparación.

6. Forma de Ocurrencia del Accidente:

- El 11 de abril de 2022, a las 04:33 horas, el Vehículo #2 (Campero) circulaba por Carrera #34 a aproximadamente **30 km/hr**, aproximándose a la intersección con Calle #5 con una **restricción de avance por semáforo en rojo**.
- Simultáneamente, el Vehículo #1 (Bus) circulaba por el carril central de la Calle #5 hacia la intersección con Carrera #34 a una velocidad de **60 km/hr**.
- El **impacto inicial** fue una colisión perpendicular donde el frente del Vehículo #1 impactó el lateral derecho del Vehículo #2. La colisión ocurrió en la zona definida como Evidencia #3.
- Debido a la colisión y la diferencia de masas, el Vehículo #2 fue **proyectado aproximadamente 40 metros** hacia la Calle #5 en sentido Suroccidente, donde finalizó su movimiento.
- El Vehículo #1, luego del impacto inicial, desarrolló un movimiento de traslación y rotación, **chocando contra una columna del edificio** ubicado en la esquina Occidente de la intersección.
- Posteriormente al segundo impacto, el Vehículo #1 retrocedió, giró y rotó, finalizando en su posición según las Evidencias #4 y #5.
- Como resultado, cuatro personas sufrieron lesiones y el conductor del Vehículo #2 falleció.

CONCLUSIONES

En función del análisis técnico-científico y las evidencias recopiladas, se establecen las siguientes conclusiones:

- El hecho investigado corresponde a una **colisión perpendicular**.
- El **Vehículo #1 (Bus)** impactó con su frente sobre el lateral derecho del **Vehículo #2 (Campero)**.
- El **Vehículo #2** ingresó a la intersección de Calle #5 con Carrera #34 **con el semáforo en fase rojo**, es decir, con restricción de avance.
- Como consecuencia de la colisión, el **Vehículo #2 fue proyectado aproximadamente 40 metros** hacia la Calle #5.
- El **Vehículo #1**, después de la colisión inicial, se proyectó **contra una columna del edificio** ubicado en la esquina Occidente de la intersección. Posteriormente, giró, rotó y se trasladó hacia atrás hasta su posición final.
- El accidente resultó en **cuatro personas lesionadas**, incluyendo tres ocupantes del Vehículo #2 y el conductor del Vehículo #1. Adicionalmente, el **conductor del Vehículo #2 falleció** a causa de las lesiones.
- Las **velocidades de los vehículos** involucrados al momento del impacto fueron determinadas mediante tres metodologías independientes y mostraron consistencia:
 - **Vehículo #1 (Bus):** entre **60 km/hr** y **63 km/hr**.
 - **Vehículo #2 (Campero):** **30 km/hr** al impacto, y **25 km/hr** previamente a la intersección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1] Northwestern University. Center For Public Safety. "Traffic Collision Investigation", 10° Edition. Año 2002.

- 2] Insaurralde, María Gisela. "Procedimientos para la investigación de accidentes de tránsito en el lugar de los hechos /Protocolos de aplicación internacional". 1ª ed. revisada. Editorial DOCTOS, febrero de 2018. ISBN 978-987-26183-3-9.
 - 3] Brach, Raymond M. and Brach, R. M. "Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods". Second Edition. SAE International Edition.
 - 4] Moser, Andreas, Hoschopf, Heinz, Steffan, Hermann, Kasanicky, Gustav. "Validation of the PC-Crash Pedestrian Model". SAE 2000-03-06.
 - 5] Nguyen, Benjamin Mai, Fatzinger, Edward, Tovar, Jose, Landerville, Jon. "Using PC-Crash to Analyze Motorcycle Slide to Stop Dynamics". SAE 2022-03-29.
 - 6] Fatzinger, Edward, Landerville, Jon, Tovar, Jose, Nguyen, Benjamin. "Validation of a PC-Crash Multibody Sport Bike Motorcycle Model". SAE2021-01-0893.
 - 7] Searle, John and Angela. "SAE 831622. The trajectories of pedestrians, motorcycles, motorcyclists, etc. following a Roda Accident".
 - 8] Medwell, Christopher J., McCarthy, Joseph R., Shanahan, Michael T. "Motorcycle Slide to Stop Tests". SAE 970963.
 - 9] McNally, Bruce F., Bartlett, Wade, PE. "Motorcycle Sliding Coefficient of Friction Tests". Presented at the 21st Annual Special Problems in Accident Reconstruction held at the Institute of Police Technology and Management, Jacksonville, FL.
 - 10] Peck, Louis R., Focha, Bill, Gloekler, Toby L. "Motorcycle Sliding Friction for Accident Investigation". Dial Engineering, Lightpoint Data, S. D. Lyons, North Coast Truck Inspection, and Collision Reconstruction Engineers, USA.
-

(12)

DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD POR RAZÓN CRUZADA. APLICACIÓN DE UN CASO

Lic. Diego A. Rebossio; drebossio@hsdpericias.com

Lic. Sergio Gustavo Vera; svera@hsdpericias.com

RESUMEN:

El presente trabajo expone la aplicación del método de razón cruzada (RC), basado en principios de geometría proyectiva, para la determinación precisa de la velocidad de una motocicleta involucrada en una colisión vial. El caso analizado ocurrió en la ciudad de Neuquén el 9 de noviembre de 2024, entre dos motovehículos, en una intersección semaforizada en modo intermitente. A partir del análisis forense del video de una cámara de seguridad y la extracción de fotogramas clave, se identificaron posiciones sucesivas de la motocicleta CORVEN S2 150 cc y se aplicó la fórmula derivada del valor invariante de la razón cruzada para estimar la distancia recorrida entre instantes. Combinando dicha distancia con el intervalo temporal (calculado a partir del framerate del video), se determinó una velocidad promedio de 86,73 km/h, sensiblemente superior a la velocidad máxima permitida en el lugar del hecho (25 km/h). La técnica utilizada demostró ser eficaz para preservar relaciones métricas pese a las distorsiones ópticas propias de cámaras de videovigilancia. El procedimiento es replicable, objetivo y permite fundamentar con solidez pericial la dinámica del hecho y el incumplimiento normativo del conductor. Este abordaje constituye un valioso aporte en el campo de la reconstrucción digital de accidentes complejos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1] Fundamentos del análisis de video por razón cruzada. Gustavo A. Enciso. CEIRT. 2024.
 - 2] Fernando Hnerique Lonzetti "Generalização do método cruzado para estimativa de velocidade em aplicações de análise de vídeo forense" Universidade Dederal de Santa Catarina. Florianópolis 2023.
 - 3] Levi S. Shively, ph. D "Introducción a la geometría moderna" CIA Editoriales Continental, S.A. de CV México 1984.
 - 4] Guia Practica de Estimayiva de Velocidade. Policia Federal de Brasil.
-

(13)

Aplicación del motor gráfico de juegos Unreal Engine (UE) y Realidad Virtual (Virtual Reality VR) en el proceso de enseñanza del análisis en la reconstrucción de accidentes de tránsito (*)

Fábio Henrique Jagosich; fabio.fhj@policiacientifica.sp.gov.br

Academia de Polícia Civil do Estado de São Paulo, São Paulo (Brasil)

Núcleo de Acidentes de Trânsito - Instituto de Criminalística - Superintendência da Polícia Técnico-Científica
São Paulo (Brasil)

(*) Obra registrada en la Biblioteca Nacional de Brasil por Número de Protocolo 000984.0228994/2025

RESUMEN:

Cada año se crean nuevos juegos digitales dirigidos a competiciones automovilísticas con elementos gráficos de alta calidad y conceptos precisos de dinámica vehicular que pueden ser jugados por el público en general debido a la posibilidad de computadoras modernas que tienen alto desempeño y capacidad de procesamiento [1, 2].

Estos juegos digitales son criados utilizando motores gráficos de juegos 3D (game engine), como el Unreal Engine desarrollado por Epic Games [3]. El Unreal Engine, actualmente en su versión 5.5, es el motor gráfico más utilizado y su crecimiento se debe a factores como: es popular y accesible; se usó en juego con buenas evaluaciones como Fortnite y The Matrix Awakens; permite la creación de animaciones, render en tiempo real, producción virtual y desarrollo de juegos para dispositivos móviles; tiene la capacidad de crear gráficos 3D ultra realistas y experiencias inmersivas, pero, principalmente, es gratuito [4].

En este sentido, Unreal Engine permite la creación de escenarios realistas con experiencia inmersiva y interacciones dinámicas con el mundo virtual denominada Realidad Extendida (Extended Realities: XR) que es la tecnología que engloba tres tipos de modalidades: Realidad Virtual (Virtual Reality: VR), Realidad Aumentada (Augmented Reality: AR) e Realidad Mixta (Mixed Reality: MR) [5, 6, 7].

El uso de la Realidad Virtual (VR) dentro de Unreal Engine extrapola el uso solamente en juegos, operando también en sectores como la arquitectura y el urbanismo; entrenamiento militar y policial; simulaciones de cirugías médicas; simuladores de vuelo y conducción de automóviles, entre muchas otras aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento [8, 9, 10].

En el presente trabajo tiene como objetivo presentar, en primer lugar, el uso del motor gráfico Unreal Engine como una poderosa herramienta en la creación de escenarios ultra realistas centrados en accidentes de tránsito. Posteriormente, se pretende presentar el uso inmersivo de la Realidad Virtual (VR) en estos escenarios, cuyos resultados son prometedor para la enseñanza del análisis en reconstrucciones de accidentes de tránsito, ya que los estudiantes forenses pueden experimentarlo de manera virtual y sin salir del salón de clases, resaltando que las instituciones educativas forenses requieren de una logística que muchas veces compleja debido a los desplazamientos de los estudiantes y que requieren cuidados especiales con la seguridad en locales reales de accidentes de tránsito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] TECHTUDO, 11 jogos de corrida mais realistas que você pode baixar em 2024. Disponible en <https://www.techtudo.com.br/listas/2024/07/11-jogos-de-corrida-mais-realistas-que-voce-pode-baixar-em-2024-edjogos.ghhtml>. Acceso en 23/02/2025.
- [2] JAGOSICH, F.H.; Aplicaciones de los simuladores BeamNG.drive y BeamNG.tech en análisis forenses y reconstrucciones de accidentes de tránsito, 4º Congreso de Actualización en Reconstrucción de Accidentes de Tránsito (ARAT 4), Buenos Aires, 2 y 3 de noviembre 2023.
- [3] UNREAL ENGINE; consultar sitio web: <https://www.unrealengine.com/>
- [4] UNREAL ENGINE; consultar sitio web: <https://www.unrealengine.com/pt-BR/unreal-engine-5>
- [5] UNREAL ENGINE, consultar sitio web: <https://www.unrealengine.com/pt-BR/xr>
- [6] TORI, R. e HOUNSELL, M.D.; Introdução a Realidade Virtual e Aumentada, Sociedade Brasileira de Computação, 3ª edição, Porto Alegre, 2020.

- [7] MODESTO, F.A.C e SCAVACINILINE, A.; Utilização de Games como apoio no processo ensino-aprendizagem, Proceedings of SBGames, XII SB Games, São Paulo, October 16-18, 2013. Disponible en https://www.sbgames.org/sbgames2013/proceedings/artedesign/A&D_full_11887.pdf. Acceso en 23/02/2025
- [8] PRECISION OS; VR medical simulation from Precision OS trains surgeons five times faster, May 2020. Disponible en <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/vr-medical-simulation-from-precision-os-trains-surgeons-five-times-faster>. Acceso en 23/02/2025.
- [9] CAE PRODIGY Image Generator, CAE pivots to Unreal Engine for next-gen flight simulators, November 2022. Disponible en <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/cae-pivots-to-unreal-engine-for-next-gen-flight-simulators?tags=cae>. Acceso en 23/02/2025.
- [10] GEISTT AB, Real-time simulation of new human-machine interface (HMI) concepts at Scania, November, 2020. Disponible en <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/real-time-simulation-of-new-hmi-concepts-at-scania>. Acceso en 23/02/2025.

...oOo...