

Reconstrucción Eficiente de Accidentes de Tránsito

Efficient Traffic Accident Reconstruction

Presentación: 04/09/2023

Edgardo Roggero

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo
Argentina
eroggero@frh.utn.edu.ar

Resumen

Un accidente de tránsito es un suceso imprevisto que normalmente tiene lugar en la vía pública y afecta al menos a un vehículo. En estos incidentes, se produce una colisión, impacto o contacto entre los elementos involucrados, pueden ser causados por una variedad de factores, como errores humanos, condiciones climáticas adversas, fallas mecánicas, distracciones al volante o violaciones de las normas de seguridad vial. La gravedad de los accidentes de tránsito puede variar, desde colisiones menores con daños mínimos hasta accidentes graves con consecuencias fatales.

La reconstrucción de un accidente de tránsito implica analizar cuidadosamente las evidencias y circunstancias del evento para poder determinar cómo ocurrió, identificar las causas subyacentes y evaluar la responsabilidad de cada una de las partes involucradas. Esta reconstrucción utiliza métodos científicos y técnicas especializadas, como el análisis de frenado, el cálculo de velocidades, la inspección de daños y el estudio de los patrones de colisión, con el fin de obtener una versión precisa de los hechos y contribuir a la comprensión del accidente. En este trabajo, se presenta una metodología que destaca por su simplicidad y precisión en la reconstrucción de accidentes. Esta metodología ofrece una notable ventaja al evitar la subjetividad inherente a la interpretación de los expertos, así como el uso de programas computacionales complejos y costosos. Al adoptar el enfoque propuesto, se obtienen resultados confiables de manera eficiente, facilitando la comprensión y análisis de los hechos en la reconstrucción de accidentes.

Palabras clave: Accidente – Tránsito – Reconstrucción - Metodología

Abstract

A traffic accident is an unforeseen event that usually takes place on public roads and affects at least one vehicle. In these incidents, a collision, impact or contact occurs between the elements involved, and can be caused by a variety of factors, such as human error, adverse weather conditions, mechanical failures, traffic violations, distractions at the wheel or violations of road safety regulations. The severity of traffic accidents can vary, from minor collisions with minimal damage to serious accidents with fatal consequences.

The reconstruction of a traffic accident involves carefully analyzing the evidence and circumstances of the event in order to determine how it occurred, identify the underlying causes and evaluate the responsibility of each of the parties involved. This reconstruction uses scientific methods and specialized techniques, such as braking analysis, speed calculation, damage inspection and the study of collision patterns, in order to obtain an accurate version of the facts and contribute to the understanding of the accident. In this paper, a methodology that stands out for its simplicity and precision in the reconstruction of accidents is presented. This methodology offers a notable advantage by avoiding the subjectivity inherent in the interpretation of experts, as well as the use of complex and expensive computer programs. By adopting the proposed approach, reliable results are obtained efficiently, facilitating the understanding and analysis of the facts in accident reconstruction.

Keywords: Accident – Traffic – Reconstruction – Methodology

Introducción

General

Un accidente de tránsito es un suceso imprevisto que normalmente tiene lugar en la vía pública y afecta al menos a un vehículo. En estos incidentes, se produce una colisión, impacto o contacto entre los elementos involucrados, y pueden ser causados por una variedad de factores, como ser errores humanos, condiciones climáticas adversas, fallas mecánicas, distracciones al volante o violaciones de las normas de seguridad vial. La gravedad de estos accidentes puede variar, desde colisiones menores con daños mínimos hasta accidentes graves con consecuencias fatales.

La reconstrucción de un accidente de tránsito implica analizar cuidadosamente las evidencias y circunstancias del evento para poder determinar cómo ocurrió, identificar las causas subyacentes y evaluar la responsabilidad de cada una de las partes involucradas.

Principales Aplicaciones

La necesidad de determinar las causas de un accidente de tránsito puede surgir tanto de personas físicas como jurídicas cuyo interés es el de conocer los factores que realmente contribuyeron a su ocurrencia. Entre estas personas encontramos a autoridades en general, jueces, abogados, entidades públicas, compañías privadas e incluso particulares. A continuación, se listan las principales aplicaciones que motivan esta necesidad:

- Casos Judiciales de Responsabilidad Civil (cuando se producen daños económicos)
- Casos Judiciales de Responsabilidad Penal (ante la existencia lesiones, e incluso fallecimiento de personas)
- Mejorar los Estándares de Calidad/Seguridad (generalmente requeridos por compañías e instituciones)
- Simple Conocimiento de los Hechos (generalmente requeridos por particulares)

Resultados de la Reconstrucción

Cuando se realiza una reconstrucción quien la solicita en general espera conocer:

- Posiciones y velocidades de los vehículos - y de otros eventuales protagonistas - en cada momento relevante de la mecánica del accidente. En especial al inicio del accidente.
- Cuál ha sido la contribución de cada factor (humano, vehicular y ambiental) en la producción del evento.



Dependiendo del objetivo del solicitante también suelen requerirse:

- Explicación clara de cuál ha sido el origen de cada daño y en qué momento se ha producido (antes, durante o después del accidente). Si se han producido durante el mismo, también debe determinarse el momento específico en el que se origina dentro de la mecánica del hecho.
- Descripción de la estrategia de manejo del conductor
- Bajo qué condiciones podría haberse evitado el accidente o minimizado sus consecuencias.

Niveles de Reconstrucción

La reconstrucción de un accidente de tránsito será tanto más representativa de los hechos realmente sucedidos cuanto más profundos y detallados sean los estudios realizados. La calidad de una reconstrucción es función de tres parámetros principales:

- Calidad y cantidad de información disponible
- Habilidad de quien realiza la reconstrucción.
- Calidad y cantidad de los medios utilizados en la reconstrucción (incluyendo tiempo y recursos dedicados).

En base a estas consideraciones pueden identificarse los siguientes niveles en una reconstrucción; cuanto más alto sea su nivel más preciso y confiable será su ajuste a los hechos realmente sucedidos (el Nivel 2 profesionalmente resuelto resulta ser más que suficiente para la gran mayoría de los casos).

1. Solamente basada en el criterio y experiencia del experto (sin realizar ningún tipo de cálculo).
2. Basada en cálculos simples empleando formulaciones originadas en los principios físico matemáticos de conservación de la energía y de la cantidad de movimiento.
3. Empleando cálculos complejos analizando paso a paso la secuencia de daños; utilizando software específico de reconstrucción y también aplicaciones generales aplicadas al accidente bajo análisis (FEM entre otros).
4. Verificación experimental del caso concreto que se está analizando.

El Proceso de Reconstrucción

Secuencia Típica

La secuencia típica de una reconstrucción puede visualizarse claramente mediante el diagrama presentado a continuación, donde puede observarse que, una vez producido el accidente, el experto deberá recopilar toda la información que esté a su alcance y en base a ella plantear las diversas hipótesis que a su criterio pueden explicar el accidente. Para validar dichas hipótesis el experto debe crear los modelos matemáticos que aplican a cada hipótesis y alimentarlos con la información disponible a fin de obtener los resultados correspondientes. Cuando estos resultados son absolutamente consistentes admitirá la hipótesis como posible explicación de los hechos; si no lo fueran deben ser descartados o al menos reformulados reiniciando un nuevo ciclo de análisis desde el punto que se estime más apropiado (por ejemplo, requiriendo información adicional o más precisa; reformulando las hipótesis y/o los modelos matemáticos entre otras alternativas). A continuación, se presenta la secuencia típica a seguir durante el Proceso de Reconstrucción de un accidente de tránsito.

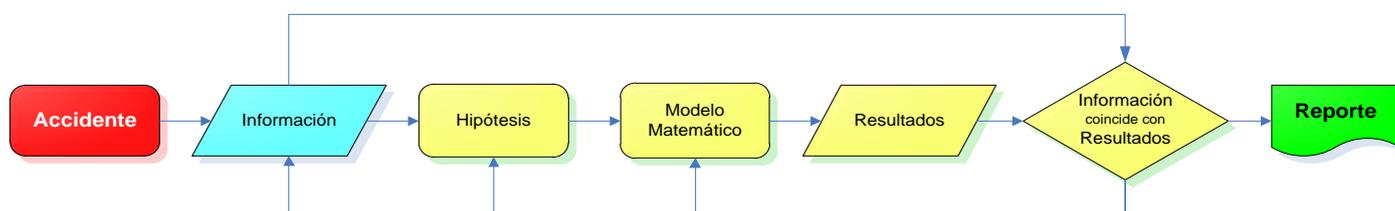


DIAGRAMA 1 – Proceso de Reconstrucción

Sobre la Información

- Organización de la Información

Para una mejor organización de la información durante la reconstrucción de un accidente de tránsito, resulta conveniente emplear una Matriz de Haddon específicamente diseñada para este propósito. Dicha matriz se compone de filas que representan los factores involucrados, y columnas que indican los momentos en los que se deben analizar estos factores. Siendo los tres factores fundamentales: el Humano, el Vehicular, y el Ambiental, los cuales deben ser analizados en tres momentos específicos: Previo al Accidente, Durante el Accidente y Posterior al Accidente.

La combinación entre factores y momentos da lugar a nueve combinaciones distintas. La tabla siguiente presenta estas combinaciones coloreadas en azul. Cuanto más obscura mayor es su relevancia en el proceso de reconstrucción, implicando que se debe realizar un mayor esfuerzo para determinar en forma precisa y detallada la información correspondiente.

		MOMENTO		
		Previo al Accidente	Durante el Accidente	Posterior al Accidente
FACTOR	Humano			
	Vehicular			
	Ambiental			

TABLA 1 – Matriz de Haddon

- Fuentes de Información

Para completar dicha matriz, se dispone de Fuentes de Información que pueden clasificarse en tres categorías según su origen; la información específica del caso bajo análisis no generada por quien realiza la reconstrucción (Externas); las que el experto recopila personalmente (Internas) y las que provienen de bibliografía genérica pero pertinente (General).

Fuentes Externas

- Croquis/pericias de la Autoridad Competente
- Croquis/pericias de otros Peritos
- Fotografías/Videos del Accidente (lugares, vehículos, etc.)
- Declaraciones de las Personas Involucradas (conductores, pasajeros, testigos)

Los croquis/pericias de autoridad competente son piezas clave para la definición de trayectorias, velocidades y eventuales responsables, pero con frecuencia limitan la realización de un análisis apropiado ya que pueden presentar uno o más de las siguientes características:

- Falta de precisión
- Carencia de escalas
- Ausencia de medidas/datos importantes
- Pueden presentar información contradictoria y/o incorrecta

Referencias:

- A. Flecha que indica sentido de circulación y trayectoria del automóvil marca Toyota.
- B. Resto de lámina del polarizado.
- C. Apoyacabeza.
- D. Cuerpo sin vida de quien se llamaba Selin Pablo Salma.
- E. Automóvil marca: Toyota, modelo: Etios, dominio: NPX-568 de color gris.
- F. Resto de acrílicos y vidrios trisados.
- G. Resto de acrílicos.
- H. Resto de paragolpe de la camioneta.
- I. Camioneta marca: Fiat, modelo: Toro, dominio: AA-866-BM, de color bordo.
- J. Huella de arrastre de rueda trasera izquierda de la camioneta.
- K. Sector rayado de color verde, representando mancha de s/aceite.
- L. Resto de ópticas.
- M. Flechas que indican sentido de circulación de la camioneta marca Fiat.
- N. Banquinas.
- O. Flechas que indican sentido de circulación de la arteria.
- P. Huella de efracción, imprimida por las partes bajas de la camioneta.
- Q. Postes de cemento dobles, del tendido eléctrico con la inscripción CA 4003.

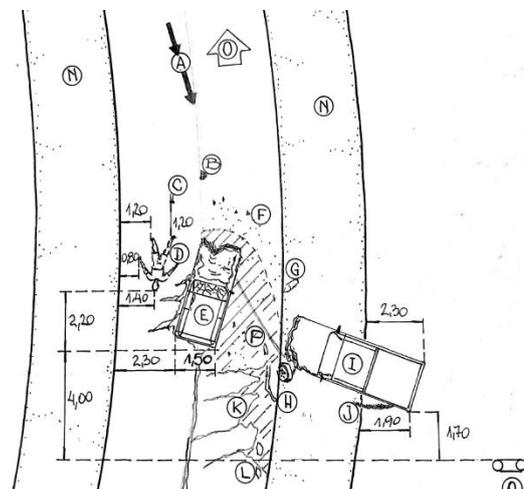


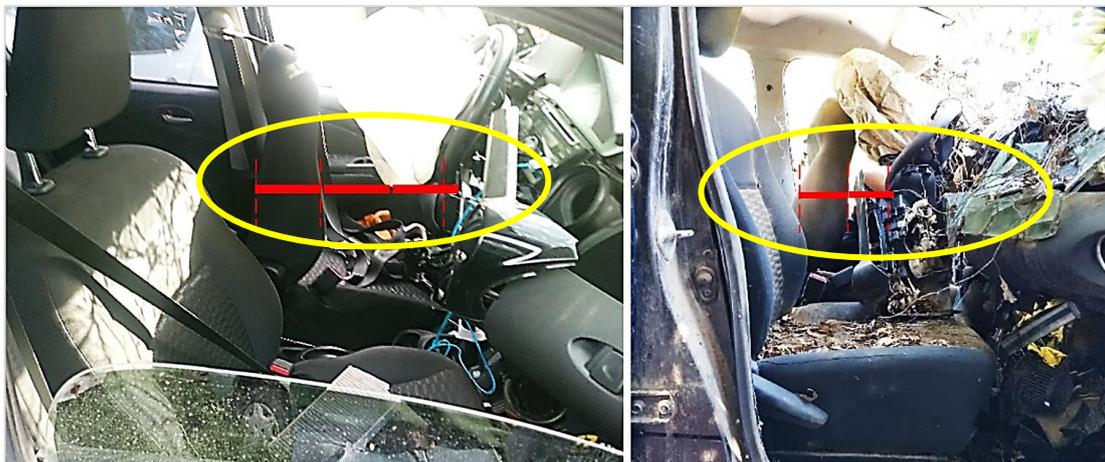
FIGURA 1 – Ejemplo de Croquis Policial

A pesar de ello tiene la utilidad de servir de base (al ser complementados por el resto de evidencia como fotografías, declaraciones, etc.) para la construcción de hipótesis que confirmen o desvirtúen las versiones de los implicados y/o testigos con miras identificar las características primarias del accidente.

Fuentes Internas

- Inspección Ocular del Lugar del Accidente
- Inspección Ocular de los Vehículos

Por lo general, a menos que existan fuertes limitaciones, el especialista en reconstrucción visitará el sitio del accidente para hacer un análisis forense del medio ambiente. También - de resultar posible - inspeccionará los vehículos para identificar los daños sufridos por las unidades. Es en estas actividades donde el experto necesita actuar eficientemente, habida cuenta que tanto el medio ambiente como los vehículos pudieron haber cambiado o eventualmente haber sido adulterados desde el momento del accidente.



FOTOGRAFIA 1 – Distancias Asiento-Volante modificadas entre el Accidente y la Inspección Ocular

Fuente General

- Bibliografía Genérica
- Todo otro material de interés

En este punto se considerará toda información bibliográfica u otras fuentes de referencia y/o de formulaciones necesarias para la reconstrucción a las que debe recurrir el experto para llevar a cabo apropiadamente su cometido. Por ejemplo:

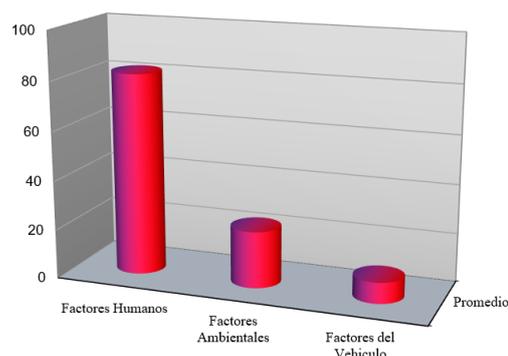


FIGURA 2 – Causas que Originan los Accidentes de Tránsito (NHTSA)

Sobre las Hipótesis

El especialista en reconstrucción examinará y analizará las fotos y/o videos de la escena de la colisión, los informes de accidentes de tránsito de la policía, las declaraciones de las partes/testigos, los informes periciales disponibles, los daños de los vehículos, las características del lugar del hecho, los informes médicos y cualquier otra información pertinente sobre la colisión. Una vez que ha realizado estos análisis, el especialista intentará unir todas las partes (previas, durante y posteriores a la colisión) para comprender mejor la dinámica del accidente y para tratar de determinar los factores causales. Es en base a este proceso que el experto procederá a plantear las distintas hipótesis que, según su criterio pueden explicar las diferentes versiones del accidente.

Sobre el Modelo Matemático

En base a las hipótesis definidas el experto procederá a plantear y a resolver su modelo matemático. Pero como es bien sabido, por quienes se dedican a la reconstrucción de accidentes de tránsito, difícilmente se conocen con precisión los valores de todas las variables involucradas en los modelos matemáticos, por ello a continuación, se presenta un ejemplo simple de la forma recomendada para la resolución de un problema típico que permite obtener una reconstrucción de Nivel 2.

Para analizar esta metodología se considerará un caso en el que un camión impacta a una camioneta que se encuentra detenida y que se interpone en su trayectoria; el objetivo primario en este caso es el de determinar la velocidad del camión para conocer si excedía los límites permitidos. Para ello el accidente ha sido dividido en una serie de eventos y sus ecuaciones, datos y variables involucradas se han sido sintetizadas en la Tabla 2.

Las ecuaciones que gobiernan este accidente se han basado en los principios de la conservación de la energía y de la cantidad de movimiento. Las incógnitas que se desean determinar para reconstruir el accidente ($V_{c0} / V_{c1} / V_1$), los datos que pueden ser determinadas en forma relativamente simple por el experto ($f_1 / f_2 / m_c / m_p$), y las variables que son totalmente dependientes del accidente ($d1 / d2 / E_{def}$) se encuentran indicados en la Tabla 2 bajo las columnas Datos y Variables.

#	EVENTO	TIEMPO	VELOCIDADES		ECUACIONES NECESARIAS	DATOS y VARIABLES		
			Camion	Pick Up		Incognitas	Simple	Del accidente
0	Inicio del Accidente	T0	V_{c0}	$V_{p0} = 0$	NA			
0 a 1	Frenado del Camion	$T0 < T < T1$	V_{c01}	$V_{p01} = 0$	NA			
~ 1	Instante previo al Impacto	~ T1	$-V_{c1}$	$V_{p1} = 0$	$V_{c0} = (V_{c1}^2 + 2 g f_1 d1)^{0.5}$	$V_{c1}; V_{c0}$	f_1	$d1$
1	Impacto	T1	$V_{c1} > V > V_1$	$V_{p1} > V > V_1$	$0,5 m_c V_{c1}^2 - 0,5 (m_c + m_p) V_1^2 = E_{def}$	V_1	$m_c; m_p$	E_{def}
~ 1	Instante Posterior al Impacto	~ T1	V_1	V_1	$V_{c1} = (m_c + m_p) V_1 / m_c$			
1 a 2	Arraste del Camion a la Pick Up	$T1 < T < T2$	$V_{c12} = V_{p12}$	$V_{p12} = V_{c12}$	$V_1 = (2 g f_2 d2)^{0.5}$		f_2	$d2$
2	Fin del Accidente	T2	$V_{c2} = 0$	$V_{p2} = 0$	NA			

TABLA 2 – Eventos, Ecuaciones, Datos y Variables del Modelo Matemático

Siendo:

- V_{c0} : velocidad del camión al empezar a frenar
- V_{c1} : velocidad del camión al impactar la pick up
- V_1 : velocidad del camión al iniciar arrastre de la pick up
- m_c : masa del camión
- m_p : masa de la pick up
- f_1 : coeficiente de fricción camión-calzada
- f_2 : coeficiente de fricción pick up-calzada
- d_1 : distancia de frenado del camión
- d_2 : distancia en la que el camión arrastra a la pick up
- E_{def} : energía de deformación del camión y de la pick up

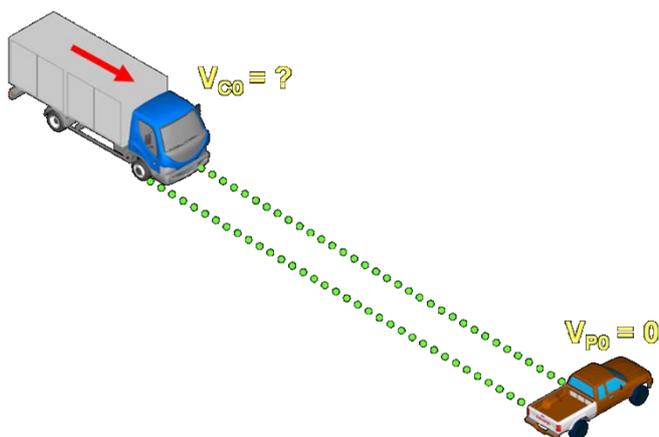


FIGURA 3 – T0: Inicio del Accidente

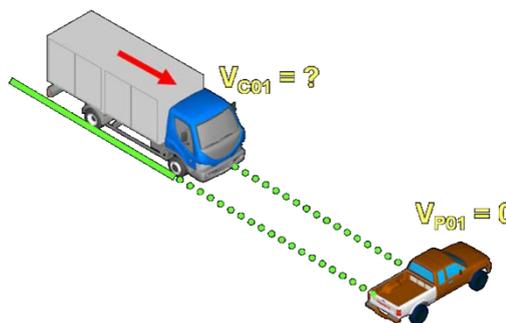


FIGURA 4 – T0 < T < T1: Frenado del Camión

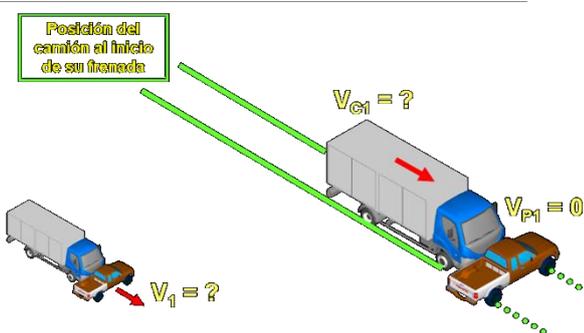


FIGURA 5 – T1: Impacto entre Camión y Pick Up

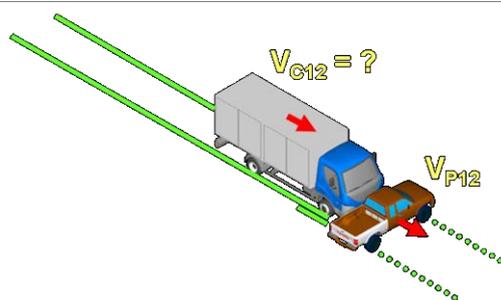


FIGURA 6 – T1 < T < T2: El Camión arrastra la Pick Up

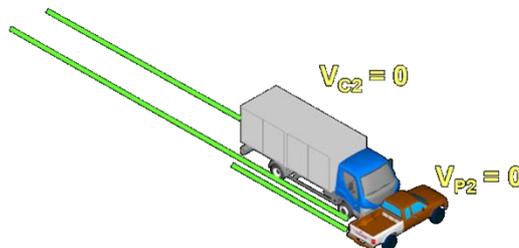


FIGURA 7 – Posiciones Finales en el Accidente

- Solución Típica

La solución típica es tomar las tres ecuaciones correspondientes a V_{C0} ; V_{C1} y V_1 asumiendo como conocidas las variables simples ($f_1 / f_2 / m_c / m_p$) y dos de las variables del accidente d_1 y d_2 ; pero estas últimas suelen tener fuertes incertidumbres, lo cual puede llevar a una solución inapropiada. Por ello si bien tenemos tres ecuaciones y tres incógnitas (las velocidades) la solución puede llegar a ser inconsistente, ya que tenemos una cuarta ecuación (la que involucra a E_{def}) que no hemos utilizado.

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{V}_1 = (2 g f_2 d_2)^{0,5} \\ \mathbf{V}_{C1} = (m_c + m_p) V_1 / m_c \\ \mathbf{V}_{C0} = (V_{C1}^2 + 2 g f_1 d_1)^{0,5} \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad \mathbf{V}_1 \ ; \ \mathbf{V}_{C1} \ ; \ \mathbf{V}_{C0}$$

Con la ecuación que corresponde a E_{def} ; se puede determinar la energía cinética que debería haberse disipado en el accidente, pero esta energía debería ser igual a la que se produce en las deformaciones del camión y de la pick up, lo cual en general no suele lograrse y es practica corriente ajustar manualmente (en forma artesanal) los parámetros para conseguir una reconstrucción consistente. Para evitar ese trabajo manual – el cual la mayoría de las veces tan solo permite obtener una consistencia aproximada ya que deben manejarse simultáneamente muchas variables y ecuaciones - este trabajo propone una metodología matemática que permite, con rigor científico, obtener los mejores resultados posibles con la información disponible.

- Solución Propuesta

La solución propuesta para resolver estas incertidumbres está basada en concepto de experiencia artificial, el cual consiste en plantear las ecuaciones que corresponden al modelo matemático (4 en este caso), pero ahora f_1 ; f_2 ; d_1 y d_2 serán variables independientes (X) que serán variadas dentro de un cierto rango definido por las características propias del problema analizado, y con ellas serán determinadas las variables dependientes (Y). Se crea también un funcional de error que se define en base los errores que aparecen entre los valores estimados por el experto y los calculados para cada combinación de variables independientes. Las soluciones factibles serán presentadas en un archivo denominado “archivo de criterio”, el cual presentará en forma ordenada los resultados obtenidos (comenzado por las combinaciones que generan los menores errores).

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,5 m_C V_{C1}^2 - 0,5 (m_C + m_P) V_1^2 = E_{def} \\ V_1 = (2 g f_2 d_2)^{0,5} \\ V_{C1} = (m_C + m_P) V_1 / m_C \\ V_{C0} = (V_{C1}^2 + 2 f_1 d_1)^{0,5} \end{array} \right. \Rightarrow \begin{array}{l} X (f_1, f_2, d_1, d_2) \\ Y (V_1, V_{C1}, V_{C0}) \\ Z [err(f_1), err(f_2), err(d_1), err(d_2)] \text{ (mínimo)} \end{array}$$

Valoración de la Información y los Resultados

El archivo mencionado será analizado por el experto y a partir de lo que allí observe tomará decisiones que pueden ir desde mejorar la calidad de ciertos datos (por ejemplo medir los coeficientes de fricción en lugar de utilizar valores de la bibliografía; si determina que el pavimento debió estar mojado generará consultas a los testigos para confirmar este resultado, etc.), hasta aceptar la solución una vez que los datos empleados - luego de un proceso de convergencia apropiado - resulten ser totalmente consistentes con la evidencia disponible.

Reporte

Una vez lograda la total compatibilidad entre los resultados obtenidos y la información disponible se procederá a generar el reporte correspondiente.

Conclusiones

En este trabajo se ha sintetizado la metodología recomendada para realizar la reconstrucción de un accidente (Nivel 2); se han planteado, mediante un ejemplo simple, los lineamientos generales que permiten obtener soluciones estrictamente matemáticas que resultan ser totalmente compatibles con la evidencia disponible evitando eventuales subjetividades del experto que lleva adelante la reconstrucción. La descripción detallada de esta metodología queda pendiente para una presentación posterior, donde podrá observarse que su implementación es muy simple, precisa y versátil, la cual es empleada para otros fines tanto prácticos como científicos en agencias espaciales, en industrias de primera línea y en ambientes académicos.

Referencias

- Aycock, E. (2015). *Accident Reconstruction Fundamentals: A Guide to Understanding Vehicle Collisions*. Speakeasy Marketing, Inc. ISBN 13: 9781941645246
- Roggero, E. (2010). *La Reconstrucción de Accidentes de Tránsito - Breve Reseña Metodológica*. COPIME - La Revista Edición del Bicentenario. 2 (1), 54-62. ISSN 1668-5857