

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES**

CONSECUENCIAS FÍSICAS Y JURÍDICAS DE LOS ACCIDENTES AUTOMOVILÍSTICOS

AMAHAM SÁNCHEZ ALVAREZ

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES**

CONSECUENCIAS FÍSICAS Y JURÍDICAS DE LOS ACCIDENTES AUTOMOVILÍSTICOS

TESIS

Presentada a la Honorable Junta Directiva

de la

Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales

de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por

AMAHAM SÁNCHEZ ALVAREZ

Previo a conferírsele el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES

Guatemala, septiembre 2015

**HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

DECANO:	MSc.	Avidán Ortiz Orellana
VOCAL I:	Lic.	Luis Rodolfo Polanco Gil
VOCAL II:	Licda.	Rosario Gil Pérez
VOCAL III:	Lic.	Juan José Bolaños Mejía
VOCAL IV:	Br.	Mario Roberto Méndez Alvarez
VOCAL V:	Br.	Luis Rodolfo Aceituno Macario
SECRETARIO:	Lic.	Luis Fernando López Díaz

RAZÓN: “Únicamente el autor es responsable de las doctrinas sustentadas y contenido de la tesis”. (Artículo 43 del Normativo para la Elaboración de Tesis de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales y del Examen General Público).

LIC. LUIS FERNANDO MÉRIDA CALDERÓN
Abogado y Notario



Guatemala, 15 de febrero 2011

LICENCIADO
CARLOS MANUEL CASTRO MONROY
JEFE DE LA UNIDAD DE TESIS
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES



Licenciado Castro Monroy:

En cumplimiento con el nombramiento emitido por esta jefatura el día dos de marzo de dos mil nueve, precedí a asesorar el trabajo de tesis del estudiante AMAHAM SÁNCHEZ ALVAREZ, carné 87-12303, cuyo título es "CONSECUENCIAS FÍSICAS Y JURÍDICAS DE LOS ACCIDENTES AUTOMOVILÍSTICOS".

El trabajo de investigación se ha elaborado con el objetivo de evidenciar la falta de aplicación de procedimientos científicos y específicamente de la física para ayudar a las ciencias jurídicas en la deducción de responsabilidades tanto civiles como penales en las personas involucradas en un accidente vial, colaborando el presente trabajo en conclusiones fundamentales en la aplicación del derechos en la solución en conflictos legales originados por accidentes viales.

Con el estudiante AMAHAM SÁNCHEZ ALVAREZ, sostuvimos varias sesiones de trabajo durante las cuales fue sugerida la bibliografía que en el desarrollo de la investigación se considera la más adecuada al tema, habiéndose consultado textos científicos doctrinarios de autores extranjeros y nacionales que se refieren en forma precisa a la temática contenida en la investigación realizada, sugerencias que fueron aceptadas por el estudiante y aplicadas al trabajo de investigación señalado. En concordancia al plan de investigación con base al cual se desarrolló el presente trabajo de tesis, se comprobó suficientemente la hipótesis planteada.

Luis Fernando Mérida Calderón
ABOGADO Y NOTARIO

E-mail: luismeridao8@gmail.com

Cel.: 5203-4269.

5ª. Av. 11-70, zona 1, 4to. Nivel, Of. 4 C-2, Edificio Herrera.
Guatemala, C.A.

LIC. LUIS FERNANDO MÉRIDA CALDERÓN

Abogado y Notario



En definitiva el contenido del trabajo de tesis, se ajusta a los requerimientos científicos y técnicos que se deben de cumplir de conformidad con la normativa respectiva, es por ello que al haberse cumplido con los requisitos establecidos en el Artículo 32 del Normativo para la Elaboración de Tesis de Licenciatura de Ciencias Jurídicas y Sociales, y del examen General Público. Además que la metodología y técnicas de investigación que han sido utilizadas han sido las correctas ya que se ha visto que el resultado de la investigación el correcto desempeño y utilización de estas ; Además la redacción en el trabajo de investigación ha sido empleada de manera correcta, ya que se enmarca una buena calidad de trabajo en cuanto a ella, que los datos estadísticos utilizados fueron necesarios para hacer de la investigación una buena fuente de información; Y que dicha información ha contribuido científicamente a enriquecer las ciencias jurídicas y sociales.

Para concluir, estimo que además en el contenido del trabajo de investigación se ha llegado a conclusiones de carácter general que puedan resumir la importancia del tema desarrollado y que en base a ellas se pudieron hacer recomendaciones acerca de cómo deben actuar jueces, quienes con ayuda de los peritos especializados pueden resolver de mejor manera, apegados no solo al derecho, sino también a la prueba científica, que aporta la física; y que además de la bibliografía que ha sido utilizada de manera correcta y ha generado exitosos resultados en el trabajo de investigación, todas las demás fuentes de información ha sido empleadas de manera correcta. Y por ello resulta procedente aprobar el trabajo de tesis asesorado, razón por la cual doy mi **DICTAMEN EN SENTIDO FAVORABLE**, debiendo en consecuencia nombrar al revisor de tesis a efecto que el presente trabajo sea aprobado y discutido posteriormente en el examen público correspondiente.

Sin otro particular, me suscribo muy atentamente.

M.S. c. Luis Fernando Mérida Calderón
Abogado y Notario

Colegio No. 4,096

Luis Fernando Mérida Calderón
ABOGADO Y NOTARIO

E-mail: luismeridao8@gmail.com

Cel.: 5203-4269.

5ª. Av. 11-70, zona 1, 4to. Nivel, Of. 4 C-2, Edificio Herrera.
Guatemala, C.A.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE CIENCIAS
JURÍDICAS Y SOCIALES

Edificio S-7, Ciudad Universitaria
Guatemala, C. A.



**UNIDAD ASESORIA DE TESIS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
JURÍDICAS Y SOCIALES.** Guatemala, diecinueve de julio de dos mil once.

Atentamente, pase al (a la) LICENCIADO (A): **MARTA LISSETH GARCÍA
PENAGOS**, para que proceda a revisar el trabajo de tesis del (de la) estudiante:
AMAHAN SÁNCHEZ ALVAREZ, Intitulado: **“CONSECUENCIAS FÍSICAS Y
JURÍDICAS DE LOS ACCIDENTES AUTOMOVILÍSTICOS”**.

Me permito hacer de su conocimiento que está facultado (a) para realizar las modificaciones de forma y fondo que tengan por objeto mejorar la investigación, asimismo, del título de trabajo de tesis. En el dictamen correspondiente debe hacer constar el contenido del Artículo 32 del Normativo para la Elaboración de Tesis de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales y del Examen General Público, el cual dice: “Tanto el asesor como el revisor de tesis, harán constar en los dictámenes correspondientes, su opinión respecto del contenido científico y técnico de la tesis, la metodología y las técnicas de investigación utilizadas, la redacción, los cuadros estadísticos si fueren necesarios, la contribución científica de la misma, las conclusiones, las recomendaciones y la bibliografía utilizada, si aprueban o desaprueban el trabajo de investigación y otras consideraciones que estime pertinentes”.


LIC. CARLOS MANUEL CASTRO MONROY
JEFE DE LA UNIDAD ASESORIA DE TESIS



cc.Unidad de Tesis
CMCM/ brsp.



LICDA. MARTA LISSETH GARCÍA PENAGOS
Abogada y Notaria – Colegiado 6478
14 Calle "A" 10-22 Zona 1. Ciudad Guatemala
Tel. 22207975



Guatemala 21 de octubre de 2011.

Lic. Carlos Manuel Castro Monroy
Jefe de la Unidad de la Asesoría de Tesis
Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales
Universidad de San Carlos de Guatemala
Su despacho.



Respetable Licenciado Castro:

Atentamente me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento, que cumpliendo con la resolución emitida por esa unidad, revisé el trabajo de Tesis del bachiller **AMAHAM SÁNCHEZ ALVAREZ** con carné universitario 87-12303, intitulado **"CONSECUENCIAS FÍSICAS Y JURÍDICAS DE LOS ACCIDENTES AUTOMOVILÍSTICOS"**

En relación al tema investigado, manifiesto que procedí a realizar las recomendaciones y correcciones necesarias, de conformidad con el Artículo 32 del Normativo para la Elaboración de Tesis de la Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales y del Examen General Público. Por lo tanto me permito informar lo siguiente:

- a) El contenido científico y técnico, adquiere importancia puesto que es un tema sobre el cual no se ha profundizado, ya que contiene doctrina, legislación y práctica que directamente le es aplicable, en el cual se deja constancia sobre la problemática que representa la falta de regulación relacionada al tema.
- b) Se revisó que el estudiante realizara una investigación objetiva y actualizada sobre el tema, siendo en consecuencia el contenido final de la tesis de carácter técnico y científico, ya que utilizó los métodos deductivos y documental, además las técnicas adecuadas para resolver el problema planteado, con lo cual comprueba la hipótesis conforme la proyección científica de la investigación, y según mi opinión fueron aplicados adecuadamente las técnicas que utilizó.





LICDA. MARTA LISSETH GARCÍA PENAGOS

Abogada y Notaria – Colegiado 6478

14 Calle "A" 10-22 Zona 1. Ciudad Guatemala

Tel. 22207975



- c) El contenido y redacción del trabajo de tesis se aprecia al momento de verificar las ventajas que representa a la ciudadanía en general el conocimiento relacionado, y poder así evitar hacer consecuencias innecesarias.
- d) Luego de un trabajo de varias sesiones en las cuales he guiado personalmente al sustentante durante las etapas del proceso de investigación, se comprueba que el presente tema, contribuye científicamente a documentar las estadísticas de los accidentes automovilísticos.
- e) Con respecto al orden que se sigue en el desarrollo del mismo y bibliografía que se consultado son las adecuadas y tanto conclusiones como recomendaciones tienen congruencia y contribuyen a la bibliografía para futuras investigaciones.

El trabajo de tesis en cuestión reúne los requisitos legales establecidos, razón por la cual emito **DICTAMEN FAVORABLE**, recomendando que el mismo continúe el trámite correspondiente, para su posterior evaluación por el tribunal evaluador en el Examen Público de Tesis, previo a optar al grado académico de Licenciado en Ciencias Jurídicas y Sociales.

Atentamente.



MARTA LISSETH GARCÍA PENAGOS

Colegiada 6478

Revisora de Tesis



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala



DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES. Guatemala, 27 de octubre de 2014.

Con vista en los dictámenes que anteceden, se autoriza la impresión del trabajo de tesis del estudiante AMAHAM SÁNCHEZ ALVAREZ, titulado CONSECUENCIAS FÍSICAS Y JURÍDICAS DE LOS ACCIDENTES AUTOMOVILÍSTICOS. Artículos: 31, 33 y 34 del Normativo para la Elaboración de Tesis de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales y del Examen General Público.

BAMO/iyr.



Lic. Avidán Ortiz Orjiana
DECANO





DEDICATORIA

- A DIOS:** El abogado más grande del Universo.
- A MIS PADRES:** Por su incansable esfuerzo de haberme formado con buenos principios para ser un hombre de bien para Guatemala.
- A MIS HERMANOS:** Con amor fraternal, pero en especial a Letty.
- A MI AMIGO:** Wagner Joel Ordóñez Chojolán, ya que sin su apoyo este trabajo no hubiera llegado a feliz término.
- A LOS PROFESIONALES:** Lic. MSc. Luis Fernando Mérida Calderón, Lic. Carlos Manuel Castro Monroy y Dr. Bonerge Mejía Orellana, por sus acertados consejos.
- A:** **LA FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ÍNDICE

Pág.

Introducción..... i

CAPÍTULO I

1. Determinación de la responsabilidad en un accidente automovilístico por principios Físicos.....	1
1.1. Datos sobre los accidentes viales en área metropolitana.....	1
1.1.1. Panorámica general de los accidentes viales en Guatemala.....	2
1.2. Regulación legal de la responsabilidad, según la Ley y Reglamento de Tránsito.....	2
1.3. ¿Qué es un accidente?.....	4
1.4. La definición gramatical de accidente.....	6
1.5. Causas de los accidentes automovilísticos.....	9
1.6. Para evitar accidentes.....	10
1.7. Accidentes que no han sido causados por el conductor involucrado.....	12
1.8. Culpabilidad.....	14
1.9. Estadísticas.....	15
1.10. Clasificación de los accidentes viales.....	16
1.10.1. Por el lugar de ocurrencia.....	16
1.10.2. Por la clase de automotores involucrados.....	20
1.10.3. Por las personas involucrada.....	23
1.10.4. Por la hora del día de ocurrencia.....	25
1.11. Predicciones futuras sobre los accidentes viales.....	27

CAPÍTULO II

2. La física de los accidentes viales.....	33
2.1. La conservación del momentúm angular en un accidente vial.....	34
2.2. La conservación de la energía en un accidente vial.....	35
2.3. Las características del terreno en donde ocurre el accidente.....	36
2.3.1. La fricción.....	38

2.3.2. Calidad de los neumáticos de los automóviles involucrados en el accidente vial	40
2.3.3. El derrape de los neumáticos.....	43
2.4. La reconstrucción en reversa de un accidente vial.....	44

CAPÍTULO III

3. Las consecuencias físicas de un accidente vial.....	51
3.1 La masa del vehículo	51
3.2 La velocidad del vehículo.....	53
3.3 La energía del vehículo.....	56
3.4 Medición y graficación en la escena de un accidente vial	58
3.5 Medición experimental de las frenadas.....	61
3.6 La interpretación estadística de la evidencia.....	62
3.7 La interpretación de los datos.....	64

CAPÍTULO IV

4. Las herramientas de la accidentología vial.....	65
4.1 Consideraciones en 3D de un accidente vial.....	65
4.2 La técnica de Montecarlo.....	73
4.3 Aplicaciones de las integrales dobles.....	90
4.4 Simulaciones numéricas.....	108
4.5 Aplicaciones de la fotogrametría digital.....	109
4.6 La estadística en la investigación de accidentes viales.....	117

CAPÍTULO V

5. Consecuencias jurídicas de los accidentes automovilísticos.....	127
5.1 Adecuación jurídica de los accidentes automovilísticos.....	127
5.2 Consecuencias jurídicas de los accidentes automovilísticos.....	132

CONCLUSIONES.....	137
-------------------	-----



	Pág.
RECOMENDACIONES	139
BIBIOGRAFÍA	141



INTRODUCCIÓN

El problema que se aborda en el presente trabajo de tesis es valorar de mejor manera en el análisis jurídico la prueba pericial que aporta un físico, como perito, posterior de un accidente vial. Esto trae como consecuencia que los accidentes de tránsito no se vean como un caso civil o de faltas, como es lo común actualmente, sino en todo caso sea tratado como una acción que lesiona un bien tutelado de las personas que en todo caso puede tratarse de la misma vida de los guatemaltecos.

Debido al problema que se aborda, es evidente que la hipótesis del presente trabajo de tesis consiste en que los accidentes de tránsito en donde se lesionen bienes tutelados de los guatemaltecos, se resuelven de manera más apegada a lo que realmente sucedió, desde el punto de vista jurídico, con el aporte de un físico especializado en accidentología vial, alcanzándose con el aporte científico de éste, la hipótesis que es posible concluir de mejor manera la responsabilidad civil y penal en un accidente de tránsito.

Los objetivos del presente trabajo de tesis, por lo tanto son varios, siendo los más importantes los siguientes: Indicar que debido a la cantidad de vehículos automotores que circulan por las vías del área metropolitana el número de accidentes, en donde muchos guatemaltecos sufren pérdidas en su patrimonio e incluso la vida, es algo común en el área indicada, pero también en toda la República de Guatemala, de lo anterior se puede concluir que los objetivos propuestos en el presente trabajo de tesis se alcanzaron al lograr que se preste atención o se considere el aporte que un físico puede hacer a esclarecer un accidente de tránsito

Que en la mayor parte del mundo, el aporte que los físicos están haciendo en resolver los problemas que se suscitan en un accidente vial es crucial y muchas veces es la prueba fundamental para resolver los casos en donde se dio un accidente vial.

En el capítulo I, se proporciona información generalizada sobre el parque vehicular en Guatemala, el análisis de los accidentes viales bajo diferentes circunstancias y en



función del crecimiento del parque vehicular de Guatemala, que ocurrirá en el futuro cercano; el capítulo II se da los elementos de la física para el análisis de los accidentes viales, en función de parámetros de los automóviles involucrados, como llantas, lugar donde ocurrió el accidente y otros elementos externos; el capítulo III hace análisis respecto de la magnitud de un accidente vial, esto por parámetros físicos de los vehículos involucrados; el capítulo IV proporciona las herramientas de que se vale la física para tratar de concluir respecto de las causas de un accidente vial, siendo estas técnicas analizadas y propuestas en el presente trabajo de tesis la estadística y la técnica de Montecarlo; el capítulo V trata sobre la forma en que la legislación guatemalteca actual encuadra los accidentes viales y para ello se enumera la legislación vigente sobre los mismos.

La metodología utilizada para desarrollar el presente trabajo de tesis, se fundó en varios ejes siendo los principales los siguientes: Hacer un recuento por medio de tablas, gráficas, encuestas, procesamiento de información, sobre los accidentes viales que ocurrieron en una determinada época en el área metropolitana de Guatemala. Revisar los fundamentos físicos necesarios para analizar un accidente vial, así como los elementos que proporcionan la matemática y la estadística como complementos de la física para lograrlo.

Por último es importante recalcar en la actualidad, debido a los bienes tutelados de los guatemaltecos que los accidentes lesionan, estos no se les dan la importancia debida, como generadores de faltas y delitos para generar las sanciones civiles y penales correspondientes.

Que en Guatemala los jueces no le dan la valoración real a la prueba aportada en un accidente vial, esto en parte a que la legislación actual no le da la importancia debida a los accidentes viales, por lo que muchas veces las penas que se imponen no son las esperadas en estos casos.

CAPÍTULO I

1. Determinación de la responsabilidad en un accidente automovilístico por medio de principios físicos

Las causas reales por las cuales ocurre un accidente automovilístico es prácticamente imposibles de determinar, no obstante la física, valiéndose de la estadística es capaz de describir con bastante certeza las causas por las cuales ocurre el mismo.

En el presente capítulo se resumen los accidentes, los datos o volúmenes de los mismos, las causas, los participantes, las zonas urbanas en donde más accidentes ocurren, así como las predicciones futuras de los mismos.

1.1. Datos sobre los accidentes viales en el área metropolitana de Guatemala

En la actualidad el parque vehicular de Guatemala ha aumentado considerablemente, a tal grado que en el mes de febrero del año dos mil diez, asciende a casi un millón ochocientos mil de las cuales el ochenta por ciento (80%) se hallan en el área metropolitana.

Para tener una idea general del marco que encuadra la presente investigación, es necesario definir de forma clara todos los eventos relacionados a la dinámica vehicular, teniendo como objetivo entender todos los campos que conforman el sistema de tránsito, el cual no solo está conformado por los automotores, la legislación vigente además de los operadores de la legislación y los que la aplican, al momento de ocurrir un siniestro vehicular.

1.1.1. Panorámica general de los accidentes viales en Guatemala

Debido a la falta de cultura vial entre los guatemaltecos, la mayoría de conductores no tiene conciencia de su responsabilidad a la hora de ir frente al volante, lo cual se traduce en altas tasas de accidentes de tránsito. Las consecuencias de esas irresponsabilidades al conducir dejaron cuatro mil seiscientos ochenta accidentes de tránsito en la capital, y al menos mil setecientos noventa en el resto del país, durante el año dos mil siete, según cifras del Instituto Nacional de Estadística (INE), según se cita en la figura dos del presente capítulo.

En la capital, siete mil quinientos vehículos se vieron involucrados en esos accidentes, así como mil ciento veintiséis autobuses urbanos. El mes con más accidentes registrados fue diciembre, con quinientas setenta y tres colisiones, y el más bajo fue febrero de este año, con doscientos noventa y siete, Guatemala es el departamento que encabeza la lista con más accidentes al registrar un mil ochocientos once accidentes.

1.2. Regulación legal de responsabilidad, según la ley y reglamento de tránsito

En Guatemala se encuentra regulado el tránsito por La Ley de Tránsito, Decreto Ley 132-81 y su reglamento, Acuerdo gubernativo 499-97, no estando tipificado directamente los accidentes viales, más sin embargo el Artículo 30 de esta ley cita. "Constituyen infracciones en materia de tránsito la inobservancia, incumplimiento y violación de las normas establecidas en esta ley y sus reglamentos, salvo el caso de acciones u omisiones tipificadas como faltas o delitos. Cuando la infracción no esté específicamente contemplada, se sancionará con amonestaciones o multas conforme la

norma de esta ley, y se impondrá sanción tantas veces como se cometan infracciones aun cuando se trate de la misma persona o vehículo.”

El Artículo 95 del Reglamento de Tránsito regula las normas de conducta para personas implicadas en un accidente de tránsito. Al tener determinada la responsabilidad de de un accidente se aplicara lo establecido por el Código Penal, Artículo 12. El delito es culposo cuando con ocasión de acciones u omisiones lícitas, se causa un mal por imprudencia, negligencia.

El Artículo 157 preceptúa: “Responsabilidad de conductores: Será sancionado con multa de cincuenta a un mil quetzales y privación de la licencia de conducir de tres meses a tres años: 1º. Quien condujere un vehículo de motor bajo influencia de bebidas alcohólicas o fermentadas, fármacos, drogas tóxicas o estupefacientes. 2º. Quien condujere un vehículo de motor con temeridad o impericia manifiesta o en forma imprudente o negligente, poniendo en riesgo o peligro la vida de las personas, su integridad o sus bienes, o causando intranquilidad o zozobra públicas. En caso de reincidencia, las sanciones de este artículo se duplicarán; Si como consecuencia de la conducta irregular resultare lesión o daño, cualquiera que sea su gravedad, los Tribunales aplicarán únicamente la infracción penal más gravemente sancionada. Serán sancionados con el doble de la pena prevista, si el delito se causare por pilotos de transporte colectivo en cualquiera de las circunstancias relacionadas con los incisos primero y segundo del párrafo primero del presente artículo”.

El Artículo 157 bis del mismo texto legal expone que : “Quien condujere un vehículo de transporte colectivo sin que se le haya autorizado la licencia de conducir respectiva,



será sancionado con prisión de seis meses a un año y multa de tres mil a cinco mil quetzales. El empleador propietario, o el responsable de la Dirección de la empresa si se trata de persona jurídica, que emplee conductores de vehículos de transporte colectivo a quienes no haya autorizado la licencia correspondiente, serán sancionados con el doble de la pena señalada en el párrafo anterior”.

En relación a la responsabilidad de otras personas, es importante recalcar, que a pesar de que la legislación guatemalteca no tiene un fundamento fuerte para tipificar los accidentes de tránsito, si contempla la responsabilidad de terceros en los accidentes de tránsito, tal como se muestra a continuación.

El Artículo 158 del Código Penal establece: “Serán sancionados con multa de veinticinco a quinientos quetzales y prisión de dos a seis meses, quienes pusieren en grave e inminente riesgo o peligro la circulación de vehículos en cualquiera de las siguientes maneras: Alterando la seguridad del tránsito mediante la colocación de obstáculos imprevisibles, derramamiento de sustancias deslizantes o inflamables, mutación o destrucción, total o parcial, de la señalización o por cualquier otro medio, o no restableciendo los avisos o indicadores de seguridad de la vía, cuando por circunstancias necesarias debieron ser interrumpidos o removidos”.

1.3. Qué es un accidente

Se invoca a cada instante de accidentes, pero ¿se sabe lo que es un accidente? Más precisamente, ¿Se conoce lo que es un accidente desde el punto de vista jurídico? El lenguaje ordinario muchas veces tiene sentidos diferentes para palabras que se

emplean técnicamente en el Derecho. Un caso extremo es, por ejemplo, la palabra "repetir": que para, abogados, repetir es cobrarle a un tercero lo que se ha debido pagar sin que corresponda.

1. Ejemplos

En primer lugar, algunos ejemplos, del uso de la palabra accidente. Cada vez que alguien choca en un automóvil, se habla de accidente. Todos los periódicos y canales de TV atosigan diariamente con una enorme cantidad de información sobre accidentes terribles:

- Se volcó un bus extraurbanos en una carretera al occidente y cayó a un precipicio de 100 m; murieron la mayor parte de los pasajeros;
- En una carretera del interior del país un camión le cortó el paso a un automóvil; murieron todos los ocupantes de éste último.
- En una avenida principal, chocaron dos automóviles a las 3 de la mañana, estando sus conductores en estado de ebriedad, y murieron dos de los ocupantes quedando gravemente heridos los restantes.
- Sucedió un accidente en un barrio residencial porque, mientras Fulano de Tal caminaba por la calle, le cayó un ladrillo desde el décimo piso de un edificio en construcción y le deshizo el cráneo.

Todavía hay otro tipo de accidentes: por ejemplo, el mismo caso del ladrillo que cae sobre el transeúnte pero cuando ello se debe a que hay un terremoto en ese momento y del edificio en construcción se desprende precisamente el ladrillo que todavía no

había sido cimentado. La pregunta evidente es: ¿por qué en todos estos casos se habla de accidente? ¿Qué tienen en común? En última instancia, ¿qué es realmente un accidente? ¿Qué tiene que ver la culpa, el riesgo y el caso fortuito en todo esto?

En realidad, periodistas, personas de la calle e incluso juristas, no son muy precisos en el vocabulario. Porque se tiene la impresión de que se está ante casos muy diferentes que difícilmente pueden ser categorizados técnicamente - es decir, desde el punto de vista del derecho, bajo un solo concepto. Jurídicamente hablando, el uso de la palabra "accidente" para todo ello no es sino un caos conceptual.

1.4. La definición gramatical de accidente

El Diccionario de la Lengua de la Real Academia Española establece "... se refieren a campos tan diversos como, en filosofía, aquello que forma parte de una cosa sin ser inherente a su naturaleza; en la guerra, el combate o pelea entre fuerzas poco numerosas; y hasta en música, accidente es el signo que altera una nota y la convierte en sostenido o bemol. Accidente es el suceso eventual o acción de que involuntariamente resulta daño para las personas o las cosas"¹

En principio, un accidente es un evento dañino de carácter imprevisible, es algo que sucede cuando nada hacía pensar que iba a pasar.

El accidente es algo que está fuera del orden natural de las cosas.

¹ Moro, Tomas. *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española*. Pág. 38

"Acontecimiento fortuito, imprevisible, acontecimiento imprevisto y repentino que genera daños y riesgos (heridas, muerte); la característica general es que los daños derivados del accidente se producen en condiciones de imprevisibilidad y de anormalidad: no están en el curso normal de las cosas, ocurren de improviso y por consiguiente, no pueden predecirse."²

Lo que sucede con todos los casos de accidentes que se han mencionado como ejemplo y que vienen espontáneamente a la mente cuando se habla de accidentes. Ciertamente no. Quizá todos ellos fueron imprevisibles, inesperados e inevitables para la víctima; por consiguiente, desde el punto de vista de la víctima se trata de accidentes. Pero ese punto de vista no parece tan relevante en la configuración de la responsabilidad jurídica clásica.

Si se adopta el punto de vista de la víctima, todos los casos de responsabilidad civil son accidentes, incluyendo los daños que resulten de los incumplimientos dolosos de las estipulaciones de un contrato; porque si bien respecto de aquel que incumple lo pactado no puede decirse que se trate de una situación imprevista e inevitable, en cambio sí reúne esas condiciones desde el punto de vista de la víctima que no pensaba que la otra parte iba a incumplir. Pero el punto de vista de la víctima no es relevante porque lo que hay que determinar es la responsabilidad de quién causa el daño y no de quien lo sufre. O, si se quiere ser más exactos, el punto de vista de la víctima sólo es relevante cuando existe culpa contribuyente de ella en la producción del daño que recibe, que el caso que se refiere el Decreto Ley 106, Código Civil, en su Artículo 1,652.

² Joutte, André. Dictionnaire d'Orthographe et d'expression écrite. Pág. 121

Es de hacer notar que el accidente de automóvil debido a una falta de atención del chofer porque en el momento que manejaba estaba tratando de sacarle un beso a su pareja, ciertamente no es un accidente en el sentido estricto de la palabra: no hay nada imprevisible en la situación, porque todo hace pensar que una distracción de esa naturaleza conduce a una negligencia en el manejo que genera culpa con relación a los daños resultantes de ella.

En el caso de las empresas de transportes que obliga a sus choferes a conducir hasta el agotamiento, se trata de una imprudencia en la decisión gerencial que también constituye culpa porque era perfectamente claro que el curso normal de los acontecimientos en esas circunstancias llevaría a un daño a los pasajeros y quizá a terceros. Lo mismo sucede si se trata de una imprudencia del propio chofer del bus extraurbano, que, por llegar más temprano a ver a la novia que tiene en el pueblo de destino, manejó a velocidades superiores a las permitidas.

Si el chofer estaba ebrio cuando tuvo el choque en una avenida principal de una ciudad nocturnamente agitada, a las tres de la mañana, acompañado de una niña no tan niña, es indudable que existe culpa de su parte y que no puede decirse que el choque en el que se ve involucrado y donde mueren dos personas sea un accidente, es decir, un hecho imprevisible en esas circunstancias.

En el caso del ladrillo que se cae del edificio en construcción y rompe la cabeza de un transeúnte, no cabe duda de que la empresa constructora pretenderá presentar el hecho como un accidente, es decir, como algo que, pese a todas las precauciones, ocurrió por casualidad. Pero el transeúnte sostendrá que hubo un descuido de vigilancia

en materia de seguridad de los trabajos de construcción. Sin embargo, si el ladrillo cae como consecuencia de un terremoto, no se podría aducir sin duda de que se trata de un mero accidente sin culpa de nadie.

1.5 Causas de los accidentes automovilísticos

Un conductor puede ser responsable civilmente por un accidente debido a su conducta intencional o imprudente. Un conductor imprudente es aquel que maneja sin tomar en cuenta la seguridad, “haciendo caso omiso en forma temeraria y deliberada” de la probabilidad de que puede causar un accidente al manejar de esa forma. A un conductor se le podría encontrar que ha sido imprudente, por ejemplo, si maneja de una forma amenazante o acosante por incurrir en ira en la carretera y a consecuencia de eso causa un accidente. (También se le pueden formular cargos penales por esa conducta). La “ira en la carretera” se define como una “agresión con un vehículo de motor u otra arma peligrosa cometida por el operador o pasajero contra otro vehículo de motor, o una agresión precipitada por un incidente que ocurre en una vía de rodaje.”

En el 2010 hubo un total de 1,663 choques causados por conductores que exhibían esta conducta agresiva al manejar. Según una encuesta reciente de la Empresa Reguladora de Tránsito de la Ciudad de Guatemala (EMETRA), más del 60 por ciento de los conductores consideran que las formas inseguras que tienen otros de manejar, incluyendo el exceso de velocidad, son una amenaza personal importante para ellos y sus familias. Cerca del 30 por ciento de los encuestados dijeron que su seguridad había

sido amenazada durante el transcurso del último mes, mientras que el 67 por ciento sintió esta amenaza durante el transcurso del último año.

Las organizaciones para la seguridad en el tránsito y de orden público están renovando sus esfuerzos para identificar y penalizar a los conductores agresivos, aquellos que exceden la velocidad, se acercan demasiado a la parte trasera del vehículo que va adelante, cruzan bruscamente de un carril a otro, encienden y apagan sus luces delanteras como un gesto de frustración e incurren en otras prácticas peligrosas al conducir. EMETRA define la agresión al conducir como una progresión en las acciones ilícitas al manejar un vehículo, tales como:

- Manejar a exceso de velocidad
- Exceder el límite rotulado o
- Demasiado rápido para las condiciones existentes;
- Cambios de carril inapropiado o excesivo;
- No hacer señales para indicar las intenciones del conductor;
- No fijarse si el movimiento se puede hacer con seguridad; o
- Rebasar en forma inapropiada, no indicar su intención con señales, usar el carril de emergencia para rebasar, o rebasar usando el camellón central

1.6. Para evitar accidentes

Si usted se enfrenta a un conductor agresivo, EMETRA recomienda que usted tome las siguientes acciones:

- Sálgase del camino: lo primero y lo más importante, haga todo lo posible por salirse del camino de esa persona
- Deje su orgullo de lado: no desafíe al conductor agresivo aumentando su velocidad o tratando de retener su lugar en el carril por el que va transitando
- Evite mirarlo a los ojos: el contacto visual algunas veces enfurece al conductor agresivo
- Evite hacer gestos: no le haga caso a los gestos o no los haga usted tampoco
- Reporte a los conductores seriamente agresivos: usted o un pasajero pueden llamar a la policía (pero si usa su teléfono móvil deténgase primero antes de hacerlo en un lugar seguro)

Conductores Ebrios: Cada día hay alguien en este país que muere en un accidente donde hay alcohol de por medio. El año pasado hubo más de cincuenta mil personas lesionadas por accidentes de tránsito relacionados al alcohol.

En una demanda que surja a raíz de un accidente causado por un conductor ebrio, (además de que el conductor embriagado será responsable por las lesiones que haya causado), un establecimiento que venda bebidas alcohólicas para consumo en el lugar o un anfitrión en una actividad social pueden ser responsable civilmente por daños si le sirvieron tragos a un invitado o cliente obviamente embriagado, quien entonces salió manejando y causó el accidente. Sin embargo, el hecho de que la persona que le sirvió bebidas alcohólicas al conductor embriagado puede ser responsable no releva al conductor embriagado de su responsabilidad. Los abogados, que lo auxilien, conocen las leyes que rigen sobre la responsabilidad civil y pueden ayudarlo a identificar quién

puede ser el responsable por sus lesiones, incluyendo a personas o establecimientos comerciales que usted tal vez no haya considerado.

1.7 Accidentes que no han sido causados por el conductor involucrado

En ciertos casos hay factores que causan los accidentes y que no están relacionados a la conducta de algún conductor en particular. Por ejemplo, puede que sea un defecto en el automóvil de la persona el que cause el accidente.

En ese caso, puede que el fabricante o suplidor del automóvil sea el responsable por las lesiones que haya causado el defecto en el automóvil bajo la ley de responsabilidad civil por productos. Una demanda de responsabilidad civil por un producto es la que se entabla contra la entidad responsable por ese producto defectuoso que ha causado la lesión personal al consumidor o usuario. Si el fabricante de un producto crea un producto defectuoso, ya sea en su diseño, fabricación, o rotulación del producto, el fabricante puede ser civilmente responsable por cualquier lesión que el producto cause

Puede que un conductor no tenga la culpa de un accidente donde el mecánico no ha reparado debidamente un vehículo y esa falla es la que causa un accidente. En ese caso, la persona que reparó mal el automóvil y su patrono pueden ser civilmente responsables por las lesiones sufridas bajo la teoría de negligencia.

Otros factores, como carreteras con mal mantenimiento y señales para el control de tránsito inoperantes, pueden contribuir a causar un accidente también. El diseño, mantenimiento, construcción, rotulación, iluminación incorrectos, como también otros

defectos en las carreteras, incluyendo árboles y postes para el tendido eléctrico u otros servicios públicos mal ubicados, también pueden causar serios accidentes serios.

En casos como estos, las entidades gubernamentales pueden ser demandados potenciales.

No obstante, hay reglas especiales que se aplican a las reclamaciones o demandas contra dependencias de gobierno y es crítico obtener buena asesoría legal, para preservar y ganar dichas reclamaciones.

Los casos que surgen por accidentes automovilísticos son los más comunes entre los casos de lesión personal dentro de nuestro sistema de tribunales hoy en día. Cada diez minutos hay alguien en un accidente automovilístico, esto según la Empresa Reguladora de Tránsito de la Ciudad de Guatemala (EMETRA). Salvo en aquellos estados donde hay una ley para casos sin culpa, estos típicamente se rigen por las leyes de negligencia.

Generalmente las personas que operan automóviles deben ejercer “cuidado razonable bajo las circunstancias.

No ejercer ese cuidado razonable se considera negligencia. Una persona que opera un vehículo negligentemente puede estar sujeta a pagar los daños a una persona o propiedad, causados por su negligencia.

La persona lesionada, conocida como la parte demandante, tiene que probar que el demandado fue negligente, que su negligencia causó el accidente y que el accidente

causó las lesiones del demandante. Si usted ha estado involucrado en un accidente de vehículo de motor, no vacile en buscar la asesoría legal de abogados, para proteger mejor sus intereses.

1.8. Culpabilidad

Al igual que ocurre con otros tipos de accidentes, la determinación de quién tiene la culpa de un accidente de tránsito es cuestión de identificar quién fue negligente. En muchos casos sus instintos le dirán que un conductor, un ciclista o un peatón actuaron con descuido, pero no le dice cuál fue la regla o reglas que la persona infraccionó. Las determinaciones de culpabilidad pueden ser complicadas y un abogado estudiará una serie de fuentes, como lo son informes de la policía, leyes de tránsito estatales y testigos, para ayudarle a usted a determinar quién tuvo la culpa de su accidente.

“Los tribunales se fijan en una serie de factores al determinar si un conductor fue negligente. Estos factores incluyen, pero no se limitan a lo siguiente:”³

- Desobedecer señales o letreros de tránsito;
- No hacer una señal al virar;
- Manejar por encima o por debajo del límite de velocidad indicado;
- Hacer caso omiso de las condiciones del clima o el tráfico;
- No manejar por el lado derecho de la carretera; y
- Manejar bajo la influencia de drogas o alcohol.
- Irrespeto a la autoridad

³ Freidin, Dobrinsky, Brown & Rosemblau, P.A. **Recomendaciones que da la oficina de asesoría legal sobre accidentes automovilísticos.** Pág. 45

1.9. Estadísticas

Aunque las causas de accidentes de tránsito son, por lo general, una combinación de factores exógenos, también existen otros elementos que pueden traducirse en la realidad como determinantes de una colisión. Los actos anteriores al choque, son factores simultáneos que comienzan a mover la cadena de sucesos imponderables, los cuales pueden ser clasificados en dos grandes grupos

Factores de Orden Operacional: Se entienden por factores operacionales a las condiciones en las que se encuentra el conductor, en función de tal, cuando se encuentra en el momento del percance, es decir: a las condiciones intrínsecas, que como persona se encuentra, al momento del accidente vial. Dentro del primer grupo, se consideran las siguientes situaciones: tácticas evasivas inapropiadamente seleccionadas, excesiva velocidad de circulación, estrategia elegida tardíamente, falta de diseño de la vía.

Factores de Orden Condicional: Se entienden por factores condicionales, a las condiciones externas en las que se encuentra el conductor, por causas externas, en el momento del accidente, es decir: conductores segundos causantes del accidente, peatones imprudentes, semovientes, fallas mecánicas de su auto u otros autos, que se encuentran en su entorno, invasión imprevista de las vías de tránsito, autos con desperfectos mecánicos en la vía pública sin las señales correspondientes de aviso o prevención de los mismos, etc.

Dentro de los factores condicionales están: la obscuridad, la niebla y el humo, la lluvia y la nieve, pavimentos irregulares, velocidad crítica en curva,

1.10 Clasificación de los accidentes viales

“Para poder entender los accidentes y hacer un análisis de cómo ocurrieron se mencionan estadísticas proporcionadas por la Policía Nacional⁴ y la Policía Municipal de tránsito de los lugares que más ocurren accidentes en la ciudad de Guatemala, así como el tipo de vehículos y personas involucradas la hora y el día de más frecuencia.

1.10.1 Por el lugar de ocurrencia

Tabla I. Lugar más frecuente de ocurrencia de los accidentes de tránsito

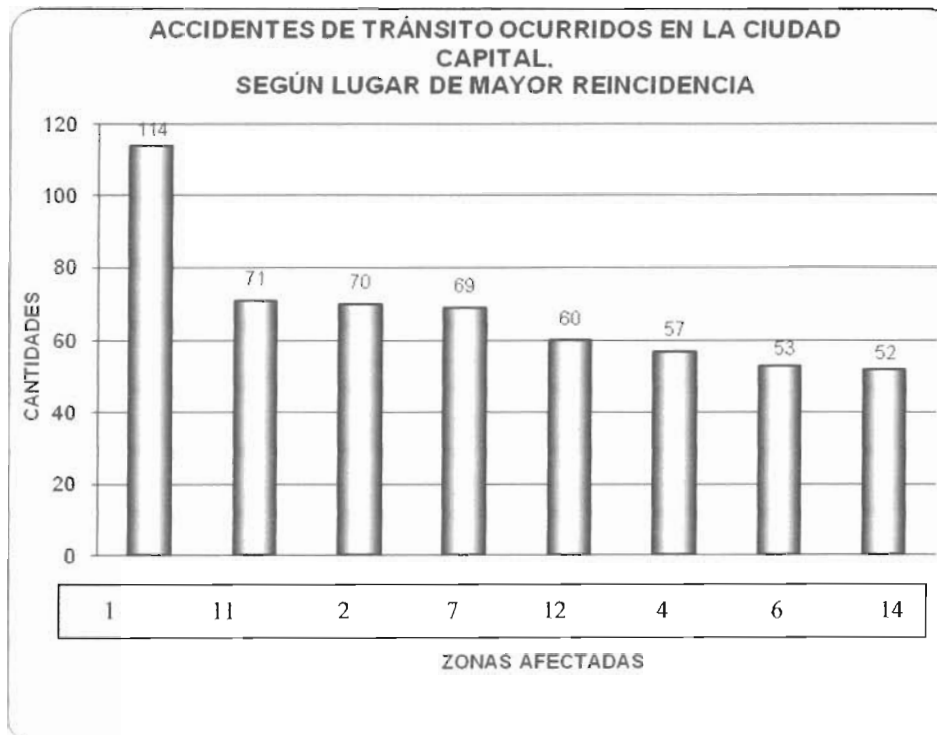


Figura 1. Accidentes de tránsito ocurridos en la Ciudad Capital, según el lugar de mayor ocurrencia, estos datos se obtienen de la Tabla 1.

⁴ Policía Nacional Civil. Oficina de divulgación comisaría 13 Policía Nacional Civil, estadísticas sobre accidentes automovilísticos. Pág. 4.

En la Tabla II se observa cómo se distribuyen los accidentes viales, en la ciudad de Guatemala, según la zona municipal, de esta tabla se puede concluir que la zona donde mayor cantidad de accidentes ocurren es en la zona uno y una de las causas de ello puede ser la naturaleza de las calles, ya que por ser la zona histórica, estas calles son demasiada estrechas para la cantidad de tráfico que circula por ellas.

Por otro lado se observa que la zona donde ocurre menor número de accidentes es en la zona catorce, y esto puede ser porque la zona catorce es una de las zonas más residenciales de la Ciudad de Guatemala, por lo que el movimiento vehicular es muy reducido, durante la mayor parte del día, siendo normal en las horas pico.

Las otras zonas capitalinas tienen un comportamiento normal, esto en función de la zona uno y la zona cinco, es decir: atendiendo a su nivel de industrialización y comercial. Por ejemplo se puede ver que una de las zonas de mayor número de accidentes es la zona once, esto por motivo de la naturaleza comercial de la misma y por contar con la Calzada Roosevelt, que es una de las vías más transitadas de Centro América.

También es interesante observar que a pesar de ser una zona residencial la zona dos, presenta alto número de accidentes, esto se puede concluir de esta zona cuenta con una de las rutas de mayor tránsito pesado, y además por donde transita todo el transporte todo el cemento, como lo es la Calle Martí.

Para un mejor resumen de los accidentes en las zonas capitalinas, se puede observar, de manera completa, la Tabla II, que se presenta a continuación

Tabla II. Accidentes de tránsito según zona municipal de ocurrencia

ACCIDENTES DE TRÁNSITO OCURRIDOS	
EN LA CIUDAD CAPITAL, SEGÚN ZONA MUNICIPAL,	
AÑO 2010	
ZONA MUNICIPAL	CANTIDAD
ZONA 1	838
ZONA 2	229
ZONA 3	197
ZONA 4	134
ZONA 5	96
ZONA 6	299
ZONA 7	389
ZONA 8	203
ZONA 9	342
ZONA 10	371
ZONA 11	756
ZONA 12	461
ZONA 13	287

Fuente: Policía Municipal de Tránsito

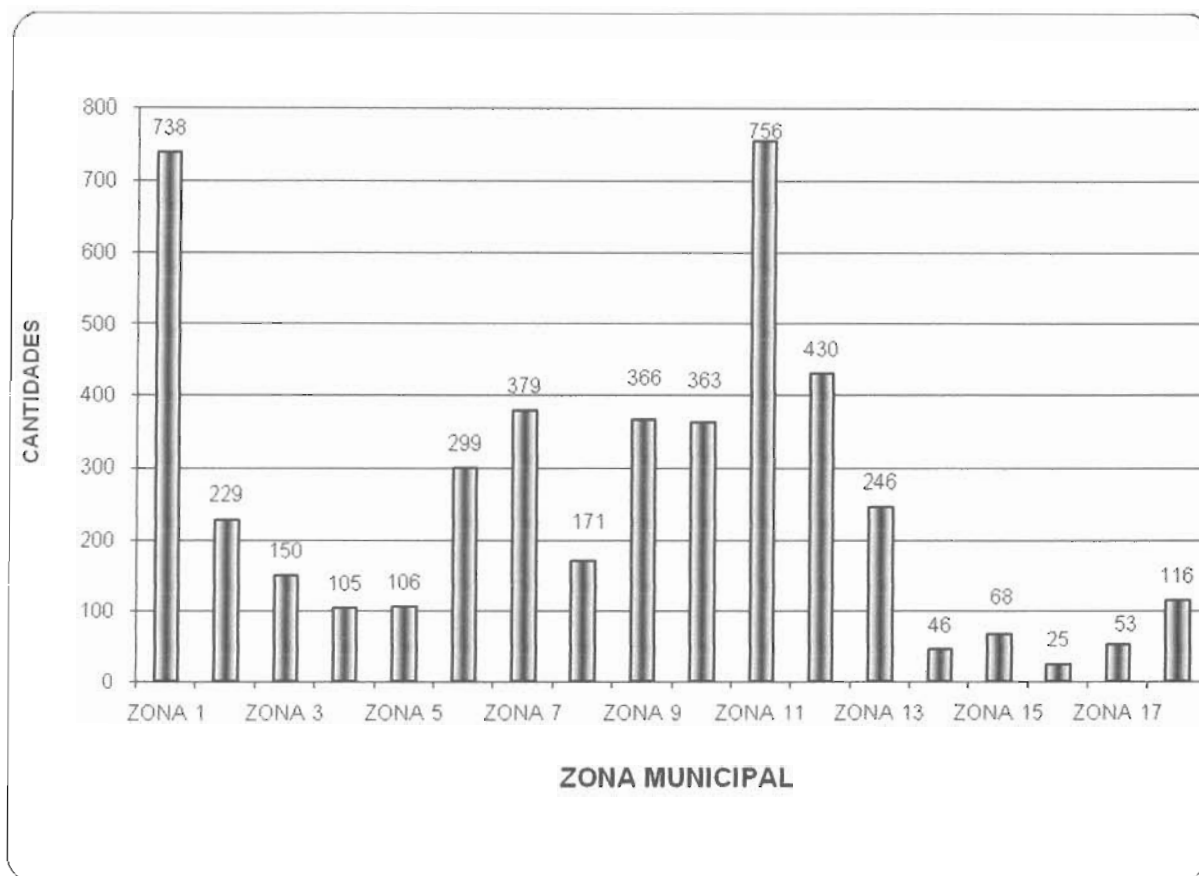


Figura 2. Accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad capital. Según zona Año 2010, estos datos según la tabla II

1.10.2. Por la clase de automotores involucrados

Tabla III. Accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad capital, por mes, según tipo de vehículo, año 2010

TIPO DE VEHÍCULO	TOTAL	MES												
		EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TOTAL	9,478	407	544	884	746	724	778	864	834	835	830	998	1,034	
AUTOMOVIL	4,522	207	258	417	353	334	371	404	403	391	395	477	512	
BUS ARTICULADO	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

BUS DE PERSONAL	2	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-
BUS ESCOLAR	13	-	1	2	-	-	-	4	-	2	1	2	1
BUS EXTRA URBANO	416	17	25	38	33	31	37	33	31	45	33	46	47
BUS URBANO	1,126	42	76	113	85	72	85	111	103	100	114	120	105
CABEZAL	357	8	11	40	26	30	26	32	39	26	30	41	48
CAMIÓN	477	20	24	45	43	41	36	40	44	35	48	47	54
CAMIONETA	478	12	27	43	41	47	56	36	42	33	37	56	48
CAMIONETILLA	235	11	16	14	18	17	9	26	18	26	22	30	28
CARRETON	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
GRUA	3	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
JEEP	84	-	10	9	8	5	6	11	4	9	4	13	5

MICROBUS	195	6	11	22	16	17	14	21	28	17	10	14	19
MOTOCICLETA	206	7	13	12	16	21	24	16	17	15	15	23	27
PANEL	256	9	13	23	23	23	21	19	21	29	28	27	20
PICK UP	1,093	67	59	105	84	83	93	109	81	104	88	102	118
TRACTOR	2	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-

Fuente: Policía Municipal de Tránsito

Tabla IV. Accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad capital, número, según tipo de vehículo, año 2010

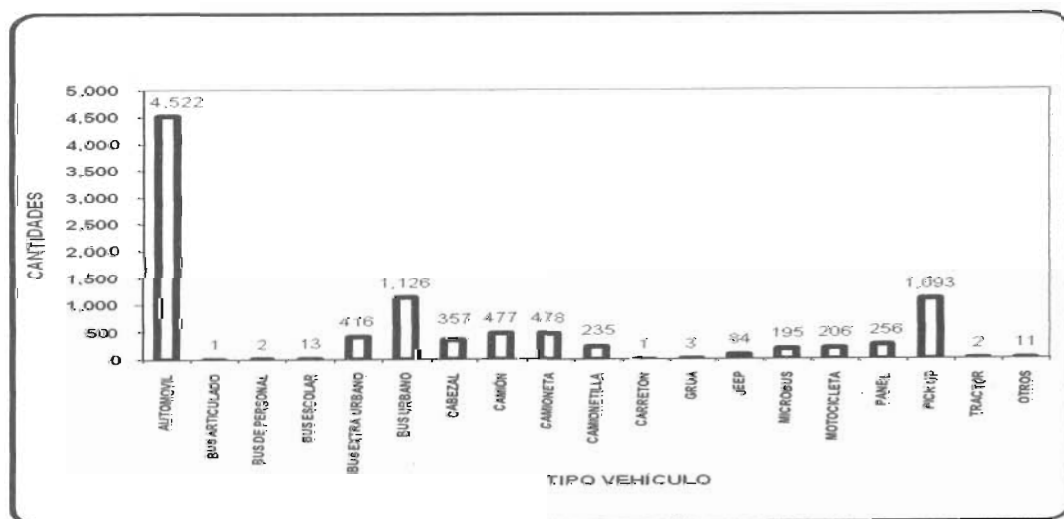


Figura 3. Accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad capital, Por tipo de vehículo Año 2010, estos datos, según la Tabla III

1.10.3. Por las personas involucradas

Tabla V. Lesionados en accidentes de tránsito ocurridos en la República, por estado patológico y sexo, según mes, año 2010

MES	TOTAL			ESTADO PATOLÓGICO Y SEXO					
				EBRIO			NO EBRIO		
	TOTAL	HOMB	MUJER	TOTAL	HOM	MUJER	TOTAL	HOMB	MUJER
TOTAL	2,586	1,780	806	190	176	14	2,396	1,604	792
ENERO	251	176	75	15	14	1	236	162	74
FEBRERO	286	186	100	20	18	2	266	168	98

MARZO	247	181	66	22	21	1	225	160	65
ABRIL	237	163	74	19	19	-	218	144	74
MAYO	206	145	61	16	16	-	190	129	61
JUNIO	252	171	81	10	7	3	242	164	78
JULIO	202	143	59	11	8	3	191	135	56
AGOSTO	162	113	49	17	17	-	145	96	49
SEPTIEMBRE	210	143	67	16	13	3	194	130	64
OCTUBRE	201	133	68	16	15	1	185	118	67
NOVIEMBRE	156	105	51	10	10	-	146	95	51
DICIEMBRE	176	121	55	18	18	-	158	103	55

Fuente: Policía Nacional Civil

1.10.4. Por la hora del día de ocurrencia

Tabla VI. Accidentes de tránsito según hora y día de ocurrencia

MUERTOS EN ACCIDENTES DE TRÁNSITO OCURRIDOS EN LA REPÚBLICA, POR HORA, SEGÚN DÍA												
AÑO 2010												
DÍA	TOTAL	HORA										
		0H	2H	5H	8H	11H	13H	15H	17H	19H	21H	23H
		1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M
		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
		2 H	5 H	8 H	11H	13H	15H	17H	19H	21H	23H	24H

TOTAL	581	12	36	83	69	46	70	84	49	83	30	19
LUNES	78	-	9	17	7	8	9	9	6	9	3	1
MARTES	54	-	3	15	3	6	7	7	7	3	2	1
MIÉRCOLES	62	1	3	9	10	5	10	9	7	4	3	1
JUEVES	91	3	14	12	5	3	9	18	5	14	2	6
VIERNES	84	2	-	7	15	3	10	18	10	10	6	3
SÁBADO	119	2	6	12	23	14	10	12	3	27	5	5
DOMINGO	93	4	1	11	6	7	15	11	11	16	9	2

1.11. Predicciones futuras sobre los accidentes viales

Las técnicas de Reconstrucción Virtual, aplicadas a la investigación de siniestros viales, constituyen en la actualidad una de las herramientas tecnológicas más importantes dentro de las ciencias forenses y de la accidentología.

Eso debido a que justamente, por medio de esta tecnología es posible recrear ante los ojos, el medio perceptivo más importante, distintas inferencias de cómo se sucedieron los acontecimientos del siniestro que está siendo investigado.

Cabe acotar, con relación a estos hechos, que las modalidades y medios empleados por sus autores y protagonistas, varían en gran manera, en función también al tipo de accidente. Pero de cierto es que en cada circunstancia del accidente, siempre existe un objetivo, un objeto o valor, un medio, víctimas y un espacio definido, todo esto comprendido en un intervalo de tiempo donde se desarrolla el hecho. Por lo que las técnicas de Reconstrucción Virtual de Accidentes de Tránsito permitirán conjugar todos estos elementos en disputa en cada caso o infracción de leyes. De lo que resulta entonces que todo lo que sea material y haya estado involucrado significativamente en el hecho a investigar, puede ser representado virtualmente.

De manera conceptual podemos entender que, la Reconstrucción Virtual, es la reproducción de cómo ocurrieron los hechos desde la inferencia metódica y fundamentada de un experto en la materia. A tales características debemos añadir, que esta reproducción se centra básicamente en una tecnología de la informática que recibe el nombre de INFOGRAFÍA, la cual contempla todos los aspectos del dibujo asistido por

ordenadores. La infografía viene entonces a asistir o a proveer de la herramienta necesaria para el confeccionamiento del hecho que se quiere reproducir.

Sin embargo, nada puede resolver sola esta parte de la informática sin los conocimientos de la física, para la resolución del problema. En este sentido, la Reconstrucción Virtual, debe ser contemplada como la resultante de la suma combinada de especialidades entre la Informática, quien provee los medios; y la Accidentología que establecerá las verdades deducidas e inferidas para posteriormente volcarlas a la tarea de la interpretación de los juristas y demás personas.

Reconstrucción Virtual del Accidente de Tránsito, es una metodología de investigación que se contempla en el estudio retrospectivo de un hecho a partir de inferencias abductivas y deductivas sobre indicios materiales que permiten emitir un diagnóstico fundamentado de la dinámica del hecho, reproducible por medio de un instrumento virtual. Instrumento virtual, es el conjunto de software y hardware que agregado a una PC permite al usuario interactuar con el ordenador.

“Confeccionar la Reconstrucción Virtual de cualquier siniestro vial implica imaginar, crear, plasmar en papel o en cualquier otro medio que sea factible, en principio, una serie de imágenes fotorrealista del hecho y poder a continuación reproducirlas en forma secuencial, de manera que el espectador pueda percibir el hecho en forma de una película. El proceso de creación de las imágenes fotorrealistas, consiste, primeramente, en el dibujado de la escena del lugar o escenario del hecho a reconstruir. Este proceso contempla la creación de figuras (proyecciones) tridimensionales que poseen

propiedades a las cuales se le van a semejar a las cualidades reales de los objetos que intervinieron en el hecho⁵.

Esto quiere decir, que cada objeto que se coloca en la escena y que luego es observado en la Reconstrucción Virtual, representa no solo la morfología del elemento, sino que además, cuenta con las propiedades relevantes del mismo.

- En la Reconstrucción Virtual de un accidente de tránsito, se intentará confeccionar a través de gráficas, figuras foto realistas que constarán con las siguientes propiedades: Es proyección tridimensional: esto implica que la figura posee volumen (proyectado) y que puede ser apreciados desde cualquier ángulo de visión.
- Sus dimensiones son proporcionales (posee una escala) a las dimensiones del objeto real.
- Posee colores, materiales y texturas que también son proporcionales a las del objeto real.
- La escena del lugar representado adquiere las características principales de iluminación, acorde con las condiciones climáticas, de iluminación y visibilidad del lugar real en el momento del hecho.

Al poder construir con el ordenador una imagen que contemple todas las características anteriormente mencionadas, no sólo se está logrando dibujar el escenario, ya que las imágenes logradas presentan la posibilidad de poder ser contempladas por cualquiera de sus lados. Esta circunstancia permite colocar al

⁵ Gustavo A. Enciso: **Reconstrucción virtual de accidentes y hecho criminalizables**. Pág. 18

operador en la posibilidad de “ubicarse”, a través de la percepción, en un espacio que presenta propiedades muy semejantes a las del lugar real.

En términos más sencillos, se pueda decir que al dibujar una escena con estas propiedades, por medio de un ordenador, se está, a la vez dibujando infinitas imágenes del mismo objeto o escenario pero desde distintos puntos de vistas, tal cual como si se estuviera en el mismo lugar. De hecho, esto es justamente lo que se hace cada vez que simplemente se mira un lugar; se recoge visualmente enormes cantidades de imágenes que se proyectan en la retina humana, con la diferencia de que por medio de la Reconstrucción Virtual, se percibe el lugar análogo del crimen, ahora limitados por los márgenes de la pantalla.

Sin embargo lo primero que se debe discriminar para la realización de una Reconstrucción Virtual, es la condición de los objetos a representar según sus propiedades de inercia y movilidad; estos significa que debe tenerse presente todos y cada uno de los elementos que se encuentran en movimiento en la consumación del hecho y aquellos que no poseen tal condición. Lo que requerirá realizar, antes de la reconstrucción, el análisis de la dinámica de los objetos en movimiento en la escena.

En la figura 4 se observa la representación vectorial de dos objetos involucrados en el hecho que se investiga (automóvil y peatón) en una vista en perspectiva donde se aprecia sus proporciones y tamaño a escala, representados en forma tridimensional y en la siguiente se mejoró la representación de los objetos añadiéndoles las texturas.

De hecho en la práctica se añade color para una mejor comprensión

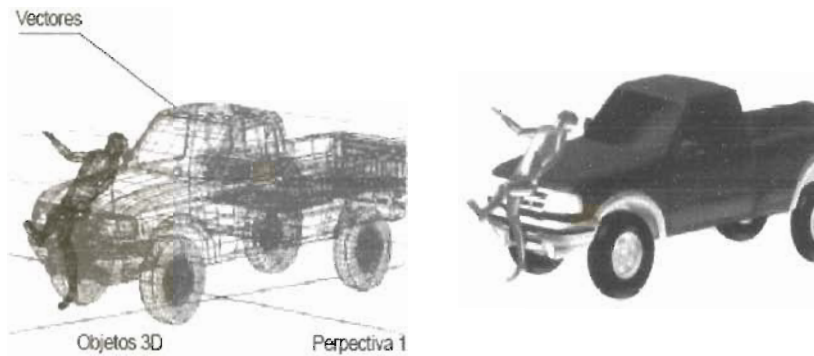
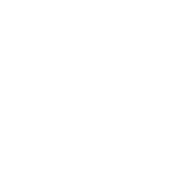


Figura 4. Representación vectorial de objetos involucrados en el accidente.

“La tarea de Reconstrucción concluye, cuando se procesa cada imagen vectorial, con sus respectivas propiedades y respectivas posiciones, en un rango de tiempo seleccionado, con una determinada longitud; donde se reproduce la dinámica de los hechos investigados previamente, realizar esta última tarea, requiere de un estudio preliminar de definición en tiempo y espacio, de cada objeto que se infiere estuvo en movimiento en la consumación del hecho. Lo que implica conocer la dinámica de los mismos, para solo después de esto, distribuir en el espacio y tiempo todos y cada uno de los objetos relevantes del accidente.”⁶

⁶ Gustavo A. Enciso. *Ibid.* Pág. 32



CAPÍTULO II

2. La física de los accidentes viales

En el marco de la investigación de un siniestro vial, la tarea de reconstrucción del accidente constituye el eje central de la tarea pericial y dentro de ella los cálculos tendientes a verificar la velocidad de circulación obliga necesariamente a todo perito a realizar un recorte metodológico del fenómeno a estudiar bajo las formas de un modelo físico que le permita verificar los valores más probables de velocidad. En este sentido al retomar el concepto de probabilidad, el valor de la magnitud informada en el dictamen, será un resultado más ajustado en la medida de que el o los modelos físicos utilizados se planteen con mejores consideraciones y contemplando a la vez, mayores circunstancias del caso investigado. Surge entonces la necesidad de pasar de modelos sencillos a sistematizaciones más complejas donde se consideren otros fenómenos que han sido descartados por los primeros modelos tradicionales con la finalidad de minimizar el rango de probabilidades del valor informado.

Las modelizaciones tradicionales de cálculos basadas en las huellas de frenada se centran en las consideraciones propias de la mecánica del punto la cual conlleva una serie de consideraciones que el perito debe realizar para su utilización y que ya fuera señalada por el perito recolector de evidencia, en particular en aquellos casos donde la producción de la huella se genera no en forma rectilínea sino ésta señala traslación y rotación del vehículo, los cálculos propios de la mecánica del punto no posibilitan la contemplación de la energía disipada en la rotación.

Es aquí donde el empleo de la dinámica del sólido posibilita examinar el fenómeno de la rotación para mejorar los resultados del cálculo.

2.1. La conservación del momentúm angular en un accidente vial

Analizando el momento de inercia se observa que este depende fundamentalmente del centro de rotación y de la forma del cuerpo que rota. Una primera consideración del modelo propuesto, está relacionado con contemplar al vehículo como un paralelepípedo, si se considera al vehículo como un sólido con forma de paralelepípedo que rota alrededor de su centro de masas coincidente con el centro del volumen, el momento de inercia respecto al eje “z” será:

$$I_0 = M \frac{(a^2 + b^2)}{12} \quad 1.$$

I₀: momento de inercia propio respecto al eje vertical “z”.

M: masa total del vehículo.

a: ancho del vehículo.

b: largo del vehículo.

Reemplazando en las ecuaciones de la conservación de la energía y luego de un proceso algebraico, el cual no es complicado, se llega a una expresión con la cual se puede determinar el valor de la velocidad al inicio de la huella en función de parámetros mesurables:

$$v_0 = \sqrt{2\mu g \left[x + \frac{(a^2 + b^2)}{12x} \theta^2 \right]}$$

2.

“Esta ecuación es el algoritmo general para el caso ideal de interpretar al vehículo como un paralelepípedo que rota alrededor de su baricentro, como en la mayoría de los casos reales no sucede esto, es necesario hacer las correcciones correspondientes aplicando el Teorema de Steiner.”⁷

$$I = I_0 + Md^2$$

3.

2.2. La Conservación de la energía en un accidente vial.

El trabajo durante la traslación está vinculado con el rozamiento durante el desplazamiento longitudinal del centro de masa del vehículo, el cual se convierte en calor. En tanto que la energía de rotación tiene que ver con la energía necesaria para que el vehículo rote alrededor de un punto que puede ser o no coincidente con el centro de masa del vehículo:

$$E_c(\text{inicial}) = W_r - E_r$$

4.

Dónde:

$E_c(\text{inicial})$: es la energía cinética del vehículo al inicio de la huella.

W_r : es trabajo de rozamiento consumido en la traslación del centro de masa.

⁷ Serway Raymond A y Jewett John W. Física para las ciencias y la ingeniería. Pág. 112

E_r : es la energía de rotación del vehículo.

La ecuación del Principio de la Conservación de la Energía se puede escribir de la siguiente manera:

$$\frac{1}{2}Mv_0^2 = \mu g Mx + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad \mathbf{5. a}$$

$$E_c(\text{inicial}) = \mu g Mx + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad \mathbf{5. b}$$

M: es la masa total del vehículo.

V₀: es la velocidad del vehículo al inicio de las huellas.

μ: es el coeficiente de fricción neumático-superficie elegido de tabla.

x: es la distancia o extensión de las huellas de los neumáticos.

g: es la aceleración de la gravedad.

2.3. Las características del terreno donde ocurre el accidente vial

La investigación de Accidentes en el tránsito, es la realización de informes técnicos que ayuden al esclarecimiento de los accidentes de tránsito. Estos informes técnicos sirven de base a las personas encargadas de la defensa del accidente y a los Jueces encargados de establecer las responsabilidades, dándoles a conocer distintos aspectos del accidente que generalmente no han sido tenidos en cuenta y que se develan con los informes. El Informe Técnico consta de análisis de terreno, levantamiento planimétrico,

estudio de los daños de los vehículos, evolución del accidente, cálculo de velocidades, causalidad y se complementa con fotografías y la búsqueda de testigos.

En muchas ocasiones el hombre necesita tener una representación del territorio en el que se encuentra por el simple hecho de ubicarse o también querer edificar en algún terreno de esto se encarga la topografía.

La topografía es la ciencia que estudia los métodos necesarios para llegar a representar un terreno con todos sus detalles naturales o creados por el hombre, así como el conocimiento y manejo de los instrumentos que se precisan para tal fin.

Al conjunto de operaciones necesarias para representar topográficamente un terreno se denomina Levantamiento y la señalización necesaria para llevar los datos existentes en un plano a terreno se denomina Replanteo.

El levantamiento realizado esta dentro del marco de la planimetría, que es la parte de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos destinados a representar la superficie del terreno como un plano horizontal sobre el cual se proyectan los detalles y accidentes prescindiendo de las alturas.

Con este levantamiento se puede determinar los ángulos de elevación esto de gran ayuda para poder determinar responsabilidades con criterios físicos según la última ubicación de los vehículos, respecto a la que deberían de tener al inicio.

Todo lo anterior puede requerir el asesoramiento de un buen topógrafo, agrimensor o bien de un ingeniero civil, que maneje la topografía o agrimensura.

2.3.1. La fricción

“La segunda ley de Newton implica que se puede definir un número que es el cociente entre la fuerza de dos superficies que se desplazan una respecto a la otra y la fuerza que aprieta a las dos entre sí. Este coeficiente de rozamiento o fricción, usualmente denominado por la letra griega μ , se mide y se tabula para pares de superficies (según la segunda ley de Newton). En rigor este coeficiente llamado dinámico, pues se mide con las dos superficies con movimiento relativo. Si se mide la máxima fuerza de roce que puede aplicarse al cuerpo de arriba sin que se empiece a mover.”⁸

Se la divide por la fuerza que aprieta a las superficies, se obtiene lo que se llama el coeficiente estático de roce μ_e . En todos los casos conocidos, este coeficiente estático es mayor al dinámico: es más difícil poner en movimiento a un mueble empujándolo, que mantenerlo en movimiento una vez que arranca.

Todo lo que sigue se refiere al coeficiente de fricción dinámico, que es el que se aplica cuando un neumático de ciertos tipos sobre tipos de calzada.

Es posible dar valores razonables para el coeficiente de fricción, entre neumáticos de ciertos tipos, sobre tipos de calzada.

Algunos ejemplos relevantes: son su rango de variación experimental, están contenidos en la siguiente tabla:

⁸ Sewray Raymond A y Jewett John W: *Ibid.*, Pág. 78

Tabla VII. Algunos valores de constantes de rozamiento de neumáticos de autos modernos sobre diversas superficies

neumáticos sobre	μ
asfalto seco	0,80-1,20
asfalto mojado	0,50-0,80
ripio firme	0,55-0,85
ripio suelto	0,40-0,70
hielo liso	0,10-0,25
nieve suelta	0,10-0,25
nieve compactada	0,30-0,55
barro	0,40-0,50

“Estos valores dependen de las dos superficies que rozan tanto del tipo o condición de la calzada.”⁹

El fabricante de neumáticos se debate entre dos requerimientos técnicos contradictorios: alta fricción, para frenar y acelerar bien, lo que necesita compuestos blandos y larga vida útil, lo cual demanda una goma dura.

Los vehículos sometidos a usos exigentes como camiones, camionetas y motos de enduro, suelen usar neumáticos de mayor dureza, cuyo coeficiente de fricción es correspondientemente menor que el neumático de un auto familiar, alrededor de 0.6 para camiones frente al 0.8 típico de autos.

⁹ Robinson Lucero Campos, Carlos Whard Daniel, Catalina Arancibia Galea **Estudio sobre coeficientes de fricción entre neumáticos y pavimentos en distintas circunstancias.** Pág. 11

2.3.2. La calidad de los neumáticos de los automóviles involucrados en el accidente vial

Otro tema que da origen a múltiples malentendidos es el desgaste de los neumáticos. Al estudiar un expediente judicial es común ver destacadas con resaltador las vidas útiles de cada neumático. El mismo dato se suele repetir en el resumen y en el fallo. La implicación pareciera ser que un juego de neumáticos con un 70% de desgaste implica un 70% de imprudencia por parte del conductor. La verdad es que no es así: un neumático con un 5% de vida útil es tan prudente como uno al que todavía le queda un 95%.

En circunstancias normales, con calzadas secas, el grado de desgaste de un neumático es irrelevante en el frenado, pues siempre roza con la calzada la misma superficie de goma, con la misma composición. En estas condiciones, inclusive un neumático liso, ya sin dibujos, frena exactamente igual que uno casi sin desgaste, siempre que no esté exponiendo las telas, pues en ese caso sería otro el material que roza con la calzada. Este comportamiento está resumido en la segunda ley de Newton: la fuerza de roce no depende del área de contacto. Las demostraciones usuales que hacen los vendedores de neumáticos, doblando el dibujo para que se admire su flexibilidad, carecen de sentido: las láminas salientes de goma no actúan como dedos que se aferran al asfalto. De hecho, los autos de carrera suelen usar neumáticos lisos, llamados slicks cuando las condiciones son favorables. Esto es cuando están seguros de que no va a llover. En efecto, los neumáticos tienen dibujos para mantener su contacto con la calzada cuando llueve, no porque mejoren la fricción del neumático. Cuando un neumático se apoya en

la calzada mojada, tiene que apartar el agua de la zona de contacto antes de tocar el asfalto.

Para apartar el agua de la zona de contacto, el neumático tiene que apretar con una fuerza igual a la masa de agua por la aceleración que se le quiere imprimir. La masa de agua a apartar es proporcional al espesor de la capa y al ancho de la cubierta, y como hay que moverla una distancia del orden del ancho de la cubierta en un tiempo inversamente proporcional a la velocidad del auto, la aceleración que hay que impartirle al agua es proporcional al cuadrado del ancho del neumático y al cuadrado de la velocidad del auto. El resultado es que la fuerza F necesaria para apartar el agua de la huella depende de la profundidad de la capa de agua, h , del cuadrado del ancho de la cubierta A , y del cuadrado de la velocidad del auto v ,

$$F \sim h \times A^2 \times v^2 \quad 6.$$

Pero la fuerza que aprieta el neumático contra la calzada está limitada, es solo una cuarta parte del peso del auto, con la ayuda aerodinámica que pueda provenir de los alerones. Cuando la fuerza se hace insuficiente, el auto empieza a desplazarse sobre el agua, pues no la puede apartar por motivos puramente inerciales, que no tienen nada que ver con la fricción. Esto constituye el fenómeno de hidroplaneo. Va sin decir que, al perder el contacto con la calzada, el auto ya no es ni frenable ni manejable.

Para evitarlo se pueden atacar los distintos factores en la expresión de arriba: se puede reducir la profundidad de la capa de agua abovedando adecuadamente la calzada, rellenando los surcos que produce el transite, o prohibiendo los neumáticos con dados;

se puede reducir la velocidad, la única medida inmediata que está al alcance del conductor, y la más efectiva; y finalmente se puede reducir el ancho del neumático. Esto último parece imposible, pues aumentaría la presión. Pero si se divide un neumático de ancho A en dos de ancho $A/2$, para mantener la presión, la fuerza inercial depende de $2 \times (A/2)^2 A^2/2$, es decir se ha dividido por dos.

Este efecto es el que buscan los dibujos en los neumáticos: imitan a una serie de neumáticos finos en paralelo, como si el neumático original se hubiera descompuesto en una serie de ruedas de bicicleta en paralelo, como una pila de platos. Como la derivación de los efectos inerciales está muy simplificada, no es de extrañarse que la forma de los dibujos también sea más complicada que una pila de ruedas de bicicleta, pero el principio es correcto. Así pues, los dibujos existen para presentar canales que dividan el ancho del neumático, de manera que no sea necesario apartar el agua todo el ancho de la cubierta, sino una distancia mucho menor, no hasta el borde exterior, sino solo hasta el próximo canal. El recurso funciona, pero a un canal se puede desviar agua solo hasta que se llena: si la capa de agua es demasiado honda, o los canales (dibujos) no son suficientemente profundos.

El grado de desgaste de un neumático expresa la profundidad de los dibujos en la zona central de su banda de rodadura. La ley prohíbe circular con neumáticos cuyos dibujos no alcancen una profundidad mínima, d_m , que depende del tipo de neumático. La vida útil de un neumático está determinada por el uso que gradualmente va desgastando su banda de rodadura, disminuyendo su espesor desde el valor inicial d_m hasta el mínimo permitido. El parámetro que da el gomero en su pericia, que no es

más que una simple constatación, es el porcentaje de neumático que ya se ha gastado (desgaste) o, alternativamente, que porcentaje queda por gastar ("vida útil"). Si la profundidad del dibujo que mide es d del desgaste D .

$$D = \frac{a_M - d}{a_M - a_m} \times 100 \quad 7.$$

Y la vida útil es $100 - D$.

Este análisis muestra también que los dibujos importan solo cuando la calzada esta mojada; sobre una calzada seca (sin lluvia, sin charcos), su presencia es irrelevante. Es verdad que el conducir con neumáticos lisos (que no muestren las telas) puede constituir una evidencia de una actitud negligente y de falta de prudencia, pero desde el punto de vista técnico y físico se ha de decir que los neumáticos gastados no habían contribuido.

2.3.3. El derrape de los neumáticos

Son diferentes los factores que pueden provocar que el vehículo derrape, por lo general un exceso de fuerzas provocadas por la aceleración, el frenado o el trazado de las curvas. La forma de salir de este tipo de situación comprometida dependerá de si conducimos un vehículo con tracción delantera o trasera.

El deslizamiento del vehículo está causado por la disminución de la adherencia de las ruedas al terreno. Esta falta o disminución de la adherencia puede haber sido provocada por distintos factores. Entre ellos cabe destacar el exceso de velocidad, que

el suelo esté mojado o sucio, excesiva presión de inflado en los neumáticos, que éstos estén desgastados, la toma de curvas de forma incorrecta y con velocidad excesiva, etc.

Para evitar el deslizamiento es imprescindible, tener las ruedas en perfecto estado, con la presión de inflado adecuada al terreno sobre el que se conduce.

Tener en óptimas condiciones toda la mecánica del vehículo, y es muy importante estar muy atento a todos los cambios que se puedan producir en el terreno (agua, hielo, nieve, arena, obstáculos), con lo cual no cogera desprevenido al conductor y se podrá anticipar la forma en que se debe de reaccionar.

Cuando las ruedas patinan al pasar por un charco, se produce un fenómeno llamado aquaplaning. Esto sucede cuando las ruedas no pueden evacuar el agua, por lo que se forma una película líquida que se interpone entre el neumático y el asfalto impidiendo que el neumático esté en contacto con el suelo, provocando la pérdida de control del vehículo.

Si esto sucede en un tramo recto, bastará con sujetar con fuerza el volante y levantar suavemente el pie del acelerador, a la espera de que los neumáticos vuelvan a tener adherencia.

2.4. La reconstrucción en reversa de un accidente vial

Si se considera el caso de un vehículo que circulando a una cierta velocidad, que se debe determinar, aplica los frenos y comienza a efectuar marcas de huellas sobre la

calzada como lo muestran las cinco figuras, de la figura 5. Como se observa en la ilustración, el vehículo en cuestión, en el proceso de desaceleración no tiene una traslación pura; circunstancia esta que queda en manifiesto según las formas de las huellas de neumáticos.

En tal circunstancia una primitiva consideración surge al realizar una modelización considerando únicamente la traslación del centro de masa del vehículo. Sin embargo, una mejor aproximación del fenómeno debería contemplar, además de la traslación, la rotación que dicho vehículo realiza durante la transformación de su energía cinética.

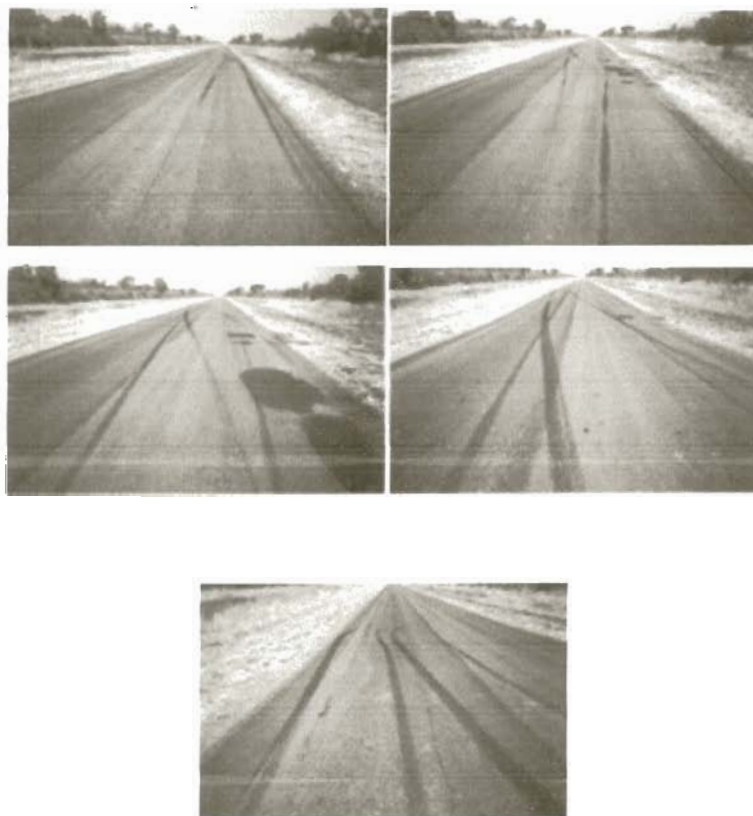


Figura 5. Reconstrucción en reversa de un accidente según huellas



Figura 6. Se observa las diversas posiciones que el vehículo debió realizar para describir las huellas de las figuras anteriores donde se aprecia la combinación de su trabajo en traslación y rotación, dentro del proceso de frenado.

El trabajo durante la traslación está vinculado con el rozamiento durante el desplazamiento longitudinal del centro de masa del vehículo, el cual se convierte en calor. En tanto que la energía de rotación tiene que ver con la energía necesaria para que el vehículo rote alrededor de un punto que puede ser o no coincidente con el centro de masa del vehículo:

$$E_c(\text{inicial}) = W_r - E_r \quad 8.$$

Dónde:

$E_c(\text{inicial})$: es la energía cinética del vehículo al inicio de la huella.

W_r : es trabajo de rozamiento consumido en la traslación del centro de masa.

E_r : es la energía de rotación del vehículo.

De la ecuación 5.a se despeja " v_0 ":

$$v_0 = \sqrt{2\mu gx + \frac{1}{M} \omega^2}$$

9.

Se puede observar que en la resolución de casos de roto traslación, las modelizaciones tradicionales del fenómeno (mecánica del punto) solo contemplan el primer término del radicando de la ecuación. Esto significa, que de tener solución posible dicha ecuación, el cómputo aproximaría a valores mayores de “ v_0 ” de los verificados por la ecuación $(2.\mu.g.x)^{1/2}$ correspondiente a la consideración única de traslación.

Para la ecuación 9, el problema reside ahora en conocer los valores de “ I ” momento de inercia del vehículo y “ ω ”, velocidad angular inicial.

Si se analizan primeramente las posibilidades de conocer el valor de la velocidad angular “ ω ”. Los fenómenos de traslación y rotación se originan prácticamente en forma simultánea, por lo que el tiempo que transcurre en ir el vehículo desde la posición inicial hasta el extremo de la huella es el mismo en que experimenta la rotación.

Para la traslación, sin importar el valor de la velocidad del vehículo en el inicio de la huella, el espacio “ x ” que el centro de masa del cuerpo recorre durante la roto traslación, se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$x = \frac{1}{2} a t^2$$

10.

Luego el valor de la deceleración “ a ”, en nuestro caso responde a la desaceleración producto de la fricción, por lo tanto se puede considerar:

$$\alpha = \mu g \tag{11.}$$

Reemplazando el valor de “a” en la ecuación 10 y despejando el tiempo “t”, se tiene:

$$t = \sqrt{\frac{2x}{\mu g}} \tag{12.}$$

En este mismo tiempo “t” que sucede la traslación, el vehículo experimenta una rotación “θ” que se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{1}{2} \alpha t^2 \tag{13.}$$

De donde el valor de la desaceleración angular “α” es:

$$\alpha = \frac{2\theta}{t^2} \tag{14.}$$

Reemplazando t y α, se obtiene:

$$\alpha = \frac{2\theta}{\left(\frac{2x}{\mu g}\right)^2} = \frac{2\theta}{\frac{4x}{\mu^2 g^2}} = \frac{\mu g \theta}{x} \tag{15.}$$

La ecuación 15 vincula el valor de la desaceleración angular del vehículo en su rotación, con el desplazamiento angular, la distancia de traslación y las características de adherencia del neumático-superficie.

Por ser la velocidad angular inicial distinta de cero, esta puede ser calculada con la siguiente expresión:

$$\omega^2 = 2\alpha\theta; \quad \omega = \sqrt{2\alpha\theta} \quad 16.$$

Reemplazando la Ec. 15 en la Ec. 16:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2\mu g \theta^2}{x}} \quad 17.$$

Con lo que queda determinado el valor de la velocidad angular inicial " ω_0 " en función de parámetros conocidos



CAPÍTULO III

3. Las consecuencias físicas de un accidente vial

Un accidente automovilístico es un hecho aleatorio fortuito, en donde en la mayoría de los casos nadie está pensando en que se materialice, por lo que el que los participantes se recuerden a cabalidad de lo sucedido antes del mismo es imposible. Como se dijo en el capítulo uno los accidentes automovilísticos tienen consecuencias jurídicas para las dos partes participantes, pero estas serán probadas solamente si se consideran y analizan de manera formal las consecuencias físicas de accidentes, donde afortunadamente estas consecuencias si son posteriores. En el presente capítulo se analizan dichas consecuencias para poder concluir sobre las consecuencias jurídicas del mismo.

3.1. La masa del vehículo.

En lo que sigue se supone que el automóvil tiene una masa total M , que a los efectos de la modelización propuesta, se considera constituida por una masa m , propia del vehículo, y una carga transportada q , tal que se puede establecer las siguientes relaciones:

$$M = m + q \quad \text{y} \quad v = \frac{M}{m} \quad 18.$$

De acuerdo a este planteamiento, la porción deformada es una fracción variable de la masa propia m del automóvil, progresiva en el tiempo. Considerando una unidad

estructural al sector que resulta afectado por la deformación (por ejemplo el volumen encerrado por el capó o por el baúl, en el caso del choque trasero, se puede definir la relación $m_d = m D(t)$, donde $D(t)$ es una función del tiempo.

$$m = m[1 - D(t)] \quad 19.$$

Antes del choque, la unidad estructural que resultará deformada parcial o totalmente, tiene una longitud inicial L_0 , y su masa es una fracción f de la masa total m . El acortamiento de la masa deformada es igual al desplazamiento $x(t)$ de la porción no deformada, de manera tal que se puede escribir la función $D(t) = (f/L_0) x(t)$, de donde se obtiene la ecuación de la masa no deformada:

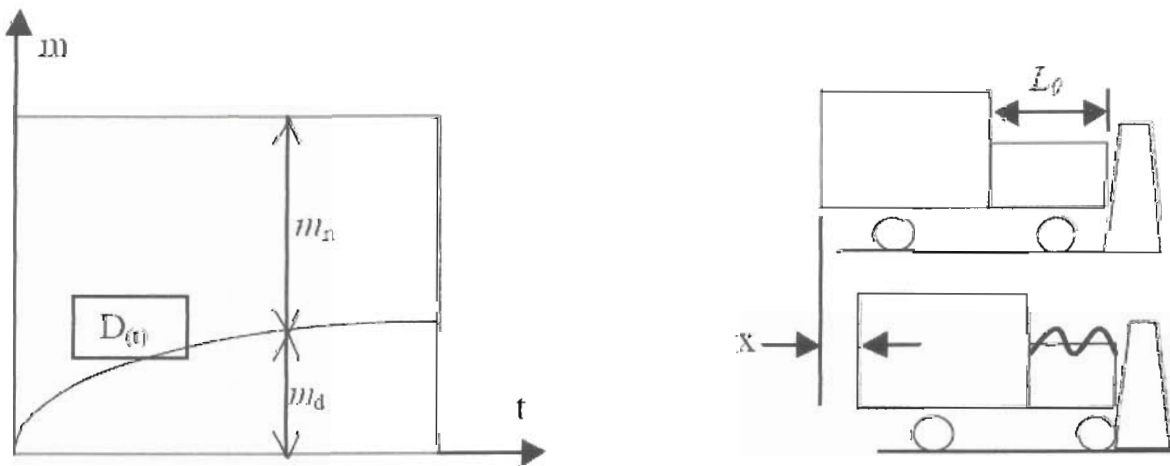


Figura 7. Deformación de un vehículo al experimentar una colisión

$$m_d = m[1 - D(t)] = \left[1 - \left(\frac{f}{L_0}\right)x(t)\right] \quad 20.$$

Y la masa total expresada como una función del tiempo resultará:

$$M(t) = m \left[1 - \left(\frac{f}{L_0} \right) x(t) + q \right]$$

Donde operando resultará finalmente:

$$M(t) = m \left[r - \left(\frac{f}{L_0} \right) x(t) \right] \quad 22.$$

Se asume como nula, la velocidad de la masa deformada durante la colisión. Esta es una hipótesis muy aproximada a la realidad, pues en la primer fase del choque, y mientras tiene lugar el crecimiento de la cantidad de la masa deformada, el desplazamiento del centro de masa de la misma en la dirección contraria al movimiento es despreciable. Análogamente se asume que la posición del centro de masa de la masa no deformada del vehículo, no varía durante la colisión.

A los efectos del modelo, la carga transportada q se mantiene solidaria con la porción intacta del vehículo durante la colisión.

3.2. La velocidad del vehículo

Cuando dos cuerpos en movimiento colisionan entre sí, las consecuencias del impacto están en directa relación con la energía cinética que afecta a cada uno de ellos.

En física se conceptúa la energía cinética (E_c) como la propiedad que poseen los cuerpos en movimiento de producir trabajo (T) y se expresa según la fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 \quad 23.$$

Autores de prestigio internacional como lo son Beaux , Charles O 'hará y James Oesterburg (An Introduction to Criminalistics), "coinciden en expresar que en la colisión de vehículos, la energía cinética debe ser totalmente transformada para que los cuerpos alcancen el estado de reposo (detenidos) "¹⁰.

En estos casos, los factores que intervienen en la transformación de la energía cinética son cinco, siendo: La acción de frenado previo a la colisión, con o sin presencia de huellas de frenado, arrastre o derrape; trabajo mecánico necesario para producir las deformaciones plásticas de las carrocerías de los móviles participantes en el evento; transformación y posterior disipación energética en forma de calor y sonido producidos en el momento del impacto y el desplazamiento post-impacto de los vehículos hasta su detención final, considerándose particularmente las direcciones, sentidos y formas de desplazamiento.

De todo lo expuesto se desprende que la mayoría de los datos necesarios para arribar a conclusiones fehacientes surgirán de una minuciosa y oportuna inspección ocular del lugar del hecho.

No obstante se darán algunos ejemplos de los cálculos utilizados comúnmente para estos casos, todo ello partiendo de la base, como ya se expresara que, todo vehículo en movimiento se encuentra afectado de Energía Cinética (E_c), directamente proporcional a su masa y a la velocidad de circulación, según la fórmula: $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$.

Para alcanzar el estado de reposo (detenido) el vehículo debe transformar totalmente

¹⁰ Ingrid Marisol Flores Estrada. **Determinación de la responsabilidad en un accidente automovilístico, por medio de principios físicos.** Pág. 88

esa E_c ($E_c = 0$), siendo las formas de transformación las siguientes:

Frenado previo a la colisión: lo que se calcula teniendo en cuenta la distancia existente desde el punto donde el conductor del vehículo comenzó la acción de frenado, hasta el punto de impacto o aquel en que la acción de frenado haya cesado, lo que se caracteriza generalmente por la existencia de las llamadas "huellas de frenado", ocasionadas por los neumáticos sobre el pavimento. Para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$v = \sqrt{2\mu g d} \quad 24.$$

Donde:

V = Velocidad reducida (desaceleración) durante el proceso de frenado.

g = Aceleración de la gravedad = 9,81 m/seg².

μ = Coeficiente de adherencia entre el neumático y la calzada, el que varía con el estado de las cubiertas y el tipo de suelo, naturaleza y estado de la calzada. Por ej., para hormigón seco y limpio y neumáticos en buen estado $\mu = 0,8$.

d = Longitud de la huella de frenado en metros.

Traslaciones post-impacto del vehículo: Se refiere a los desplazamientos realizados por el vehículo luego de producirse el desprendimiento (alejamiento) de ambas carrocerías, después del choque. La fórmula que se aplica es la misma que en el caso anterior,

adoptándose el valor del coeficiente de adherencia (μ) correspondiente a las características del lugar, de los neumáticos y al tipo de desplazamiento producido (con acción de frenado, con bloqueo de ruedas, con arrastre lateral o derrape, con deslizamiento de partes metálicas, por vehículo libre, etc.).

Deformaciones plásticas de la carrocería del vehículo: "El punto de mayor discusión entre los técnicos es la evaluación de los daños y el cálculo de la energía cinética transformada en trabajo de deformación. Hoy existen trabajos desarrollados que permiten calcular la energía cinética transformada en trabajo de deformación"¹¹.

Distancia de proyección del cuerpo de la víctima en atropellamientos peatonales: En algunos casos de atropellamiento peatonal o colisión contra ciclistas puede determinarse la velocidad de impacto del vehículo por la distancia de proyección del cuerpo de la víctima, utilizando para ello las fórmulas de "Trabajo", correspondiente a las ciencias físicas.

3.3 La energía del vehículo

Se asume que las fuerzas generadas entre los vehículos que tomar contacto en la colisión (o entre un vehículo y una barrera rígida), iguales y de sentido contrario, se aplican normales a un solo plano: el plano de contacto que denominamos frente de choque. En cada uno de los vehículos en colisión se puede agregar un sistema nulo, siendo esto idealizado, pues los vehículos si se deforman, aplicado en el centro de masa. Se asume, que durante la colisión, la posición del centro de masa de cada uno

¹¹ Juan Carlos Garavito, *Conversión de energía cinética en energía de deformación en un accidente automovilístico*. Pág. 62.

de los vehículos no varía. De esta manera se puede concebir al vehículo que colisiona como un sólido compuesto por una zona deformable durante el choque, sometida a un esfuerzo de compresión f , y una segunda zona del mismo, la porción no deformada, bajo la acción de una fuerza F que induce la desaceleración de dicha masa no deformada.

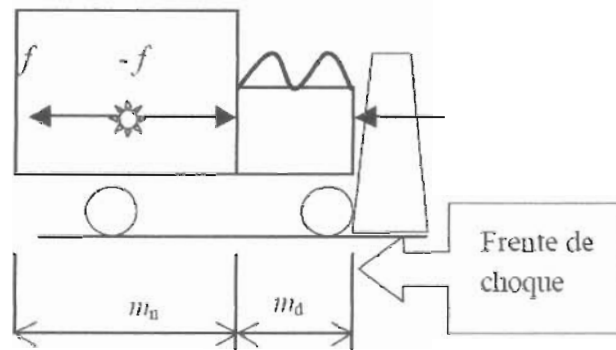


Figura 8. Energía disipada de un vehículo durante una colisión

$$F(t) = M(t) \left[A(t) - m \left(\frac{f}{V_0} \right) V(t) \right]^2 \quad 25.$$

La energía cinética en el instante inicial de la colisión, en que el vehículo tiene la velocidad de impacto V_i , es $E_i = (m + q)/2 V_i^2$. Dicha energía disminuye a lo largo de la colisión, como consecuencia de la pérdida de velocidad V_j . Durante el transcurso de dicha colisión, el esfuerzo de compresión desarrolla un trabajo mecánico de deformación, debido a la compresión $x(t)$ experimentada en la zona deformada.

También debe de tenerse en mente que la pérdida de energía por la fricción, aunque las ecuaciones anteriores no la consideren.

3.4. Medición y graficación en la escena de un accidente vial

La escena del accidente debe ser estudiada metódica y detenidamente, para ello es fundamental realizar su inspección y toma de datos con la mayor precisión y diligencia posible, dado que el paso del tiempo juega en contra de la permanencia de determinados elementos y signos. Es necesario registrar de forma prioritaria aquellos restos y evidencias, como por ejemplo huellas, marcas, posiciones de los vehículos, etc., que presentan un mayor peligro de desaparecer o aquellos que puedan ser contaminados. Posteriormente se podrá tomar nota de aquellos otros aspectos que puedan perdurar horas o incluso días. Aún cuando pueda parecer obvio, en la toma de datos del lugar del accidente es conveniente no confiar en nuestra memoria y realizar un conveniente registro de los distintos aspectos de la vía y de su entorno mediante anotaciones en formularios y modelos de recogida de datos, levantamientos de croquis, fotografías, incluso haciendo uso de soporte videográfico.

Aquellos primeros indicios que es necesario registrar por presentar un mayor peligro de desaparición serían: Las condiciones de visibilidad, de iluminación y meteorológicas, así como el estado de la superficie de la calzada por la incidencia de factores atmosféricos o por la existencia coyuntural de materias deslizantes. Un registro adecuado de todos estos elementos permitirá estudiar la posible influencia de cada una de estos factores en el accidente, bien por la existencia de elementos que restrinjan la visibilidad, (humo, polvo en suspensión, etc.); accidentes diurnos en los que se haya podido producir deslumbramientos debidos a la posición del sol o por reflejos, accidentes en horarios de menor iluminación diurna y accidentes nocturnos en vías iluminadas o carentes de

cualquier tipo de iluminación. La inspección del lugar en relación con algunos de estos elementos habrá que realizarla en un corto espacio de tiempo, dado que sus condiciones podrían variar en pocos minutos, o bien, si ello no fuera posible, habría que volver al lugar del accidente en los próximos días y a una hora similar a la que se produjo el accidente, por ejemplo en los accidentes en los que se haya podido producir deslumbramientos por el sol.

Condiciones del tráfico, es decir, intensidad, densidad, tipos de vehículos que hacen uso de dicha vía etc.

“La existencia de marcas de neumáticos o de otras partes del vehículo, por rodadura libre o por deslizamientos, que puede permitir determinar las posibles trayectorias de los vehículos, antes, durante y después del accidente e incluso podría permitir realizar cálculos de velocidad en función de las características de dichas marcas.”¹²

La localización y características de restos de los vehículos, tanto por rotura de elementos, desprendimientos de piezas, restos de materiales desprendidos de los bajos de los vehículos o desprendimientos de líquidos, que podría permitir localizar el lugar donde los vehículos contactaron.

Dentro de esta misma categoría, la señalización y otros elementos que se encuentren en la vía de forma provisional.

Aquellos otros elementos fijos o perdurables, entre los que se incluyen:

¹² Juan Carlos Garavito. *Ibid.* Pág. 56

- La localización geográfica del lugar del accidente, vía urbana o interurbana, nomenclatura o nombre de la vía y referencia al punto kilométrico o al número de la edificación más próxima, en caso de vías urbanas.
- Datos sobre la titularidad de la vía.
- Estructura geométrica de la vía, tanto en planta como en alzado, longitudinal y transversalmente, con mediciones precisas de anchura de calzada, carriles, medianas, aceras, rasantes, desniveles, cambios de rasante, bombeo de la calzada, distancias de visibilidad, etc. Configuración de la vía, existencia de tramos rectos, tramos curvos y curvas de acuerdo, tipos de intersecciones a nivel. Régimen de circulación. Todos estos datos tienen una importancia capital dado que es el escenario físico en el que se produce el accidente.
- Descripción de los márgenes de la vía, uso del suelo colindante como la existencia de edificaciones, explanaciones, obras, elementos de contención, taludes, cunetas, etc.
- Tipo y estado del pavimento y las posibles modificaciones que se hayan producido en sus características y la existencia de marcas perdurables producidas en el accidente.
- Existencia de elementos de drenaje y de desagüe, etc. Accidentes en la calzada, bien en su estructura o en su trazado, existencia de baches, badenes, lomos, estrechamientos, reducciones de altura. Posible existencia de obstáculos en la

calzada por depósitos de materiales o por obras, etc. Así como las características técnicas de la superficie, es decir, coeficientes de fricción y adherencia.

- Finalmente descripción de la señalización y localización exacta, así como cualquier otro aspecto que forme parte de la dotación viaria.

3.5. Medición experimental de frenadas

El dato más importante cuando se intenta reconstruir un accidente vial son las marcas de neumáticos. Vale la pena discutir un poco sobre la física de las frenadas, porque sobre este tema aparecen algunos razonamientos y expectativas incorrectos, de gran incidencia por lo comunes que son esta clase de casos. Estas marcas son producidas por frenadas o derrapes. La mayoría y seguramente las más visibles, son marcas negras, que generalmente se atribuyen a goma quemada, aunque sobre asfalto lo que realmente se ha derretido es el bitumen que liga el pavimento, si el croquis policial de un accidente muestra marcas de neumáticos, es probable que se pueda reconstruir satisfactoriamente, estas marcas ofrecen la pista más sustancial al momento de determinar que ocurrió, la razón principal es que mientras se dispone de información final del accidente, las marcas dan información parcial de los estados intermedios por los cuales paso el proceso. Alcanza con la marca de un neumático, bien interpretada, para determinar donde estuvo un auto en una dada fase del choque, y donde no estuvo, lo que a veces es más importante. Lo afortunado de lo dicho anteriormente es que siempre, en cualquier accidente, las marcas de los neumáticos se manifiestan sin excepción alguna, siendo solo algunos casos excepcionales en donde no se presentan

La huella brinda mucha más información que una simple sucesión de posiciones, en efecto el auto dibuja su huella la grava con procesos que demanda mucha energía, el conocimiento de estos procesos permiten asignar tiempos a cada punto de esa huella.

El proceso más común que deja huellas de neumáticos sobre una calzada es el del frenado, otro proceso muy diferente que deja marca que las personas suelen confundir con las frenadas es el derrape causado por neumáticos que arrastran lateralmente por la calzada en la dirección del eje de las ruedas, para diferenciar las dos marcas hay que tener en cuenta que estas nunca son marcas negras homogéneas, sino que presenta detalles, estriaciones, en estas frenadas, estas estriaciones son longitudinales paralelas al eje de la marca, mientras que en los derrapes son oblicuas forman un ángulo con él.

Las marcas oscuras son producidas en general por neumáticos bloqueados, un auto puede frenar según el arbitro de conductor hasta un cierto límite, este límite se alcanza cuando los frenos detienen o bloquea la rotación de la rueda. A partir de ese punto la rueda es un trozo de goma que se desliza sin rotas sobre la calzada y no puede frenar más de lo que está haciendo.

3.6. La interpretación estadística de la evidencia

El aspecto más importante de la reconstrucción es quizás, la posibilidad que este medio brinda para contemplar la dinámica de hecho, es decir apreciar con claridad los movimientos de cada uno de los objetos, entorno, geografía del lugar, densidad del tránsito por el lugar y personas que en el hecho han intervenido.

Pero siendo la dinámica un aspecto netamente técnico y físico para valorar, este solo es posible ser relevado desde un previo cálculo dinámico y cinemático del o de los cuerpos que estuvieron en movimiento durante la perpetuación del hecho. Por lo que resulta que cualquier animación de una Reconstrucción, indefectiblemente debe brindar la posibilidad de interpretar el estudio dinámico de los cuerpos en movimiento.

Este último aspecto indicado, constituye filtro de los softwares que van a ser empleados para la reconstrucción y animación, debido justamente a que no todos los productos permiten siquiera realizar un estudio dinámico-físico de los cuerpos que se van representar.

Cabe añadir también que los parámetros de cómo se mueven los cuerpos, ya sean estos movimientos variado o no, resulta de máxima importancia en el momento de la animación de los elementos dibujados en escena, pues si lo que se quiere es reproducir virtualmente el hecho, necesariamente este debe confeccionárselo con la realidad del movimiento con que fue desarrollado. Cualquier otra reproducción acorde a un movimiento de tipo diferente al de la realidad inferida conduce a un error en la apreciación de los hechos.

La siguiente curva, representada en el gráfico de fotografías como función del tiempo brinda la posibilidad de poder estudiar el tipo de movimiento de cada uno de los cuerpos que son animados en la escena. Los puntos negros representan los "keyframes", fotogramas claves que permiten realizar cualquier modificación de los elementos que componen la totalidad de la animación.

3.7. La interpretación de datos

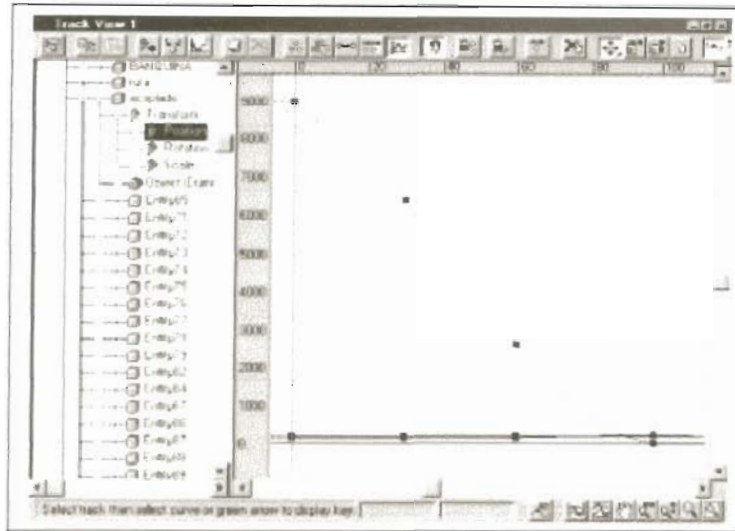


Figura 9. Ventana general de un software donde se observa la curva del espacio en función del tiempo (fotogramas), para uno de los elementos animados

La curva posición-tiempo, que se observa en la figura, es de suma importancia a la hora de evaluar la veracidad y coherencia. Al tratarse de un móvil, la curva explica el comportamiento del cuerpo a lo largo de un tiempo y se puede observar que este representa el movimiento rectilíneo del objeto dibujado en tres modalidades, dos movimientos rectilíneos con velocidades distintas y la última parte, un movimiento variado, esta idea se toma del análisis gráfico que se hace del movimiento rectilíneo de una partícula en un gráfico posición tiempo, el cual la información que brinda es muy amplia. Dentro del contexto del accidente, representar objetos que solamente se mueven con movimiento rectilíneo uniforme, sería un error y con ello la reconstrucción conllevaría a falsas interpretaciones, a la hora de elección de un aplicación informática habrá que tener presente entonces esta cualidad indispensable para la construcción de una representación con coherencia.

CAPÍTULO IV

4. Las herramientas de la accidentología vial

Recabada la evidencia o consecuencias físicas de un accidente automovilístico, viene la parte más importante del presente trabajo, es decir. ¿Para qué la evidencia recabada?, ¿Cómo se ajusta esta evidencia al procedo legal, iniciado por el accidente?, ¿Quién interpreta esta información, todas estas preguntas se responderán en el presente capítulo indicando la herramienta que posee la física forense para procesarla, analizarla e interpretarla

4.1. Consideración en 3D en un accidente vial

Los modelos lineales aplicados para la valoración de la energía absorbida en la deformación de un vehículo que colisiona contra barrera rígida, presentan consideraciones comunes y un mismo origen estableciendo como parte del conjunto de hipótesis que fundamentan a estos, que la deformación medida tenga una altura constante. La energía disipada en la deformación es estimada desde la valoración del área del daño o área deformada del vehículo, lo que implica considerar al frente del vehículo como un sólido con forma de un paralelepipedo y el vector deformación, con sus componentes de ancho y largo (profundidad).

En los casos de deformaciones irregulares, la estimación de la energía disipada depende de la valoración de ésta área irregular bajo la consideración siempre de que la altura del daño es la misma en cada sector del daño. Sin embargo el diseño de los

vehículos tipo automóvil, bajo la exigencia de un mejor rendimiento aerodinámico, ha modificado las dimensiones de sus frentes haciéndolas menos elevadas en el sector del para golpe. En tales casos, cualquier deformación regular del frente del vehículo, definirá una altura mayor del daño cuanto mayor sea la penetración o profundidad del mismo.

Surge el interés de estimar la energía disipada a partir de un volumen regular de deformación, y comparar esta nueva estimación en 3D con la inferida por los modelos tradicionales en 2D, manteniendo las demás consideraciones e hipótesis de los modelos lineales. El frente del vehículo es considerado ahora como un prisma y una tercera variable (altura) es introducida en la estimación de la energía disipada. A diferencia de otras metodologías, son seleccionados cinco ensayos de colisión contra barrera rígida de cinco vehículos distintos que colisionan a distintas velocidades. Se construyen los diferentes coeficientes de rigidez para dos modelos tradicionales en 2D y los nuevos coeficientes en 3D.

Se estiman los E.B.S. (velocidad equivalente a barrera) para las cinco medidas de deformación en cada modelo y se los compara con los valores de velocidad de impacto en cada ensayo. Al hacer varios ensayos prácticos con colisiones que afectan el total del frente del vehículo, distancia de solapamiento se hace igual a cero, ángulo de impacto se hace igual a cero y contra barrera rígida plana. Sin embargo a diferencia de procedimientos realizados, los cinco ensayos someten a cinco vehículos distintos sin repeticiones de colisión. Con relación al ensayo repetitivo, el cual se realiza sobre un vehículo que es impactado seis veces, solo el primer impacto es considerado en este

análisis. Se señala el sistema de referencias adoptado cuyo centro del triedro coincide con el piso del extremo delantero derecho del vehículo. El frente del vehículo considerado como un prisma, presenta el capó del mismo como plano superior limitante del prisma paralelo al eje x. Este plano del capó del queda definido por la siguiente función:

$$z(y) = 52\text{cms} + \frac{1}{50}y \tag{25}$$

La ecuación 25, es estimada por ajuste de curva a partir de distintos valores de profundidad “y” en [cm] y altura “z” en [cm], medidas del vehículo.

Respecto a la profundidad promedio de la deformación de cada vehículo, se estima la altura del daño mediante la ecuación anteriormente planteada.



Figura 10. Asociación de un sistema de coordenadas rectangular a un auto, para fines de medición de la deformación

La siguiente tabla y las que posteriormente se presentan, muestra los distintos valores característicos de cada ensayo, definiéndose en las dos últimas columnas el valor promedio de la profundidad del daño y su altura correspondiente y en la figura 11 se muestra el comportamiento de esta deformación en términos de la velocidad.

Tabla VIII. Valores de ensayo según la profundidad y altura del daño

Vel. Impacto	Eng. Inicial	Masa	x	y	z
453 cm/s	128539838 (kg.cm ²)/s ²	1254 kg	170 cm	6 cm	54 cm
1306 cm/s	786615355 (kg.cm ²)/s ²	923 kg	161 cm	38 cm	60 cm
1319 cm/s	1114197531(kg.cm ²)/s ²	1280 kg	163 cm	45 cm	61 cm
1350 cm/s	1002375000 (kg.cm ²)/s ²	1100kg	167 cm	46 cm	61 cm
1569 cm/s	1447104070 (kg.cm ²)/s ²	1175 kg	167 cm	58 cm	64 cm

Se construye la función principal de velocidad de impacto y la deformación promedio residual mediante ajuste de los datos volcados en la tabla anterior.

$$V(y) = b_0 + 0.9b_1y \quad 26.$$

De donde:

$$b_0 = 359 \text{ cm/s}$$

$$b_1 = 22 \text{ s}$$

La ecuación es definida con un grado de correlación de 0.9.

Se construye seguidamente la ecuación que relaciona la energía inicial y la deformación media residual, mediante la siguiente relación:

$$f(y) = \sqrt{\frac{2E_0}{x}} \quad 27.$$

Donde:

E_0 : es la energía inicial de cada ensayo en [kg.cm²/s²].

x: el ancho de cada vehículo coincidente con el ancho de la deformación según la Tabla de velocidad de impacto, en [cm].

y: la profundidad media del daños según tabla, en cm.

La función así hallada se muestra en la siguiente Figura, con un grado de correlación lineal de 0.9.

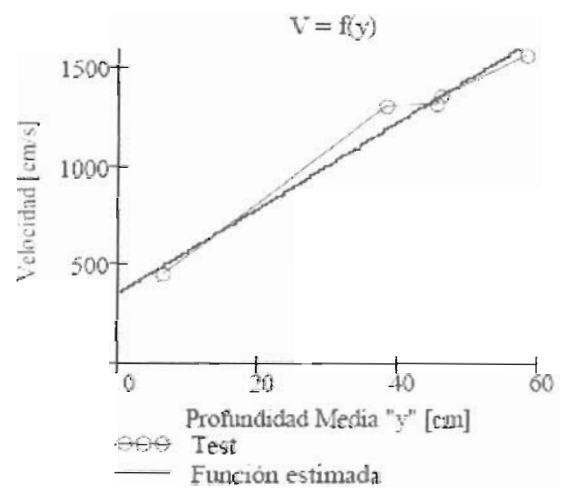


Figura11. Gráfica de energía inicial y deformación.

La energía absorbida en la deformación, es estimada para dos modelos, según los coeficientes de las ecuaciones de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$E_0 = \frac{M}{x} \int_0^x \int_0^y (b_0 b_1 + y b_1^2) dx dy = \frac{1}{2} M b_0^2 \tag{28}$$

MODELO 1: Estima la energía absorbida considerando el área de deformación.

$$E_0 = \frac{x}{2} (d_0 + Y d_1)^2 \tag{29}$$

MODELO 2: Estima la energía absorbida considerando el área de deformación

En donde:

E_d : energía estimada en la deformación en $[\text{kg}\cdot\text{cm}^2/\text{s}^2]$.

M: masa promedio del vehículo, en kg.

x: ancho promedio total de la deformación coincidente con el ancho del vehículo en cm.

Y: profundidad media de la deformación, en cm.

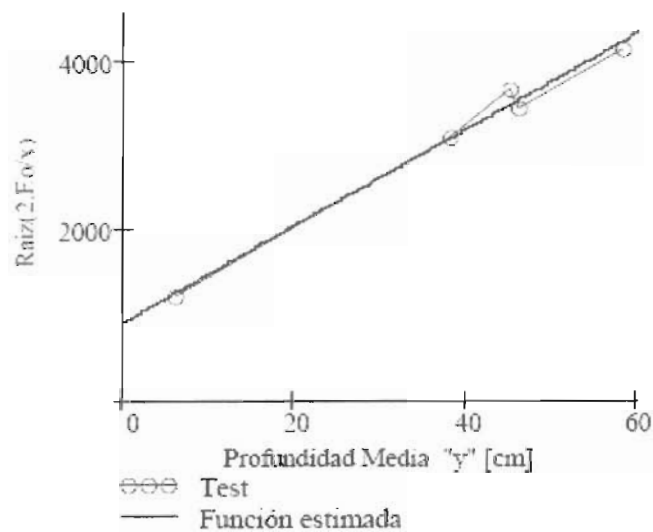


Figura 12. Grafica de la función de energía con un grado de correlación 0.9

De dónde:

$$d_0 = 293 [\text{kg}^{0.5}\cdot\text{cm}^{0.5}/\text{s}]$$

$$d_1 = 181 [\text{kg}^{0.5}\cdot\text{cm}^{0.5}/(\text{s}\cdot\text{cm})]$$

Un nuevo diagrama de dispersión se construye considerando ahora la siguiente relación:

$$f(y) = \sqrt{\frac{2E_0}{xz}} \quad 30.$$

En donde "z" es la altura del daño estimada en [cm]. La función así hallada se muestra en la siguiente figura con un grado de correlación lineal de 0.9.

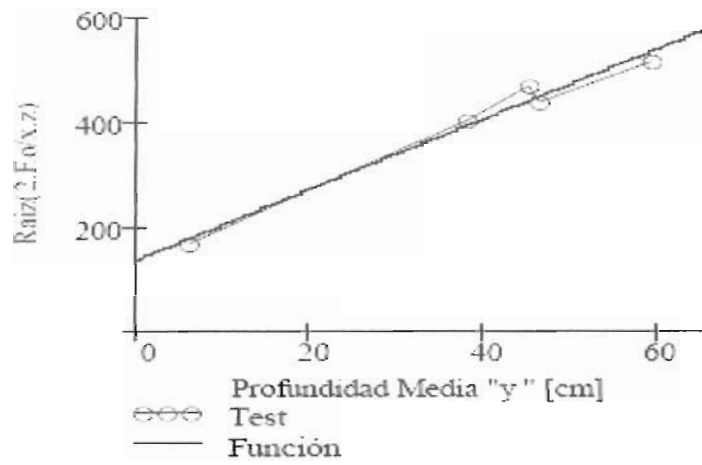


Figura 13. Gráfica de la energía absorbida considerando el área deformada

Finalmente, teniendo presente la ecuación $V(y)=b_1y+0.9b_0$ y los coeficientes estimamos nuevamente la energía absorbida en la deformación mediante la siguiente expresión:

$$E_{\alpha} = \frac{xz}{2} (e_0 + e_1Y)^2 \quad 31.$$

MODELO 3: Estima la energía absorbida considerando un volumen regular de deformación.

$$E_d = \frac{M}{xz_0} \int_0^X \int_0^Y \int_0^{z(x,y)} (b_0 b_1 + y b_1^2) dz dy dx + \frac{1}{2} M b_0 \quad 32.$$

MODELO 4: Estima la energía absorbidas considerando un volumen regular de deformación, teniendo presente el promedio de las masas de los vehículos

Teniendo presente el promedio de las masas de los vehiculos de los ensayos seleccionados, se calcula los E.B.S. (velocidad equivalente a cada barrera) para cada uno de los cuatro modelos. Las estimaciones de cada uno de los modelos con sus correspondientes desviaciones porcentuales respecto al valor de la velocidad de impacto de los ensayos, son:

Tabla IX. Comparación de los modelos planteados

Modelo 1 [cm/s] [%]	Modelo 2 [cm/s] [%]	Modelo 3 [cm/s] [%]	Modelo 4 [cm/s] [%]
171 60	490 8	491 8	493 9
852 35	1165 11	1152 11	1232 6
1009 23	1325 0	1317 0	1403 6
1037 23	1357 0	1350 0	1419 5
1306 17	1626 4	1638 4	1723 10

La siguiente figura, muestra la proximidad de los distintos resultados de velocidad equivalente a barrera inferida mediante los cuatro modelos, respecto a los valores de velocidad de impacto de los ensayos seleccionados, estos ensayos se llevan a cabo, con el mismo móvil bajo distintas condiciones o con móviles similares y con condiciones de impacto similares.

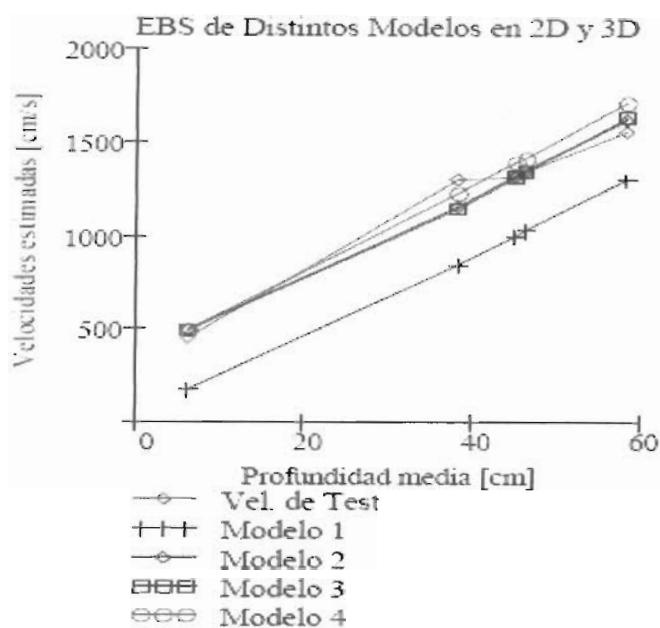


Figura 14. Grafica de comparación de modelos según los resultados de velocidad.

Las velocidades E.B.S. de los cuatro modelos fueron inferidas utilizando la masa promedio de los cinco vehículos de ensayo. Las desviaciones porcentuales de los cuatro modelos disminuyen al realizar los cálculos con las masas correspondientes a cada vehículo de cada ensayo.

4.2. La técnica de montecarlo

La mayoría de las reconstrucciones de accidentes viales resultan en números (velocidades, distancias, ángulos) que están afectados de incerteza. Mientras que el cálculo de los valores numéricos en si es un problema técnico bien entendido por el profesional que lleva a cabo la reconstrucción, la estimación de la incerteza, es decir la fijación de las cotas de error de los valores finales, suele constituir un desafío aun para especialistas. En los informes periciales es común que estas cotas o no existan, o se

basen más en observaciones empíricas del autor del cálculo que en bases cuantitativas firmes. Así en la práctica se fijan de manera implícita cotas demasiado pequeñas, y aparecen resultados que presentan tres o cuatro cifras significativas (cuando no son las doce que es capaz de mostrar la computadora); o demasiado grandes, lo que desmerece la calidad del trabajo y le resta confiabilidad a los ojos de los usuarios finales.

Un resultado final en una reconstrucción accidentológica se deriva, a través de argumentos científicos, de sucesos más simples que son medibles. Aun cuando la cadena de razonamientos científicos sea sana, el resultado final está afectado de un error que refleja las incertezas en las mediciones elementales. El método usual para estimar como los errores en mediciones parciales se traducen en el error de la magnitud final, se llama de propagación de errores. La esencia de este método es hacer un desarrollo de Taylor de la expresión matemática del resultado final en función de las magnitudes elementales, y quedarse con los términos de orden más bajo, considerando que los errores son pequeños. Las limitaciones prácticas de este método son múltiples: no siempre se tiene una expresión matemática cerrada de la magnitud final en función de las otras; aun si se la tiene no necesariamente es simple o posible un desarrollo de Taylor; finalmente los errores reales no tienen por que ser pequeños, "En los últimos años se han desarrollado, especialmente en la Física de partículas elementales, métodos que permiten estudiar experimentalmente los intervalos de confiabilidad de un resultado. Estos métodos se llaman de Montecarlo"¹³. Debido a la cantidad de cómputo que demandan su aplicación esta se limita a centros de

¹³ David P Landau & Kurt Binder, **A guide to Montecarlo Simulation in statistical physics**, Pág. 25-27

investigación; afortunadamente el uso generalizado de computadoras personales permite que hoy en día se puedan aplicar sin dificultades a los problemas accidentológicos. En esta parte se explica la forma de hacerlo: como aplicar la técnica de Montecarlo a la Accidentología con los programas en uso, así como los alcances y limitaciones de este procedimiento.

La Figura 14 ilustra las posiciones finales de dos autos luego de una colisión lateral en una intersección urbana, por ejemplo la Calzada San Juan y la 14 calle o del tecolote, de la zona 7. Un Peugeot 206 con una pareja joven abordo, que circulaba sobre la calle, embistió en el cruce un Nissan Sentra, manejado por una mujer joven, que no llevaba acompañantes. La "zona de impacto" que marca el croquis policial está dada por la mancha extendida de polvo fino y vidrios rotos; no se registraron marcas más definidas del impacto. La avenida es de asfalto en buenas condiciones, seco, limpio y frío. El Peugeot ha dejado marcas de frenada de 27,9 m de largo en total, mientras que el Nissan Sentra no ha dejado marcas discernibles. Por lo que se sabe, ambos autos estaban en buenas condiciones mecánicas antes del accidente. No cabe duda de que el derecho de paso en la intersección le correspondía al Nissan. La pregunta del juez fue ¿A qué velocidad circulaba el Peugeot antes del choque? La cadena de razonamientos que contesta esta pregunta es clara: el cálculo de la energía cinética que han disipado ambos autos por fricción luego del impacto permite hallar sus velocidades inmediatamente después de éste, mientras que la ley de conservación del Momentúm lineal en el choque asegura que todo el Momentúm lineal en el sentido de la avenida o Calzada San Juan (horizontal en el gráfico de la Figura 5), aportó el

Peugeot, excepto tal vez por una pequeña contribución debida a algún “volantazo” de último momento del Nissan Sentra, que no se consideran.

Finalmente, al adicionar apropiadamente la contribución del tramo de frenada pre impacto del Peugeot se obtiene su velocidad al comenzar a dejar marcas de frenada. Un croquis de las posiciones finales de ambos autos luego del choque. Las posiciones antes del choque son ilustrativas, representan solo las orientaciones de cada auto y no sus posiciones exactas.

En principio, solo hay que reemplazar los valores numéricos adecuados en la fórmula matemática que traduce lo dicho en palabras en el párrafo anterior para encontrar la velocidad del Peugeot v_p . Esta velocidad está dada por la Ec.33:

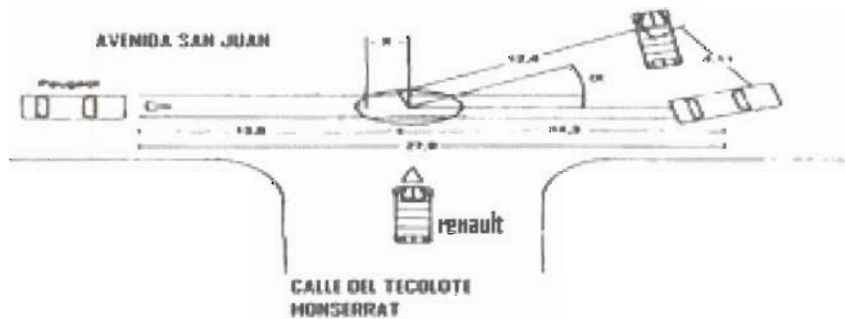


Figura 15. Croquis de un accidente de tránsito.

$$v_p = 3.6 \sqrt{2g \left[\mu_1 (13.6 + x) + \left[\sqrt{\mu_2 (14.3 - x) + \frac{m_p}{m_s} \frac{\mu_2 (11.31 - x)}{\sqrt{(11.31 - x)^2 + 4.93^2}}} \right]^2 \right]} \quad 33.$$

Aquí g es la aceleración de la gravedad, m_p y m_s son las masas de ambos autos, μ_1 el coeficiente de fricción del Peugeot, μ_2 coeficiente de fricción del Nissan Sentra, y x , la

posición real del impacto en el sentido horizontal en el gráfico. Reemplazando valores en la Expresión se obtiene el valor de la velocidad del Peugeot, en kilómetros por hora, cuando comenzó a dejar sus marcas de frenada, sin embargo, el resultado no es único, ya que intervienen diversas fuentes de error. La más aparente es la posición del impacto, que no está bien determinada a lo largo de la calzada se ha marcado una zona posible. Por otro lado, los valores "adecuados" de magnitudes como las masas de los autos o los coeficientes de fricción neumáticos-asfalto son solo promedios, y es necesario considerar las fluctuaciones estadísticamente esperables alrededor de estos promedios. Las fuentes de incerteza nombradas son las más importantes, pero no las únicas: cabe esperar otras fuentes de error, pero ya de menor magnitud. Por ejemplo, las longitudes medidas en el lugar por la comisión policial seguramente adolecen de errores, aunque estén bien medidas. En el caso presente, la distancia entre los dos autos en sus posiciones finales es de 4.11 m; a nadie que haya trabajado experimentalmente le sorprendería que otra pareja de policías midiera 4.08m, o tal vez 4.15m, en exactamente la misma situación. Las causas de estas diferencias son múltiples: los puntos de referencia están mal definidos, la tensión en la cinta métrica (que ya de por sí no es un instrumento de precisión) no es siempre la misma, al leer la escala siempre se aproxima y redondea. Estos errores, llamados estadísticos, son absolutamente inescapables, se mide en un laboratorio de física nuclear o en la escena de un accidente; en la segunda tienden a ser mayores. También puede ocurrir que las distancias no estén bien medidas, que se hayan cometido errores gruesos: la distancia entre los autos podría aparecer como 14.11m, o tal vez como 41,1m. Sobre la magnitud de esta clase de errores poco se puede decir. En general saltan a la vista al confeccionar un gráfico a escala, ya que tienden a situar a alguno de los autos en una

posición claramente imposible. En este caso, los dos autos nunca podrían estar separados por 41 metros, si se cree en las otras medidas. Estos errores a menudo se generan en la transcripción de los valores del cuaderno de notas al croquis. Volviendo a los errores estadísticos, otra fuente de error menor podría ser la apreciación de que el lugar del accidente es plano, una estimación a ojo que muy probablemente sea cierta, dentro de tal vez un uno por ciento. Así se pueden buscar algunas otras fuentes de error. Sin embargo, no se encontrarán muchas, y todos estos factores tendrán errores probables del orden del uno por ciento o menores, mientras que los detallados antes son un orden de magnitud más importantes. Por lo tanto, y para simplificar, solo se toman en cuenta las fuentes de error de más entidad, y se desprecian las otras; su inclusión no cambiaría apreciablemente los resultados finales. Este análisis de la importancia comparativa de las distintas fuentes de incerteza depende críticamente del caso particular; es probable que en otro caso resultara distinto. Así pues, debe tomarse como una ilustración, y no como una receta a seguir.

Si se consideran en este caso que los errores esperables en los resultados provienen de la indeterminación del punto de impacto en el sentido de la calle, y de las fluctuaciones en las masas de los dos vehículos y en los coeficientes de fricción asignados a la situación. Respecto a la posición transversal del punto de impacto, en el sentido de la calle del tecolote, suponemos que las huellas del Peugeot y los datos en el costado izquierdo del otro vehículo lo sitúan con precisión suficiente, ¿Cómo se reflejan estas fuentes de error en el resultado final? , ¿Cuál es la distribución que se puede esperar estadísticamente para los valores de la velocidad inicial del Peugeot, con base a lo que se conoce sobre las fluctuaciones en las magnitudes que entran en

su determinación? La propagación de errores convencional no es una buena opción. Por un lado, la derivación no es una tarea que se pueda tomar a la ligera; además, no se tiene ninguna garantía de que se cumplan los requisitos que permiten truncar el desarrollo de Taylor en el primer orden. Existe un método alternativo muy poderoso. En vez de calcular la propagación de errores en la expresión que se citó al inicio para la velocidad del Peugeot, se puede generar una cantidad de diferentes soluciones, cada una con valores distintos de los parámetros que pueden fluctuar. Estos valores distintos deben ser elegidos dentro de los límites impuestos por el conocimiento del problema, es decir que deben ser todos perfectamente posibles. Como elegirlos dentro del rango posible es el problema: mientras que un fiscal tal vez preferiría los que conducen a valores altos de la velocidad del Peugeot, al abogado defensor se contrata para que busque y recomiende los que deban a las estimaciones más bajas posibles. Está probado que los seres humanos, por imparciales que se sientan, no puede elegir los valores de manera confiable. La estadística resulta mucho mejor si se deja que el azar elija los valores, que los números usados sean aleatorios, y en esta necesidad de los números aleatorios es en donde entra a funcionar los procedimientos de números aleatorios, llamadas Técnicas de Montecarlo, esta técnica se empezó a usar a partir de 1944, cuando el diseño de la primera bomba atómica, y otro problema no menos arduo, la investigación operativa necesaria para montar las grandes invasiones de la Segunda Guerra Mundial, mostraron la necesidad de estos métodos. Las enormes cantidades de números aleatorios que demandan fueron provistos por las nuevas computadoras. Parece un contrasentido que se generen números aleatorios con una computadora, la máquina más determinista creada por el hombre. Sin embargo, en todas ellas hay disponibles rutinas que proveen de números "pseudo-aleatorios":

aunque son producidos de manera totalmente determinista, y por lo tanto no son aleatorios en su origen, si lo pueden ser en la función, generalmente los generadores de números al azar que usan los idiomas de computación son del tipo congruencial multiplicativo. Los números que producen forman parte de una serie determinada por un algoritmo: si se le da a la máquina una determinada "semilla", a partir de ahí la serie producida será siempre la misma. Aunque los números son deterministas, su distribución le parece totalmente aleatoria al usuario. En el caso del Excel de Microsoft, una planilla de cálculos muy difundida entre usuarios de computadoras, un llamado a la función RAND entrega un número al azar distribuido uniformemente entre 0 y 1. Esto significa que la probabilidad de que el número caiga en un intervalo dentro del segmento 0, 1 es proporcional a la longitud del intervalo, aunque en Excel es posible cambiar el intervalo en el cual se generan los números aleatorios, aunque esto hará que la variabilidad de los mismos aumente. Por ejemplo, estos diez números fueron producidos uno tras otro por la función RAND del Excel: 0.264, 0.484, 0.585, 0.814, 0.266, 0.460, 0.465, 0.731, 0.082, 0.798. La palabra inglesa para aleatorio es random, que originariamente significaba "al galope", o con poco cuidado; de ella vienen los nombres de estas funciones como RAND o RANDBETWEEN(a, b) (un número aleatorio entre a y b). La limitada precisión que se requiere en la investigación accidentológica permite usar los generadores comerciales, sin que esto sea una recomendación para todos los que hay en existencia. Tal como ya se discutió, en la Expresión de V_p figuran por lo menos cinco parámetros cuyos valores aceptan variaciones al azar. El primero es la distancia x , la posición del impacto a lo largo de la avenida. Es apropiado dejarla variar en una zona de 3 m, de forma uniformemente

distribuida. Eso quiere decir que x va de $-1,5\text{m}$ a $+1,5\text{m}$, y que en términos de la función RAND esta variable aleatoria podría definirse por la instrucción:

$$x = \text{RND} () * 3 - 1.5$$

El valor particular de esta variable determina los valores de las tres distancias del problema, así como el del ángulo. El histograma de 1000 valores de la velocidad inicial del Peugeot, obtenida de la Expresión V_p , con valores de x variando al azar según la expresión de arriba, mientras los otros parámetros permanecen fijos. Los valores extremos de la velocidad son $88,92$ y $92,70$ km/h, con un valor medio de $90,87$ km/h. La desviación estándar (raíz cuadrada del segundo momento centrado) es $\sigma = 1,07$ km/h. Estos valores son propios de esta realización, de este conjunto particular de 1000 simulaciones, y otra corrida data otro conjunto de valores, con otros extremos, otro valor medio, y otra desviación estándar.

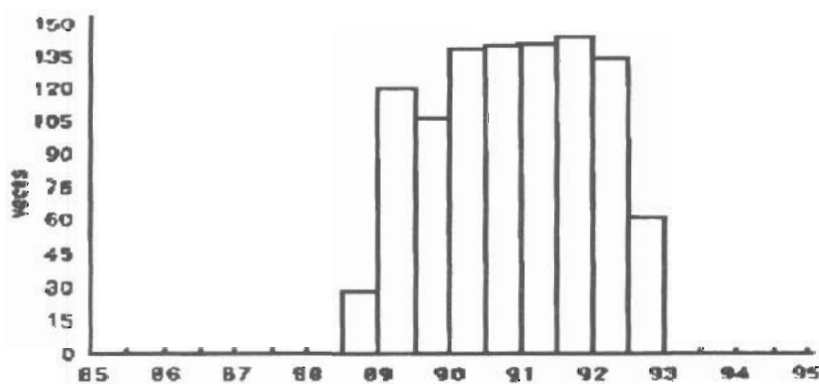


Figura 16. Histograma de 1000 valores de la velocidad inicial del Peugeot por la variación en el punto de impacto

Las masas de ambos autos también pueden variar, de forma independiente. Considerando los pesos de los autos en orden de marcha, mas los probables de sus

ocupantes, las fluctuaciones aleatorias en las masas de los autos pueden modelarse por:

$$m_p = \text{RAND}(\) * 40 + 550, \quad m_s = \text{RAND}(\) * 60 + 1267$$

Esto es, considerando que los autos tienen masas por lo menos 1267 Kg y 550 Kg, y a esas masas se les puede sumar cualquier cosa entre cero y 60 o 40 kilos, según el auto. Las masas están expresadas en kilogramos, pero no se están usando unidades en la planilla de cálculos. En el caso de que se calcule con un programa como Math Cad es conveniente usar las magnitudes con sus unidades, una costumbre que ayuda a evitar errores de cálculo al imponer la consistencia dimensional. De hecho, en este caso especial es irrelevante que unidades se usen para las masas, ya que en la Expresión aparece solo su cociente.

La siguiente figura, que se obtuvo a partir de una simulación en Math Cad, estos datos sirven para determinar, de la manera más cercana, la velocidad que llevaba el Peugeot al momento del accidente, este es necesario hacerlo, pues como se dijo en el párrafo posterior a la ecuación 30, la velocidad que proporciona ésta, no es del todo correcta y presenta mucha discrepancia con los valores reales que sucedieron. Esto se puede corregir, en buena manera, cuando se aplica el Método de Montecarlo para hacer un gran número de mediciones y tomar el valor que más se repite (promedio) en las mediciones realizadas. Entonces, para el gráfico representado en la figura 16, indica que para 1000 “corridas” del programa, la velocidad más probable del Peugeot es de 90 Km/h, el histograma muestra esta velocidad cuando se toman 1000 valores de la velocidad variando solo estas masas. Los valores extremos son 89,93 y 91,77

km/h, con una media de 90,83 km/h y $a = 0,40$ km/h. Este último valor deja en claro que los errores en las masas son de importancia menor que los provenientes del punto de impacto

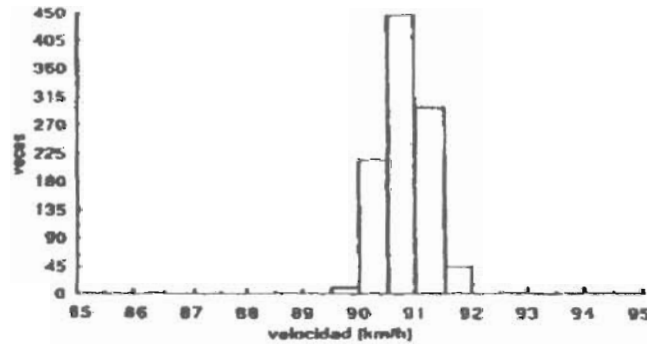


Figura 17. Histograma de 1000 valores de la velocidad inicial del Peugeot determinada por las masas de los autos.

La variación en los coeficientes de fricción efectivos de cada auto reviste especial importancia. En las circunstancias del accidente un promedio razonable es 0.8, pero una variación en hasta 0.1 para arriba y abajo también es razonable:

$$\mu_p = \text{RAND}(\) * 0.8 + 0.1, \quad \mu_s = \text{RAND}(\) * 0.8 + 0.1$$

Nótese que, aunque las expresiones son iguales para ambos coeficientes de fricción, μ_p y μ_s los valores numéricos que toman son distintos e independientes, ya que la función RAND proporciona un número aleatorio distinto cada vez que se la invoca. En el histograma de los 1000 valores determinados variando, μ y μ_{HS} con los otros parámetros quietos. Es interesante observar que en la variación o cambio de la escala horizontal, exigido por el rango mayor en la variación de la velocidad: sus valores extremos ahora son 85,44 y 96,21 km/h.

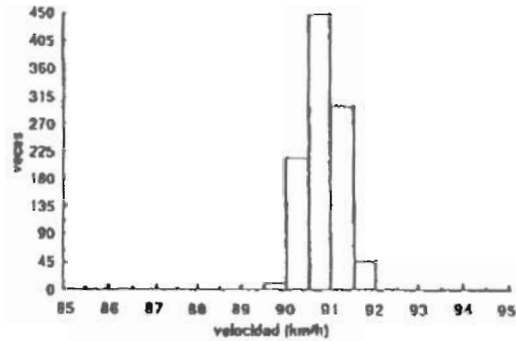


Figura 18. Histograma de 1000 valores de la velocidad inicial del Peugeot determinada por las masas de los autos

El valor medio es de 90,88 km/h, y la desviación típica es de 2,69 km/h. Esta fuente de error es claramente la más importante.

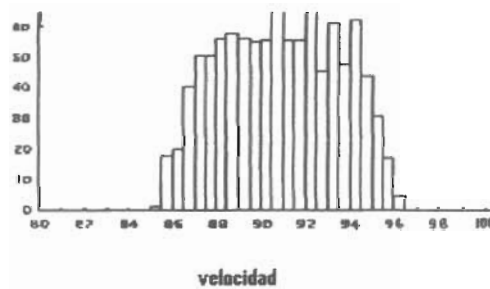


Figura 19. Histograma de 1000 valores de la velocidad inicial del Peugeot determinada por la variación en los coeficientes de fricción.

Por último, la siguiente figura muestra el histograma de 1000 valores de la velocidad en los cuales han variado los cinco parámetros simultáneamente. Representa por lo tanto un resultado del modelo de variación total. Aquí los valores extremos son 83.71 y 98.21 km/h. El valor medio es 90.78 km/h, y $\sigma = 2.98$ km/h. Como era de esperarse, la distribución de velocidades en la cual varían todos los factores es más ruidosa, tiene

mayor dispersión que cuando varían solo algunos de los parámetros. La desviación estándar total resulta ser muy aproximadamente la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones.

$$\sigma = 2.98 \simeq \sqrt{1.07^2 + 0.40^2 + 2.69^2} = 2.92$$

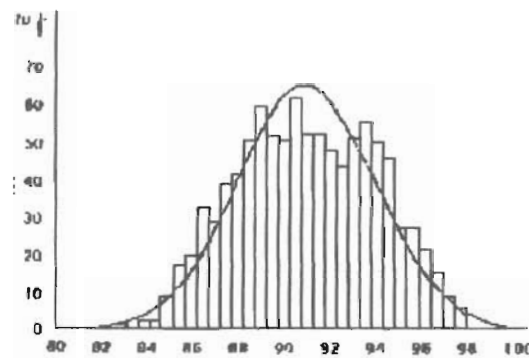


Figura 20. Velocidad vs. Veces, para un Histograma de 1000 valores De velocidad inicial de Peugeot determinada por la variación Simultánea de los cinco parámetros considerados

La figura 20, que muestra superpuesta al histograma una distribución gaussiana (o normal) con los parámetros adecuados ($N = 1000, \langle v \rangle = 90.78 \text{ km/h}, \sigma = 2.98 \text{ km/h}$), permite ver que el histograma ya ha adoptado una forma de campana típicamente gaussiana que no mostraban los anteriores. Esto es una consecuencia del efecto simultaneo de varias fuentes de fluctuación. Aunque ninguna de ellas obedece de por sí una distribución gaussiana, su combinación hace que los valores extremos, que exigen valores extremos simultáneos en todas las variables, sean mucho menos probables que los moderados del centro. Este acampanamiento de la distribución de valores de la velocidad muestra el Teorema Central del Límite en acción: bajo condiciones muy generales (pero no universales), la combinación de numerosas

fuentes de variación da origen a una distribución gaussiana de valores finales, satisfactoriamente a una gaussiana, no lo es exactamente, ya que su centro es demasiado bajo y sus alas demasiado altas. En efecto, el coeficiente de curtosis de esta distribución, definido como el cociente entre el momento de cuarto orden y el cuadrado del de segundo orden (ambos centrados) da 2, mientras que el de una auténtica distribución gaussiana debería ser tres. La distribución de velocidades es platicurtica pesar de ser de rango limitado. Esta propiedad proviene que una de las fuentes de error, la variación en los coeficientes de fricción, predomina netamente sobre las otras. Como su forma es rectangular, la distribución final conserva un núcleo rectangular que las demás variaciones no han podido diluir, y confiere el carácter platicurtico a la distribución. En cuanto a la leve asimetría que muestra esta distribución, proviene de la raíz cuadrada que domina la Expresión de V_p , pero es tan pequeña, de 0.004, que no resulta relevante.

La simulación numérica brinda una manera rápida y muy poderosa de determinar rangos de variación, e inclusive formas de distribución, de resultados que pueden no ser accesibles a cálculos convencionales de propagación de errores. Ahora bien: hasta dónde se pueden creer estos resultados experimentales, para empezar, la computadora más poderosa del mundo no es mejor que quien la programe. Esto lo expresan los programadores en las siglas inglesas GIGO, que se podrían traducir como EBSA: si entra basura, sale basura. Si se parte de un modelo físico errado para la colisión, o no se estiman adecuadamente los rangos de variación de los parámetros, o se desprecia la variación en los parámetros realmente relevantes del problema, los resultados no valdrán nada. Pero estas reservas valen también para cualquier cálculo

analítico tradicional. Hay que considerar los aspectos intrínsecos de la técnica de Montecarlo.

El primer aspecto que debe cuidarse ya fue mencionado: los generadores de números aleatorios incluidos en los paquetes comerciales son pobres. Son adecuados para generar algunos miles de números, pero si se quiere algo más ambicioso se debe recurrir a rutinas mejores. El segundo aspecto es inherente al carácter estadístico del método: si cada realización nos provee de N valores distintos de la velocidad del Peugeot, y estos N valores dan su propio valor medio y desviación, ¿a cuál realización habría que creerle?

La respuesta la da la estadística: las fluctuaciones en estos valores son inversamente proporcionales a la raíz cuadrada de N . Esto significa que al hacer simulaciones con N cada vez mayores, las cifras en los resultados que dependen del conjunto, sea el promedio o la desviación estándar, se van quedando fijas desde la izquierda. Es un problema de muestreo, presente en todas las encuestas: en cada simulación se obtiene solo un número finito, N , de respuestas, sean velocidades posibles o intenciones de voto. Si son pocas, los parámetros de interés (valores extremos, promedio y desviación estándar) están muy sujetos a las variaciones del azar. Al aumentar el tamaño de la muestra los caprichos del azar tienden a compensarse, y los parámetros calculados se toman más confiables.

Para mostrar esta tendencia, se hacen 10 realizaciones distintas, cada una de N simulaciones, y se ha repetido las simulaciones para N de 1 a 100000. Se ha calculado el promedio y la desviación estándar para cada realización. La Figura muestra, en

escalas logarítmicas, la diferencia entre los valores extremos en cada grupo de 10 realizaciones, del promedio y de la desviación estándar, esta diferencia entre los valores extremos es la medida más radical posible de las fluctuaciones, el rango total de variación, no el estadísticamente significativo que, por supuesto, es menor.

La recta, dada por uno la sobre raíz cuadrada de N , sirve de comparación. Se ve claramente que los rangos de dispersión de ambas magnitudes son efectivamente inversamente proporcionales a la raíz de N , y que para aumentar en un factor 10 la precisión estadística de los resultados, es decir para asegurar una cifra decimal más, hay que calcular 100 veces más. Las técnicas de Montecarlo son de fuerza bruta: se basan en el poder de cálculo rápido y barato para reemplazar al más artesanal y caro, pero no porque el cálculo sea barato hay que derrocharlo, La pregunta en este caso es ¿Qué precisión es necesaria en el problema que se está tratando? Técnicamente, se especifica la desviación típica de un resultado con una o dos cifras significativas, nunca con más. ¿Cuánto debe ser N para obtener esta precisión? La Figura 11 muestra que con $N = 100$ ya se ha fijado la primera cifra de 0, igual a 3, pues todos los valores caen cómodamente entre 2,8 y 3,3. Con $N = 10000$ ya sobra para tener dos cifras seguras, igual a 3,0, pues los valores caen entre 2.97 y 3.04.

Las 1000 simulaciones usadas en las Figuras 20 parecen ser un buen número, y aseguran dos cifras significativas si se usa el criterio estadísticamente más realista de la dispersión cuadrática media, en vez del rango total variación, como es el caso que se observa en la Figura 19, en la cual se considera el coeficiente de fricción cinético del Peugeot.

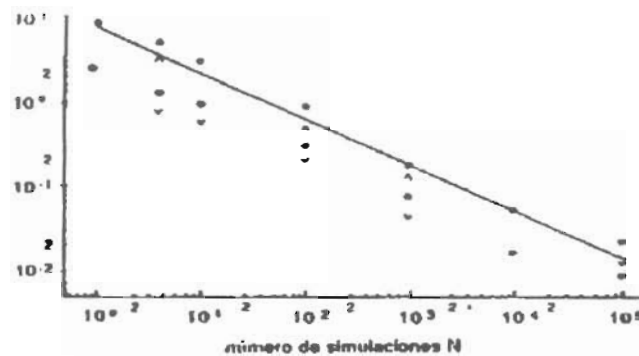


Figura 21. Rangos totales de variación del promedio y de la desviación típica y Desviación típica del promedio y la desviación típica para 10 realizaciones de N simulaciones, la recta sirve de referencia.

Usar dos cifras significativas en la desviación estándar de un cálculo accidentológico (o de cualquier otro tipo) es hilar demasiado fino, y que basta con una. En efecto, usar dos cifras significativas en la desviación estándar equivale a asegurar que se conoce el efecto de los errores mejor que el 10%, y eso parece exagerado. Así pues, es razonable decir que la desviación estándar de los resultados es 3 km/h. Consecuentemente, el promedio debería redondearse a este grado de precisión, con lo cual quedaría 91 km/h. Desde un punto de vista estadístico, entonces, se puede expresar el resultado diciendo que la velocidad del Peugeot al comenzar a dejar marcas de frenada era de 91 ± 3 km/h.

Estadísticamente, esto significa que el 68% de las soluciones están comprendidas dentro de este rango. Para propósitos forenses, el 32% que queda afuera es demasiado (en realidad, lo que puede preocupar a la defensa, o al perito que trata de no perjudicar a un imputado, es solo la mitad, el 16% que queda por debajo del rango; del 16% que cae por arriba la defensa prefiere ni hablar).

Parece más razonable, en este ámbito, aumentar el rango de error, por ejemplo a $3u$. Este intervalo comprende el 99.7 % de los casos.

El uso de un intervalo de error de $3u$ en cada sentido daría un resultado final de 91 ± 9 km/h.

Y como ya el 1 del 91 resulta algo pedante comparado con el error de 9 km/h, sería preferible redondear y decirle al juez que la velocidad más probable era de 90 km/h, Y seguramente estaba entre 80 y 100 km/h.

Aunque este atrevimiento de decir al juez que la velocidad es la de 90 Km/h depende totalmente de la interpretación del juez o de la filosofía del mismo.

4.3. Aplicación de integrales dobles

“Los estudios referentes al análisis de la deformación de la estructura de un vehículo protagonista de un accidentes de tránsito, datan de mediados de la década del 70 del siglo pasado, encontrándose entre sus iniciadores el Dr. Campbell, quien estableció empíricamente la relación proporcional entre velocidad de impacto y profundidad de la deformación, quedando además verificadas dos fenómenos claramente diferenciados: una deformación elástica y una deformación plástica que precede al anterior (cuantitativamente mucho mayor a la primera) y que, empíricamente se demuestra que

las cargas de tensión son proporcionales a la deformación registrada en ambos fenómenos.¹⁴

Las ecuaciones Cambelianas establecidas en pruebas de colisión de vehículos contra una barrera rígida son:

$$V(x) = b_0 - b_1x \quad \text{34. a}$$

$$\frac{F}{w(x)} = A - Bx \quad \text{34. B}$$

Dónde:

V(x): es la velocidad de impacto del vehículo en función a la profundidad (x) de la deformación.-

b₀: es la velocidad de impacto sin deformación permanente.-

b₁: el valor de la pendiente de la función empírica.-

F/w: es la fuerza de carga por unidad de ancho de deformación.-

A: es la máxima fuerza de carga por unida de ancho de deformación que el vehículo puede recibir sin deformación permanente.-

B: es una constante de dureza del vehículo, que depende de cada vehículo y de la zona de impacto sobre la estructura del vehículo.-

¹⁴ Stewart, James. *Cálculo multivariable trascendentes tempranas*. Pág. 47.

De los distintos ensayos de colisión contra barrera rígida, realizados sobre cada vehículo, se estiman estadísticamente los valores de b_0 , b_1 , A y B.

Considerando inicialmente donde la deformación de la estructura del auto chocado es constante para todo el ancho de la deformación x , tal como se aprecia en la Figura 21.

En las colisiones producidas entre vehículos cuyas diferencias de masas son importantes y se desarrollan en encrucijadas, la determinación de los rangos de valores de velocidad, previas al impacto, se encuentra afectada de una serie de variables que hacen al cálculo muy inestable. Establecer las cotas de error sencillamente reemplazando los valores extremos de los parámetros que varían, no es suficiente para apreciar el rango del desvío, en todo caso y para esta situación si es necesario considerar todo un conjunto de variable, que en otras situaciones se pueden obviar.

Por otro lado se verifica que la sensibilidad del sistema responde a tres variable principales como lo son la diferencia de las masas, los ángulos post impacto y los valores de coeficiente de fricción.

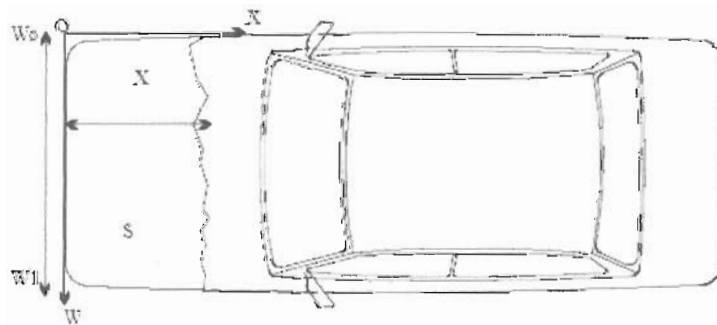


Figura .22. Deformación de la estructura del vehículo

Esta sensibilidad no resulta tan notoria ante el desarrollo de los algoritmos tradicionales de computo (aplicación directa del principio de la cantidad de movimiento), y solo puede ser apreciada mediante la utilización de técnicas de Monte Carlo. Si bien existen otras técnicas para el cómputo de las cotas de error, su aplicación se hace muy engorrosa dada la necesidad de encontrar un algoritmo que contenga todas las derivadas parciales de las variables intervinientes, además de las limitaciones que se han mencionado.

Para comprenderlo se trabajará sobre un caso real, introduciendo en el cálculo de las respectivas velocidades, la variabilidad que presentan tanto las coordenadas del ángulo post impacto como así también el coeficiente de fricción y las masas respectivas. La Figura 23, que es la que viene a continuación, se muestra las posiciones finales de los vehículos implicados, luego del impacto, en este caso de la moto y de la camioneta, según relevamiento realizado por la prevención policial en el lugar de los hechos. Aunque, actualmente este revelamiento es llevado a cabo por los peritos del Ministerio Público.

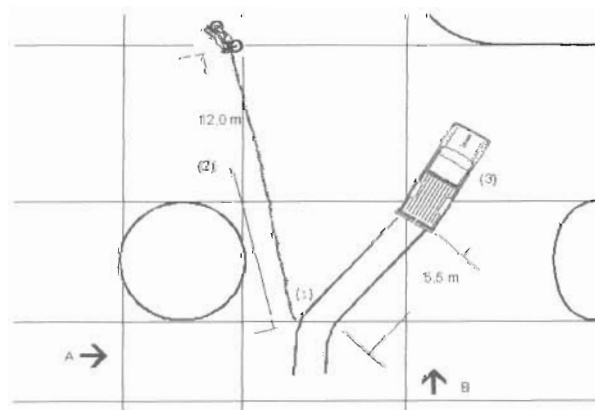


Figura 23. Relevamiento de las posiciones finales del accidente.

Aunque algunas medidas fueron recolectadas más tarde, del mismo lugar donde ocurrió el accidente, tomando como referencias las juntas de dilatación de las calzadas y las fotografías existentes en el expediente penal, es inevitable verificar una cierta incertidumbre en torno a la ubicación del punto de impacto de ambos vehículos. Si bien es cierto que el cambio de dirección de las huellas de frenado de una camioneta señalaría el punto de impacto, en realidad, este indicio tan solo señala donde la camioneta recibe el primer impacto sobre su lateral izquierdo delantero.

Existiendo sobre este mismo lateral del vehículo un segundo impacto reflejo del costado derecho de la motocicleta sobre el costado izquierdo de la camioneta. La figura 23 ilustra una imagen, montada de la motocicleta sobre la fotografía del expediente penal, ilustrando la correspondencia de los daños del costado referido de la camioneta



Figura 24. Ilustración de imágenes montadas sobre las fotografías del expediente, confrontando los daños de la camioneta con la formas de impacto de la motocicleta con su frente y su costado (segunda colisión).

La rotura del parabrisas y el descubrimiento de restos de vidrio en la parte interna del vehículo más grande, hacen pensar que alguna parte del cuerpo del conductor de la motocicleta impacta sobre el parabrisas, hipótesis reforzada por la ubicación final del sujeto y sus lesiones.

El inicio de las fracciones de la motocicleta (1) no coincide exactamente con el punto de cambio de dirección de la huella de frenada de la camioneta; que además señala que este último vehículo empezó a detenerse unos centímetros antes del impacto. Todo esto conduce a verificar una incertidumbre de las componentes de la proyección post impacto sobre el eje de las abscisas, tanto para la motocicleta como para el vehículo de mayor porte.

Por otro lado, el desconocimiento de si las huellas de frenada de la camioneta culminan o no detrás de las ruedas traseras del mismo (2), o si también se produjo el bloqueo de alguna de las ruedas delanteras, da argumentos para contemplar una variable de error sobre el eje de la ordenada de la proyección post impacto de la camioneta.

Habiendo ya planteado como fuentes de error las proyecciones en el eje de las abscisas para los dos vehículos y en el eje de la ordenada para la camioneta; sería prudente también considerar que las fracciones de la motocicleta (2) pueden extenderse unos centímetros más allá de los 12 m (por debajo de su estructura).

Otras dos fuentes de error más se conforman en el desconocimiento de los valores exactos de peso de los vehículos más sus ocupantes, y los valores de adherencia en el trabajo de roce post impacto de los mismos. Son entonces ocho las fuentes de error que van a ser consideradas en este caso teniendo presente además, la diferencia de masas entre la motocicleta y su acompañante y la camioneta, el cual está en el orden de los 17/100. Todo esto se establece según lo explicado en la aplicación de la técnica de Montecarlo

A los fines metodológicos del presente caso, se descartan los 90cm de huellas previas al impacto de la camioneta, para trabajar con mayor rapidez en las ecuaciones de colisiones en el plano y obtener de esta manera una medida central de las velocidades de los vehículos al momento del impacto y las dispersiones respectivas.

A pesar de que la colisión refleja en el momento del choque y dada la poca diferencia de tiempo entre el primer y segundo impacto, se parte de la consideración que el vector cantidad de movimiento de ambos vehículos, previo al primer contacto, coincidían con los ejes coordenados. Al variar las componentes de proyección post impacto en el eje de las x e y, se modifica también los ángulos de proyección y las componentes vectoriales de cantidad de movimiento posteriores a la colisión.

Se buscan entonces las ecuaciones de estimación de velocidades previas al contacto, poniendo las variables de dirección de proyección (ángulos post impacto) en función de las componentes en la ordenada y la abscisa, evitando trabajar con las funciones trigonométricas.

$$V_m = \frac{\sqrt{2g\mu_m x_m}}{[(x_m)^2 + (y_m)^2]^{-1/4}} + \frac{M_c \sqrt{2g\mu_c x_c}}{M_m [(x_c)^2 + (y_c)^2]^{-1/4}} \quad 35. a$$

$$V_c = \frac{M_m \sqrt{2g\mu_m x_m}}{M_c [(x_m)^2 + (y_m)^2]^{-1/4}} + \frac{\sqrt{2g\mu_c x_c}}{[(x_c)^2 + (y_c)^2]^{-1/4}} \quad 35. b$$

Donde x_c e y_c son las componentes de la proyección de la camioneta en metros luego del contacto; al igual que las variables x_m e y_m lo son para la motocicleta. Las variables μ_m y μ_c , señalan los valores de adherencia metal-asfalto y caucho-asfalto. Por último las variables M_m y M_c , representan los valores de masas en kilogramos de la motocicleta y

la camioneta. Los valores medios de cada variable señaladas abajo, junto con sus desvíos (Si)

Tabla X. Valores centrales de cada variable a considerar con sus respectivos extremos de variación.

Variables	Valores medios	Desvíos $S(i)$
xm	-1.9	± 0.1 m
ym	11.7	± 0.25 m
xc	2.5	± 0.5 m
yc	6.5	± 0.5 m
μm	0.5	± 0.1
μc	0.6	± 0.1
Mm	221	± 5 kg
Mc	1235	± 10 kg

Seguidamente se procede a estimar los valores centrales de velocidad previos al impacto V_c y V_m de los vehículos haciendo variar las masas de los mismos. La orden "rnden" el paquete de Math Cad devuelve un número aleatorio entre cero y uno; al igual que la función =ALEATORIO () en el paquete de Excel. Los mil (1000) valores de velocidad en unidades de [km/hr] simuladas para cada vehículo son ilustrados en las Figuras 24 y 25 seguidamente, haciendo variar simultáneamente el valor de las masas.

Los valores medios son de 59.2km/h para la motocicleta con un valor de la triple desviación $3Sv = \pm 2.7$ km/r. Para la camioneta el valor medio es de 37.2km/h con una valor de $3Sv = \pm 0.3$ km/h. Llama la atención, aun no siendo importantes los errores estimados, la diferencia que existen entre ellos, para un vehículo y para el otro.

Es interesante observar que la desviación simple para la camioneta es de ± 0.1 km/h mientras que para la motocicleta es de ± 0.9 km/h.

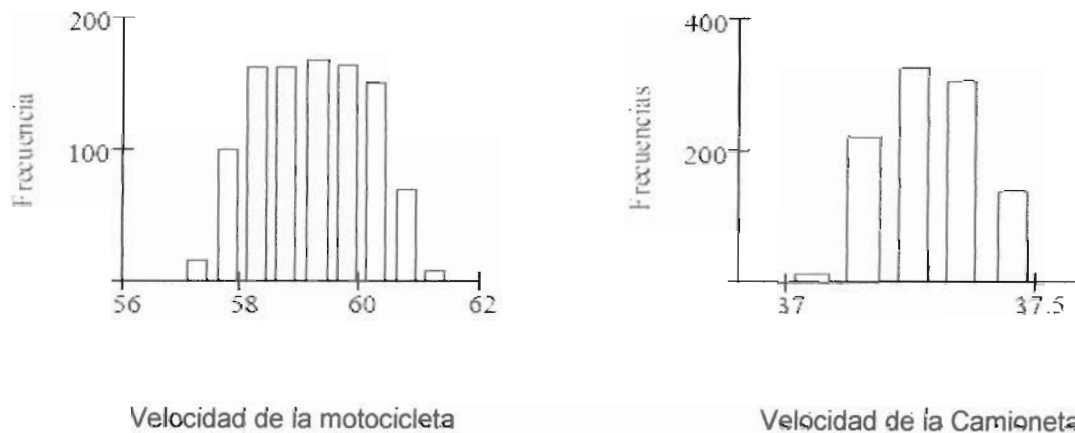


Figura 25. Diagrama de distribución de frecuencias absolutas de velocidad en [km/h] (motocicleta y camioneta) para mil valores de masas respectivas.

La importante diferencia de las desviaciones no se debe a que los extremos de variación de la masa de la camioneta sean el doble que la variación de masa de la motocicleta, según la Tabla IX, pues se verifica que aun siendo iguales estas variaciones la diferencia entre el error para la camioneta será mucho menor que el error para la motocicleta. La razón está en la diferencia de masas que existe entre estas unidades.

Si se tiene presente que $M_m/M_c = 0.17$ mientras que $M_c/M_m = 5.58$. Aun cuando las masas tomen sus valores extremos, el primer cociente va a estar comprendido entre $0.17 < M_m/M_c < 0.18$ para la primera ecuación, en tanto que el segundo cociente lo hará entre $5.42 < M_c/M_m < 5.76$ para la segunda ecuación. Cualquier número c que se multiplique mil veces entre valores que van de 0.17 a 0.18 arrojará una variabilidad mucho menor que si se lo multiplica mil veces entre valores de 5.42 a 5.76. Se entiende entonces que si no existiera tanta diferencia entre las masas existiría una equidad en las desviaciones para un vehículo y el otro, y el valor de las (S_v) desviaciones

computadas arriba, si dependerían más del rango de variabilidad de las masas y no de las diferencias entre ellas. Esto último es rápidamente comprobable al igualar M_m con M_c .

El segundo procedimiento, se realiza haciendo variar únicamente los valores de adherencia según la Tabla X. Los mil (1000) valores de velocidad en unidades de [km/h] simuladas para cada vehículo son ilustrados en la figura 25.

Los valores promedios de cada vehículo, sus desviaciones simples y el valor total del error (triple valor de la desviación estándar) son señalados seguidamente. Para la motocicleta $V_m = 59.1 \pm 9.5 \text{ km/h}$ con una desviación estándar de $S_v = \pm 3.1 \text{ km/h}$. Para la camioneta $V_c = 37.1 \pm 4.5 \text{ km/h}$ con una desviación $S_v = \pm 1.5 \text{ km/h}$. Inicialmente se nota que los valores medios se mantienen pero como era de esperarse, las cotas de error aumentaron.

Nuevamente llama la atención la diferencia entre las desviaciones finales de velocidad para la motocicleta $S_v = \pm 3.1 \text{ km/h}$ y el de la camioneta $S_v = \pm 1.5 \text{ km/h}$. Si bien es cierto que se puede comprender que el error propagado en la proyección post impacto de la camioneta será un poco mayor en comparación con la de la motocicleta, por el coeficiente de adherencia [1], ambas variables se encuentran en las dos ecuaciones 35.a y 35.b, y no se puede explicar, con este argumento, la diferencia entre las desviaciones de ambos cálculos. Pareciera cerca otra vez la respuesta está en la importancia de la diferencia de masas.

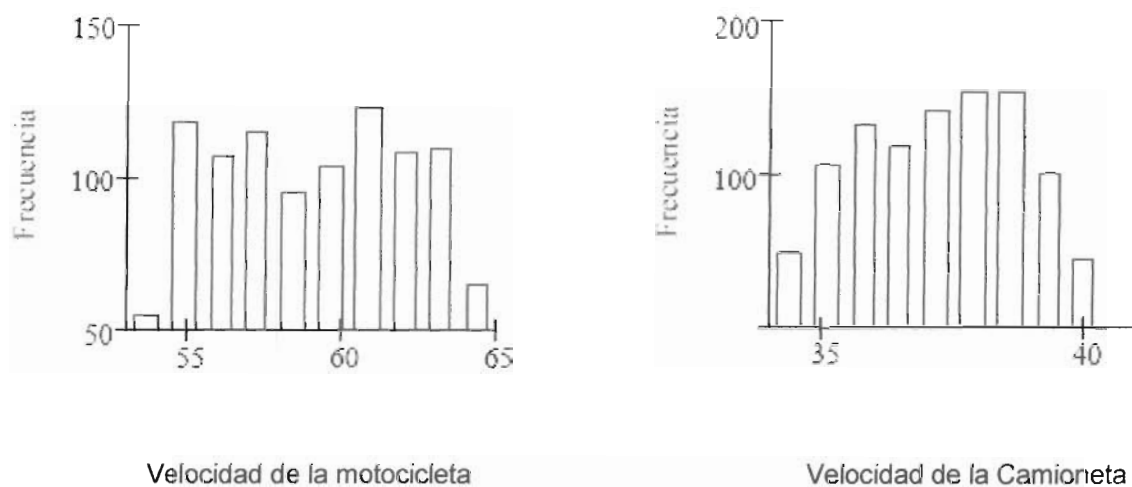


Figura 26. Diagrama de distribución de frecuencias absolutas de velocidad en [km/h] (motocicleta y camioneta) para mil valores de masas respectivas.

Al observar las ecuaciones 35.a y 35.b, se nota que los cocientes de las masas van a afectar a cualquier valor que resulte de las raíces cuadradas de los numeradores donde están contenidos los mil valores simulados de adherencia, y este resultado a su vez será afectado por los términos en los denominadores. Pero como ambas ecuaciones tienen los mismos divisores, la explicación está en los numeradores.

Teniendo en mente que, cualquier número $c > 1$ que multiplique a cualquier otro número d , lo hará mayor, mientras que cualquier número $c' < 1$ que multiplique al mismo número d , lo hará menor. Generalizando este axioma matemático se concluye que, cualquier número $c > 1$ que multiplique a mil valores comprendidos en un entorno numérico, hará que el rango de dicho entorno sea mayor; mientras que cualquier número $c' < 1$ que multiplique a mil valores del mismo entorno, hará que su rango sea menor. En este caso, a pesar de que x_c, x_m son números menores que y_c, y_m , sucede que M_c/M_m en la ecuación 1, es considerablemente mayor que M_m/M_c . Es posible predecir entonces que, si la razón de las masas de ambos vehículos fuera muy próxima

a la unidad y los valores de las componentes de proyección post impacto de ambos vehículos, sobre los ejes de la abscisa fueran aproximadamente igual a las correspondientes componentes sobre el eje de las ordenadas.

Entonces las desviaciones estimadas arriba deberían ser iguales. Cuestión esta que puede verificarse haciendo $x_c = y_c$, $x_m = y_m$ y $M_c = M_m$.

Para poder apreciar cómo se comporta la cota de error respecto a las variables de posición post impacto y ángulo de proyección, hacemos variar los valores de desplazamiento posteriores al impacto, sobre el eje de las ordenadas, de acuerdo a las variaciones indicadas en la Tabla IX. Los mil (1000) valores de velocidad en unidades de [km/h] simuladas para cada vehículo son ilustrados en la siguiente figura.

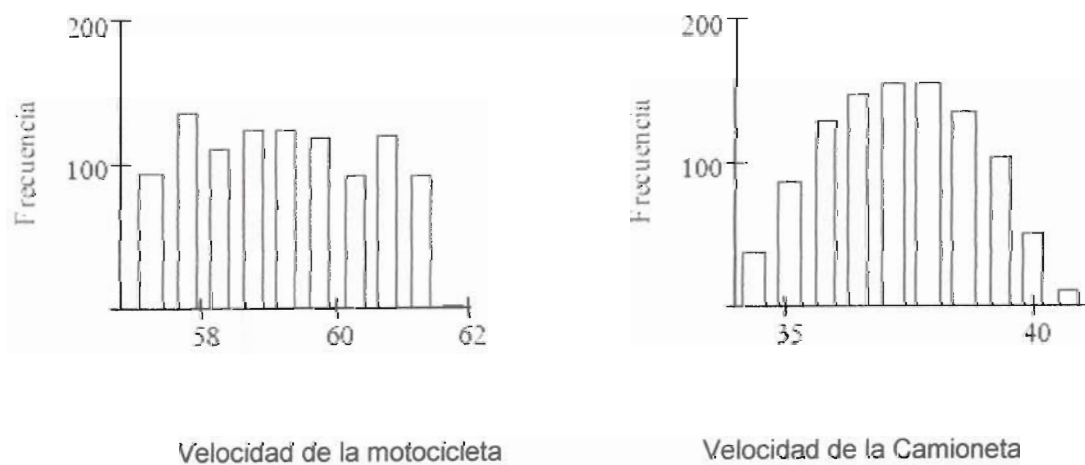


Figura 27. Diagrama de distribución de frecuencias absolutas de velocidad en [km/h] (motocicleta y camioneta) para mil valores respectivos de valores de las componentes de proyección sobre el eje ordenado.

Los valores promedios de cada vehículo, sus desviaciones simples y el valor total del error (triple valor de la desviación estándar) son señalados seguidamente.

Para la motocicleta $V_m = 59.2 \pm 3.7 \text{ km/h}$ con una desviación estándar de $S_v = \pm 1.3 \text{ km/h}$.

Para la camioneta $V_c = 37.2 \pm 4.5 \text{ km/h}$ con una desviación $S_v = \pm 1.5 \text{ km/h}$. Al igual que en las dos simulaciones anteriores, una rápida explicación de la proximidad entre las desviaciones, puede resultar de analizar los productos y cocientes de los números que se tratan en la ecuación 1 y 2.

La corrida numérica que contempla la variación de las componentes de proyección sobre el eje de las abscisas, se detalla a continuación en siguiente figura.

Los valores promedios de cada vehículo, sus desviaciones simples y el valor total del error son señalados seguidamente.

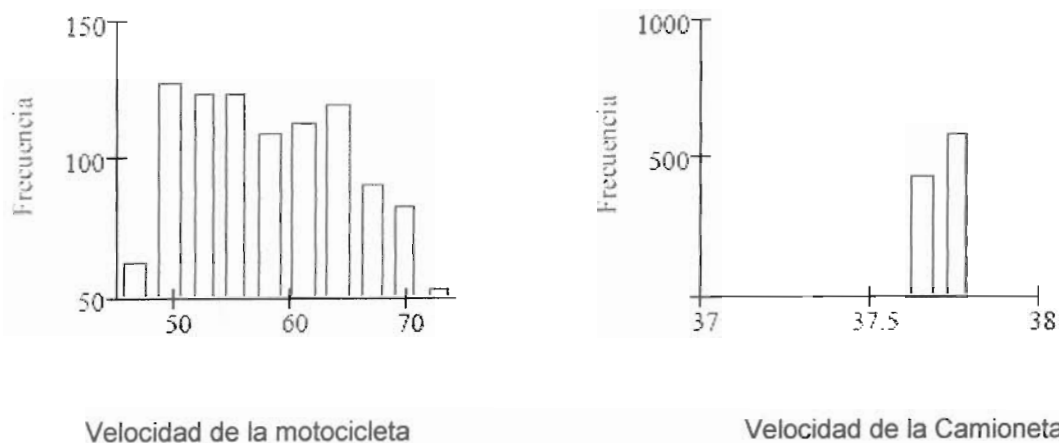


Figura 28. Diagrama de distribución de frecuencias absolutas de velocidad en [km/h] (motocicleta y camioneta) para mil valores respectivos de valores de las componentes de proyección sobre el eje de las abscisas.

Para la motocicleta $V_m = 58.7 \pm 22.2 \text{ km/h}$ con una desviación estándar de $S_v = \pm 7.4 \text{ km/h}$. Para la camioneta $V_c = 37.7 \pm 0.3 \text{ km/h}$ con una desviación $S_v = \pm 0.0 \text{ km/h}$. No solo la diferencia del error entra ambas magnitudes es significativo; sino que además se encuentra con la fuente de error más importante, aún más fuerte que los supuestos errores que producen los valores de adherencias.

La función que hace variar la componente x_m de la motocicleta dentro de los parámetros señalados en la tabla 1 es: $1.8, 2.0 \text{ rnd}(1) \text{ Ec } 35.a$

Esta función, cada vez que se la opera, devuelve un valor entre 1.8 y 2.0 que, multiplicada por la unidad en metros y computada tantas veces como se quiera (unas mil veces por ejemplo), da como resultado un entorno numérico comprendido entre 1.8 m y 2.0 m. La amplitud de este entorno (su rango) es de 0.2m y el promedio de los desvíos es muy bajo $S = \pm 0.059 \text{ m}$. Si a este mismo entorno se le suma cualquier cantidad, por ejemplo la cantidad y_m^2 , su amplitud y desviación media no cambiará, debido a una propiedad de la varianza. Sin embargo la potencia fraccionaria de $1/2$ de este entorno hace que su rango aumente a 1.0m y disminuya su desviación a $S = \pm 0.021 \text{ m}$.

La ecuación 3 está ubicada en el numerador y el denominador del primer término de la ecuación 1. Si se tiene presente estos cambios, multiplicado además por el término $(2.g.mm) 0.5$ y el factor de 3.6, se verá que el primer término de la ecuación 35.b da como resultado un error o desviación promedio bajo de $S_v = \pm 0.18 \text{ km/h}$, equivalente a un error del 3% respecto a la media de V_c . Sin embargo el mismo análisis sobre el segundo término de la ecuación 1, da como resultado un error de $S = \pm 7.53 \text{ km/h}$ equivalente a un

error del 11.5% respecto a la media de V_c ; debido a que nuestra función que hace variar el término es: $(2,21 \text{rnd}(1))$, Ec. 31.b

La amplitud de la función contenida en la ecuación 4 es ahora de 1.0 m y su desvío es de $S = \pm 0.29\text{m}$, notoriamente mayor a la desviación de la función en la ecuación 3. Si se considera ahora que toda variación que resulte en el segundo término de la ecuación 1 será multiplicada, además de los términos 3.6 y $(2.g.mc) 0.5$, por el cociente M_c/M_m , entendemos porque el error debería aumentarse significativamente.

Nuevamente se verifica que es el cociente M_c/M_m el término responsable de amplificar las desviaciones, comparando el error resultante en el primer término de la ecuación 1 del 3% con el segundo término de la misma ecuación del 11.5%. Un análisis similar en la ecuación 2, demostraría exactamente lo mismo, teniendo presente que ahora el cociente M_m/M_c va a disminuir cualquier desviación promedio que resulte de las funciones de variación de proyección sobre el eje de la ordenada. Luego, como se utilizan para fines forenses el triple valor de las desviaciones promedios, las diferencias entre los errores estimados para cada vehículo se hacen más significativas. Como último procedimiento si se contemplan todas las fuentes de error señaladas y se computan los valores medios de velocidad para cada vehículo y sus desviaciones promedios correspondientes.

Para la motocicleta $V_m = 59.7 \pm 24.7\text{km/h}$ con una desviación estándar de $S_v = \pm 8.2\text{km/h}$. Para la camioneta $V_c = 36.9 \pm 6.2\text{km/h}$ con una desviación $S_v = \pm 2.0\text{km/h}$. Finalmente los mil valores de velocidad en [km/h] estimados para la variación de las ocho variables contempladas como fuentes de error, se ilustran a continuación.

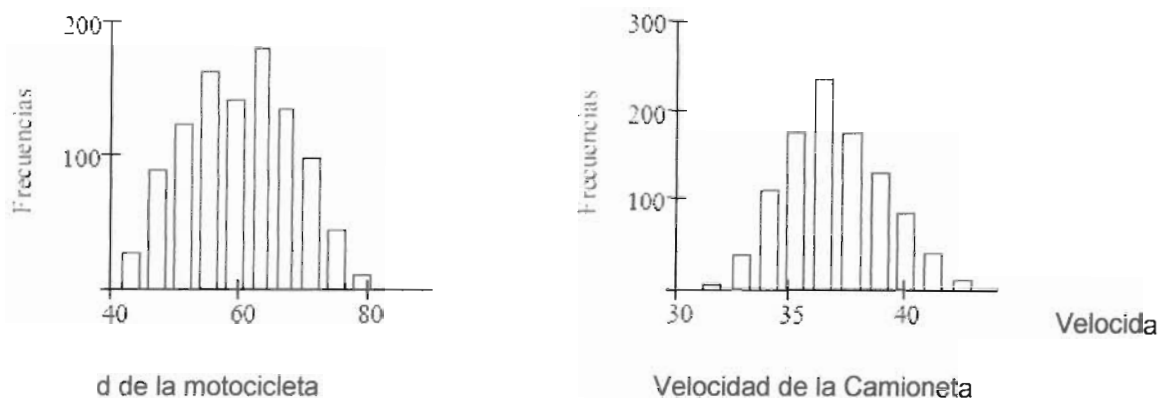


Figura 29. Diagrama de distribución de frecuencias absolutas de velocidad en [km/h] (motocicleta y camioneta) para mil valores respectivos de las ocho variables consideradas como fuentes de error.

La última columna de las Tablas X y XI muestran los resultados finales estimados para cada vehículo. Verificándose además, para cada vehículo, que la suma de los cuadrados de las desviaciones promedio resultante de cada simulación individual es aproximadamente igual al cuadrado de la desviación promedio final, resultados típicos de las distribuciones gaussianas.

Tabla XI. Resumen de las estimaciones de velocidad media y error en [km/h] para cada variable de error, de la motocicleta.

	Variando las Masas	Variando las adherencias	Variando la coord en "y"	Variando la coord en "x"	Variando la cor. en "x, y"	Variando todas las variab.
Valor menor	57.0	53.0	57.0	45.0	44.0	41.0
Valor mayor	62.0	65.0	62.0	74.0	76.0	81.0
Rango	5.0	12.0	5.0	29.0	32.0	40.0
Valor medio	59.2	59.1	59.2	58.7	59.1	59.7
Desviación (Sv)	0.9	3.1	1.3	7.4	7.7	8.2
Cv(%)	1.5	5.4	2.1	12.6	13.0	13.8
3.(Sv)	2.7	9.5	3.7	22.2	23.1	24.7
3.Cv(%)	4.6	16.2	6.3	38.0	39.2	41.5
Velocidad	59,2 ± 2,7	59,1 ± 9,5	59,2 ± 3,7	58,7 ± 22,2	59,1 ± 23,1	59,7 ± 24,7

Tabla XII. Resumen de las estimaciones de velocidad media y error en [km/r] para cada variable de error, de la camioneta.

	Variando las Masas	Variando las adherencias	Variando la coord en "y"	Variando la coord en "x"	Variando la cor. en "x,y"	Variando todas las variab.
Valor menor	37.0	34.0	34.0	37.0	33.0	31.0
Valor mayor	38.0	41.0	41.0	38.0	42.0	43.0
Rango	1.0	7.0	7.0	1.0	9.0	12.0
Valor medio	37.2	37.1	37.2	37.7	37.2	36.9
Desviación (Sv)	0.1	1.5	1.5	0.0	1.5	2.0
Cv(%)	0.26	4.0	4.0	0.1	4.0	5.6
3.(Sv)	0.3	4.5	4.5	0.1	4.5	6.2
3.Cv(%)	0.8	12.1	12.0	0.3	11.9	17.0
Velocidad	37,2 ± 0,3	37,1 ± 4,5	37,2 ± 4,5	37,7 ± 0,3	37,2 ± 4,5	36,9 ± 6,2

Numéricamente: $(0.92 + 3.12 + 1.32 + 7.42)0.5 + 8.2$ y $(0.12 + 1.52 + 1.52 + 0.02)0.5, 02$, paralelamente a los cálculos realizados arriba, se computaron los valores de velocidad de cada vehículo para cada variable de error, tomando únicamente sus valores extremos señalados en la Tabla VI, como otro método para estimar la amplitud del error. Las cotas de esta manera estimadas se muestran en las Tablas X y XI.

Tabla XIII. Velocidad de la motocicleta en [km/hr] haciendo variar cada fuente de error hacia sus valores extremos.

	Variando las Masas	Variando las adherencias	Variando la coord en "y"	Variando la coord en "x"	Variando la cor. en "x,y"	Variando todas las variab.
Menor valor de V_m	60.1	54.2	61.5	47.0	48.9	45.5
Mayor valor de V_m	58.2	63.8	57.1	70.8	68.5	67.5
Rango	-1.9	9.6	-4.4	23.8	19.6	22.0
Velocidad de V_m	59,2 ± 0,95	59,1 ± 4,8	59,2 ± 2,2	58,7 ± 11,9	59,1 ± 9,8	59,7 ± 11,

Tabla XIV. Velocidad de la camioneta en [km/hr] haciendo variar cada fuente de error hacia sus valores extremos.

	Variando las Masas	Variando las adherencias	Variando la coord en "y"	Variando la coord en "x"	Variando la cor. en "x,y"	Variando todas las variab.
Menor valor de V_c	37.1	34.0	35.8	37.7	36.2	35.9
Mayor valor de V_c	37.3	40.3	38.6	37.6	38.2	43.6
Rango	0.2	6.3	2.8	-0.1	2.0	7.7
Velocidad de V_c	$37,2 \pm 0,1$	$37,1 \pm 3,1$	$37,2 \pm 1,4$	$37,7 \pm 0,05$	$37,2 \pm 1,0$	$36,9 \pm 3,85$

Si se comparan los resultados de las últimas filas de las Tablas XII y XIII, con las velocidades estimadas para cada caso, según las Tablas X y XI, podrá apreciarse que las cotas de error inferidas tomando únicamente la combinación de los valores extremos de cada fuente de error, dan como resultados cotas considerablemente menores a las estimadas mediante las simulaciones numéricas. La explicación radica en que existen combinaciones de valores individuales de las variables de error que producen una mayor variabilidad al resultado final, cuestión esta que no se aprecia combinando únicamente los extremos de las fuentes del error.

Por otro lado, si las fuentes de error solo fueran dos, se podrían encontrar una cota similar a la verificada con las simulaciones numéricas si se combinan los valores extremos pero en forma cruzada. Por ejemplo, el resultado de la velocidad de la motocicleta tomando en cuenta las variaciones de las masas, tendrá un valor aproximadamente igual al extremo inferior estimado en las simulaciones, según la Tabla XIII, si se calcula V_m primero con la siguiente relación de masas 1225/226 y luego con el cociente 1245/216, es decir combinando el menor valor de la masa de la camioneta con el mayor valor de las masas de la motocicleta; de igual forma pero relacionando las cantidades inversas se puede verificar el valor del extremo superior de V_m . Sin embargo

este rápido procedimiento solo es posible de realizar cuando se cuenta con una ecuación donde existen una o dos fuentes de error; caso este que no es el de interés acá, pues habría que realizar varias combinaciones posibles entre los extremos de cada fuente de error para encontrar la cota final.

4.4. Simulaciones numéricas

En las colisiones producidas entre vehículos cuyas diferencias de masas son importantes y se desarrollan en encrucijadas, la determinación de los rangos de valores de velocidad, previas al impacto, se encuentra afectada de una serie de variables que hacen al cálculo muy inestable.

Establecer las cotas de error sencillamente reemplazando los valores extremos de los parámetros que varían, no es suficiente para apreciar el rango del desvío.

Por otro lado se verifica que la sensibilidad del sistema responde a tres variables principales como lo son la diferencia de las masas, los ángulos post impacto y los valores de coeficiente de fricción.

Esta sensibilidad no resulta tan notoria ante el desarrollo de los algoritmos tradicionales de cómputo (aplicación directa del principio de la cantidad de movimiento), y solo puede ser apreciada mediante la utilización de técnicas de Monte Carlo.

Si bien existen otras técnicas para el cómputo de las cotas de error, su aplicación se hace muy engorrosa dada la necesidad de encontrar un algoritmo que contenga todas

las derivadas parciales de las variables intervinientes, además de las limitaciones que se han señalado anteriormente.

4.5. Aplicación de la fotogrametría digital

Se define a la fotogrametría como la "... técnica para estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando medidas realizadas sobre una o varias fotografías..." Esta ciencia se encuentra hoy en día totalmente ligada a disciplinas, entornos y sistemas digitales. Este desarrollo espectacular de la fotogrametría digital está íntimamente ligado a la rápida y constante evolución de la microelectrónica, al incremento de la potencia de las computadoras, la optimización en los registros obtenidos con cámaras digitales, la aparición de software especializado en el tratamiento de imágenes y al abaratamiento general de todos estos elementos.

Asociadas a las dos grandes ramas de la fotogrametría - la terrestre y la aérea- se encuentran una gran diversidad de aplicaciones:

En el caso del software ReVAT, con la fotogrametría digital no solo se consigue medir con precisión posiciones o formas posteriores a los hechos, sino que también permite incorporar las fotografías dentro del escenario virtual, mostrando así no solamente información objetiva, sino también un mayor realismo en la reconstrucción.

En este trabajo se presenta un ejemplo de la potencia de esta herramienta con el software Photomodeler® Lite.

Materiales y métodos

Para la construcción del entorno virtual se usaron los siguientes elementos:

- Computador PC compatible con procesador Dual Core 4® de 2.00 GHz con 2 GB de RAM
- Cámara de Video JVC® GR-AX 730
- Placa Editora de Video Miro® DC 10 Plus
- Software GIMP® para procesamiento de imágenes.
- Software Photomodeler® Lite
- Strata 3D® y Caligari True Space® 3 para animación de Automóvil

A los fines de poder realizar la prueba de precisión en las medidas que se realizarían en un caso real, se deja marcada una huella de frenado sobre pavimento con un automóvil. Se marcan los puntos de inicio y final de la huella con una tiza junto con una marca de longitud conocida que se toma de referencia para realizar las demás medidas. Con el propósito de comparar las mediciones que se realicen posteriormente in silicose mensura la longitud de huella, ancho de la ruta, etcétera.

Se filmaron desde distintos puntos al escenario tratando de tener la mayor cantidad de puntos de interés en cada plano tomado. Con la placa editora de video se congelaron las imágenes que se usarán para la reconstrucción del escenario virtual en una

resolución de 1280 por 970 píxeles. Este paso también puede ser realizado con el uso de una cámara digital o una cámara analógica. Dada la calidad de las imágenes obtenidas a partir del video, éstas fueron filtradas con el software de procesamiento de imágenes (Gimp ®) con el propósito de mejorar su definición.



Figura 30. Esquema y medidas tomadas en el lugar de la frenada. El segmento comprendido entre las dos huellas corresponde al segmento cuya medida se conoce. A la derecha, una de las fotografías con la que se trabaja para realizarlas mediciones.

Siguiendo los procedimientos detallados en el manual del software de fotogrametría, se ingresaron las imágenes al programa y se procedió a la marcación de los puntos de interés y a su correlación con los mismos en las otras fotografías.

Posteriormente se identifica y se ingresa el segmento de longitud conocida y se calculan las medidas desconocidas.

El último paso es aplicar las texturas extraídas de las fotografías. El escenario virtual obtenido es exportado a los programas de animación (Strata 3D®, Caligari True Space®) para su inclusión de esta información dentro de la reconstrucción virtual.

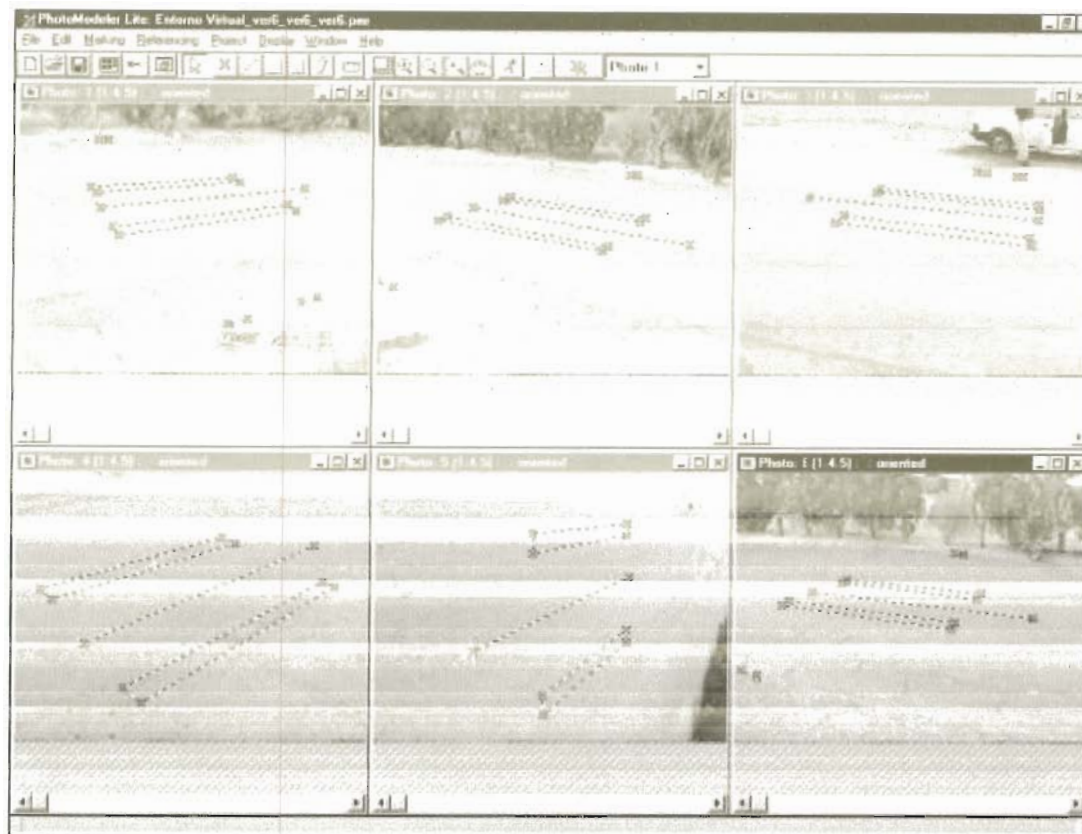


Figura 31: Pantalla del programa Photomodeler ® Lite con los puntos de interés marcados y sus correspondientes en las demás fotografías.

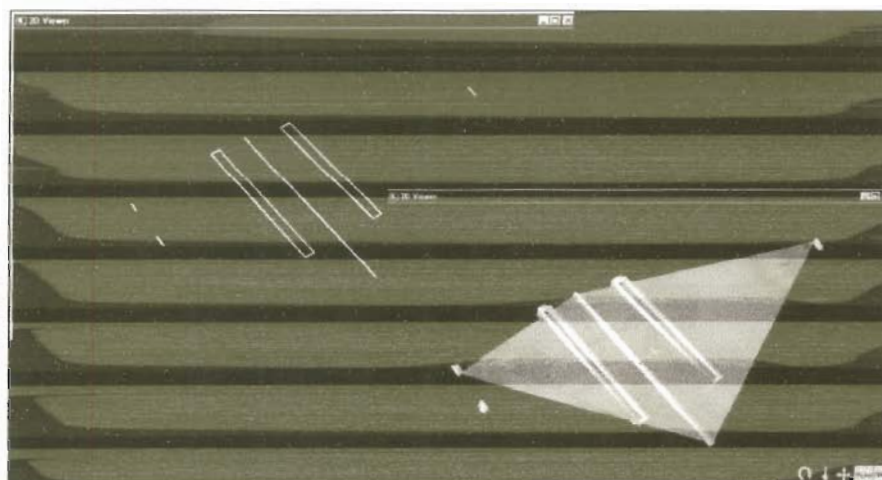


Figura 32: Reconstrucción del escenario (en este caso solo huella) sin textura (superior) y con textura (inferior)

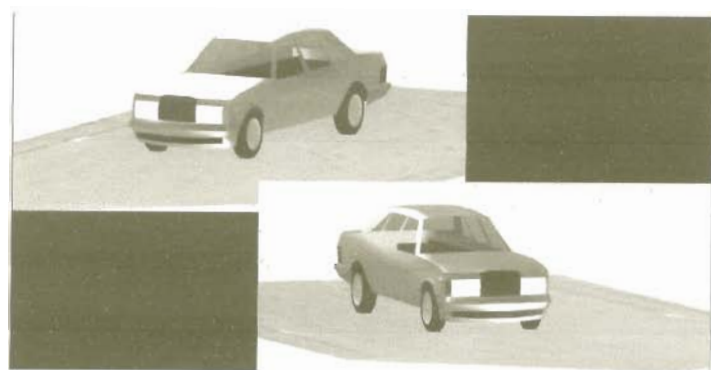


Figura 33. Entorno virtual exportado a Caligari Truespace® o Strata 3D® desde Photomodeler Lite ® para el proceso de animación y reconstrucción final

Tabla XV. Comparación de valores reales y los obtenidos en fotogrametría

Comparación entre los valores reales y los obtenidos por fotogrametría		
Parámetro	Valor Real (m)	Valor Estimado (m)
Longitud de huella 1	2.13	2.14
Longitud de huella 2	2.24	2.22
Separación entre huellas	1.19	1.17

La Tabla XIV ilustra la comparación de las medidas con las obtenidas con el software de fotogrametría contra las reales. Nótese la precisión de las mismas. La diferencia entre los valores obedece más a la poca nitidez de las imágenes (que dificultad la ubicación de los puntos) que a un error del método.

Para una precisión mayor se requiere el uso de una cámara digital de 16 o más mega pixeles o una mayor resolución en el escaneo de las fotografías.

Las ventajas del uso de la fotogrametría digital en la construcción de escenarios virtuales son innegables: permiten una valoración objetiva de las medidas y por sobre todo la realización de medidas post facto.

También permite una mayor rapidez en el registro de la información en el lugar del accidente (inclusive se pueden tomar las líneas de separación de carriles como información de referencia).

Un ejemplo de esta aplicación, se puede dar al fijar una calle de dimensiones conocidas, en donde se ubicó a cuatro personas a distancias predeterminadas como indica la Figura 33, estas distancias (en metros) se toman entre las personas y un objeto fijo de vía, entre las personas entre sí , y las mismas con el fotógrafo.

Las tomas fotográficas se realizaron con una cámara tipo réflex analógica, con un objetivo de 50 mm.

Referencias:

Iluminación: natural.-

Velocidad de obturación: 1/60f/5.6

Distancia de enfoque: las correspondientes para cada medida.-

Ancho de la calle 6,55 m (metros).

Las medidas conocidas a verificar son (ver Figura):

A =10 m B =10 m, C =10 m D =2, 20 m

E =3, 30 m, F = 4 m, G =1, 20 m, H =0,65 m.



Fotografía de la escena a medir medidas a verificar, la medida de Referencia es el ancho de la calle

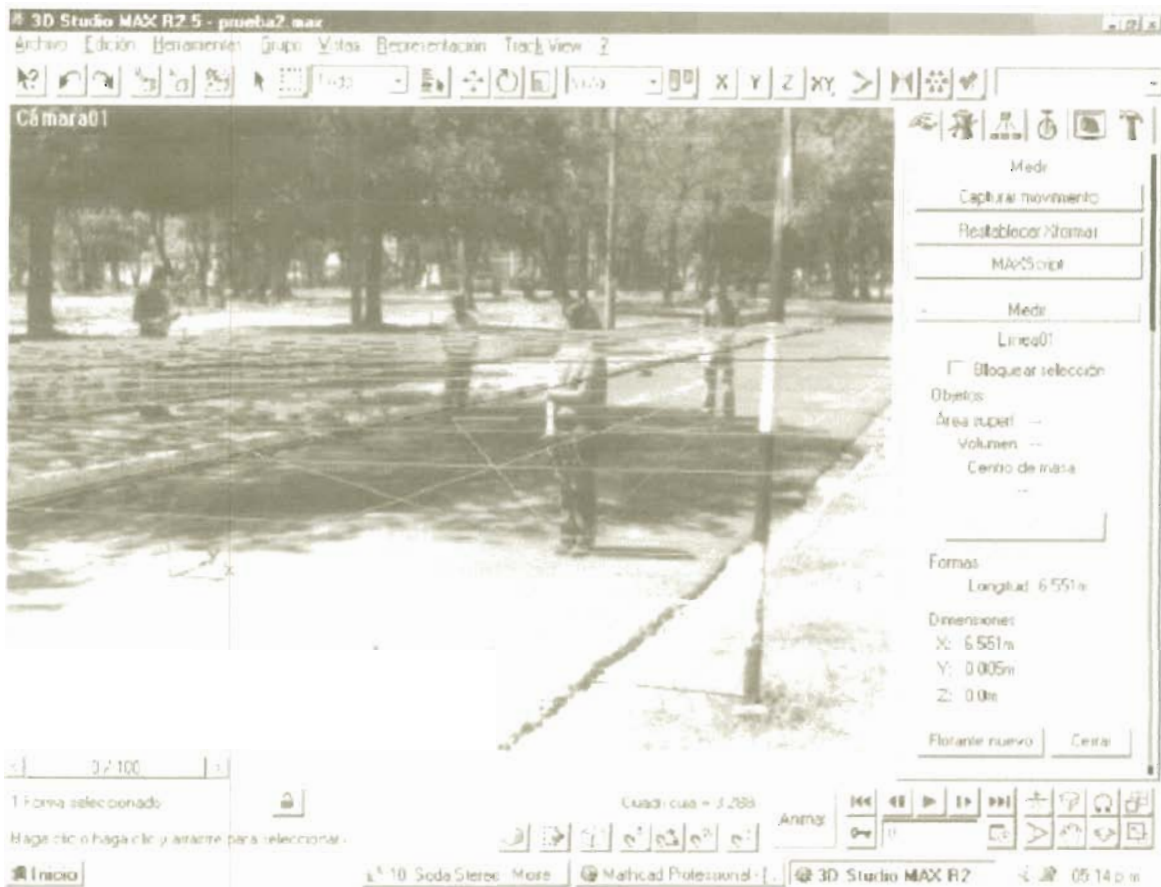


Figura 34. Entorno virtual para el proceso de animación y reconstrucción final.

Vista de la pantalla de trabajo. Se observa mediante el tramado de las líneas la superposición de la perspectiva de la cámara virtual sobre la perspectiva de la imagen de la fotografía y los distintos vectores (líneas de color) trazados entre las personas. A

la derecha se observa la lectura del vector trazado sobre el ancho de la calle. A continuación se tiene la Ilustración de la ubicación de las personas, fotógrafo y medidas correspondientes en la experiencia en representación vectorial

Sobre cada longitud a verificar se obtuvieron cinco mediciones sobre la aplicación mediante el trazado de vectores y la técnica indicada anteriormente.

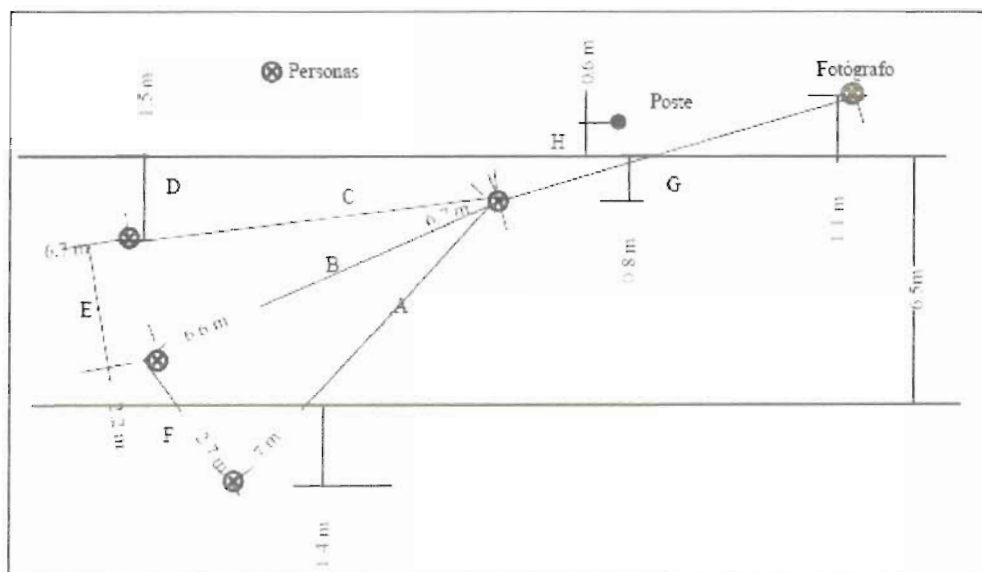


Figura 35. Ilustración de ubicaciones mediante trazado vectorial

Tabla XVI. Valores medidos por el trazado de vectores, su media y error

Medidas	de A	de B	de C	de D	de E	de F	de G	de H
	11.9	9.7	9.2	2.2	3.7	5	1.2	0.6
	12.9	9.7	9.3	2.2	3.4	4.6	1.1	0.6
	12	9.5	9.2	2	3.4	4.7	1.1	0.6
	13	9.5	8.9	2.2	3.6	4.6	1.2	0.6
	12.7	9.7	9.1	2.2	3.2	4.6	1.2	0.6
Media	12.5	9.62	9.14	2.16	3.46	4.7	1.16	0.6
Error Tipo	0.23	0.05	0.06	0.04	0.08	0.07	0.02	0

Verificadas las medidas de las fotografías y teniendo en cuenta las mediciones que se recogieron del escenario de la experiencia, la cual se considera como la real; se computaron las siguientes desviaciones de las primeras con relación a las segundas las cuales se pueden observar en la siguiente Tabla comparación entre la medida real, la media su desviación correspondientes, para la primer experiencia.

Tabla XVII. Comparación de medidas de fotografías reales y software.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Media Real	10	10	10	2,2	3,3	4	1,2	0,6
Media Medida	12,5	9,62	9,14	2,16	3,46	4,7	1,16	0,6
Desviación (%)	25	4	9	1	1	7	1	0

4.6. La estadística en la investigación de accidentes viales

La última idea que se tiene de la estadística, es esa “cosa” que utilizan los científicos para tratar de obtener alguna conclusión sobre los resultados de sus mediciones. En general, no se piensa que en la práctica de investigar accidentes de tránsito; además, hace falta “saber sobre estadística”. Erróneamente se puede llegar a creer que los resultados, de cálculos, desarrollados para determinar parámetros físicos de un accidente, como por ejemplo la velocidad de un vehículo; serán más preciso cada vez que se consideran más “decimales después de la coma” en la calculadora. Estas ideas podrían ser comparadas como creencias no aplicables a la accidentología, nada más lejos de una actividad científica, es la de pensar que para investigar la mecánica de los accidentes, se puede prescindir de la estadística. Esta, es una herramienta indispensable para el análisis físico de los accidentes de tránsito que se debe conocer.

La precisión, en términos de resultados numéricos de parámetros físicos en toda reconstrucción analítica de accidentes de tránsito, erróneamente puede ser considerada como el hallazgo de un único número para cada parámetro a estimar, independientemente de la verosimilitud o grado de alcance del modelo físico empleado en el estudio de una colisión; todo proceso analítico en la reconstrucción; opera numéricamente con parámetros físicos. Y estos parámetros físicos no son, en su mayoría, identificados perfecta y realmente para las colisiones que se pretendan investigar. Todo lo contrario; una gran cantidad de parámetros son conocidos “aproximadamente”, y dicha “aproximación” es en realidad una incertidumbre acotada.

Reconocer que “se sabe cuánto vale un parámetro aproximadamente”; es reconocer que se tiene un conocimiento (fundado o no) de entre qué y que valor puede adjudicarse al parámetro; el cual se convierte por esta cualidad, en una variable. Las variables son parámetros cuya incertidumbre están delimitadas por un entorno de valores que tiene una cierta probabilidad de ocurrencia.

Si reconstruir la mecánica de los cuerpos que colisionan en un accidente de tránsito, solo requiriera del manipuleo numérico de una única variable; la cuestión sería mucho más sencilla y se podría “arriesgar sin tanto riesgo” un resultado. Sin embargo, se sabe que esto no es así. Y además se sabe que se trabaja con un conjunto de variables que deben ser tratadas numéricamente, para obtener resultados sobre la dinámica de la colisión.

Una valoración crítica al trabajo de analizar la física de una colisión entre vehículos o vehículos y peatones/objetos; permite ver que se debe trabajar con un conjunto de

variables a las cuales se les asigna valores que se cree son “aproximados”. ¿Aproximados a qué?, bueno, son aproximados a un valor ideal el cual se cree o se supone debe ser así. Decidir cuál era el peso de uno de los vehículos de una colisión a analizar (ej. un sedan), es una cuestión que normalmente se resuelve mirando la ficha técnica del mismo vehículo y agregándole el peso promedio de un sujeto o de más, según la cantidad de ocupantes en el mismo; suponiendo que no hay cargas adicionales. El valor que se le asigne a esta variable, teniendo en mente que no es el real y que en realidad es un valor “aproximado”. Es interesante analizar que pasa en la cabeza del investigador. Porque éste cree que su número se adjudica a un valor que se “aproxima” al valor real del peso del vehículo. Lo irónico es que nunca sabrá que tan “aproximado” está del valor real; sencillamente porque no se conoce.

Un investigador con criterio, prudente, va a reconocer esta limitación e intentará solucionarlo fijando límites a su incertidumbre. Como no se sabe “que tan aproximado” es el valor que se le adjudica a esta variable (peso del sedan), entonces lo que se intenta hacer es fijar “que tan lejos” se puede estar de dicho valor. Se conoce que el sedan no puede tener el mismo peso de una motocicleta y que tampoco puede tener el mismo peso de un camión. Con este criterio, cualquier valor comprendido entre el peso de una motocicleta y el peso de un camión, se “aproxima” al peso del sedan en cuestión. Por supuesto que los extremos de la incertidumbre, tomada como ejemplo, son muy groseros; pero es válido el mismo para representar las diferencias visiblemente.

Se puede mejorar el criterio y pensar que el sedan no puede ser más liviano que el mismo vehículo estándar en vacío; y al mismo tiempo no puede ser más pesado que cuando soporta su carga máxima. Si se consideran estos valores extremos; ej. 950 kg y 1250 kg, la idea de que el vehículo no pesa exactamente 950 o, 1250 kg, que parece ser muy coherente, pero tiene origen absoluto en la subjetividad; sentido común si lo que llamar de alguna manera. Por ello, normalmente se arriesga en decir que el vehículo “pesaba 1100kg”; donde 1100 es un valor central. Es interesante observar que a pesar de que, con un muy buen criterio, se puede acotar la incertidumbre de la variable, muchas veces se puede decidir cuál es el valor a emplear en los cálculos, basados únicamente en la subjetividad o en el sentido común.

La estadística, en el mejor de los casos, tratará de eliminar o minimizar, esa cuota de subjetividad. Algunas preguntas son validas de realizarlas respecto a esta situación.

¿El sedan, tiene la misma oportunidad de pesar cualquier valor entre 950 y 1250kg?

¿Habrá algún valor entre 950 y 1250kg que se ajuste más al peso real del vehículo?

¿Cómo se reconoce ese valor?

¿Qué tan grande es la incertidumbre, y cómo esta puede repercutir en la verosimilitud de los resultados?

Seguramente, encontrar las respuestas a estas preguntas colocará al especialista en la posición de adoptar decisiones más objetivas en el análisis, y tal vez pueda hallar

algunas de estas respuestas utilizando algunas herramientas que nos ofrece la Estadística.

Si la situación que se plantea, no parece lo necesariamente motivan para adentrarse en el estudio de la estadística, se puede plantear otro problema. La masa del sedan no es la única variable de la cual no se conoce muy bien su valor; aunque como se dice, se puede discutir con algunos fundamentos los valores extremos que puede tomar.

El problema que se reflejar aquí, se refiere al empleo de varias variables que podrán estar acotadas o no, en los cálculos rutinarios del análisis físico de una colisión.

No es única la incertidumbre; todo lo contrario se debe lidiar con varias de ellas.

Si no es posible realizar ensayos sobre la unidad colisionada, la adherencia es otra variable.

Es interesante hacerse algunas interrogantes.

Si en los cálculos utilizamos valores para cada variable, las que suponemos se aproximan a un valor real; ¿no es el resultado, una mera aproximación del parámetro que se quiere hallar?

Si el resultado es una aproximación, ¿cómo se sabe que tan aproximado esta?

¿Cómo se puede informar de un valor único de un parámetro, si no se sabe si existe otro mejor valor, más próximo al valor real?

Suponiendo que un vehículo A cuya masa está entre 950 kg y 1250 kg colisiona linealmente a otro vehículo B, inicialmente en reposo y cuya masa se sabe se estimado la velocidad (5m/s) del conjunto formado por ambos vehículo (que no se separaron) después de la colisión, se intenta conocer cuál es la velocidad del vehículo A, justo antes del impacto. Pero además se intenta realizar alguna estimación para poder conocer el grado de incertidumbre de los datos que vamos a utilizar.

Se discuten los valores más “justos” para cada valor de masa de los vehículos y no hay acuerdo. Por esta razón hay tres opiniones y por ende, tres valores posibles de adjudicar a cada vehículo.

Asignando la letra “x” e “y” para referirse a los distintos valores de masa de los vehículos A y B respectivamente.

Las columnas muestran los valores propuestos para ser empleados, los valores centrales son los que usted escoge o bien los promedios.

$$x = \begin{pmatrix} 950 \\ 1100 \\ 1250 \end{pmatrix} Kg, \quad y = \begin{pmatrix} 900 \\ 1000 \\ 1150 \end{pmatrix} Kg$$

En primer lugar se debe encontrar alguna medida que muestre que tan grande es la diferencia entre los pesos.

La varianza de las variables puede ayudar. Esta medida estadística, es un parámetro que da una buena idea del grado de dispersión que hay dentro de un conjunto acotado de valores.

La varianza, promedia todos los desvíos cuadráticos entre cada valor de un conjunto numérico, respecto de algún otro valor escogido como representativo del conjunto. Aquí supondremos que los valores que se escogieron, son los más representativos de los conjuntos de interés.

$$S(x)^2 = \frac{\sum(x-1100)^2}{3} \qquad S(y)^2 = \frac{\sum(y-1000)^2}{3} \qquad \mathbf{36.}$$

$$S(x)^2 = 15000 \text{ Kg}^2, \qquad S(y)^2 = 25000 \text{ Kg}^2$$

Las Ec. 36 computan el promedio de los cuadrados de los desvíos entre cada propuesta de masa, respecto del valor escogido (1100kg y 1000kg para los vehículos A y B respectivamente).

La unidad del valor encontrado se expresa en la misma unidad de la variable original, pero al cuadrado.

Para terminar de conocer ahora, la medida que puede dar idea de la diferencia se obtiene el coeficiente de variación de cada variable. Esta es una medida que trata de explicar porcentualmente, cuanto desvío promedio hay en el valor central escogido como valor representativo del conjunto de valores posibles.

$$C(x) = \frac{\sqrt{S(x)^2}}{1100 \text{ Kg}} = 11.1\%, \qquad C(y) = \frac{\sqrt{S(y)^2}}{1000 \text{ Kg}} = 15.8\%$$

Esto quiere decir que al escoger el valor de 1100kg para el vehículo A, el resultado discrepa, en promedio, un 11% de ese valor. Toda opinión distinta a la de 1100 (pero

contenida en el intervalo 950-1250), discrepa en promedio un 11%. Para el caso del vehículo B, la diferencia es de un 16% del valor que escogimos (1000 kg).

¿Cuál será ahora, el grado de incertidumbre del valor de la velocidad del vehículo A, justo antes del impacto?, ¿Será igual a la incertidumbre de los datos que vamos a utilizar en el cálculo, o será mayor?

Es posible encontrar un valor de dicha velocidad utilizando los valores centrales o mejor dicho, los valores que se consideran son más representativos.

$$v = \frac{5m/s(1100-1000)Kg}{1100Kg}, \quad v = 9.5m/s \quad 37.$$

La Ec. 37, nos muestra el valor inferido de la velocidad del vehículo A, justo antes del impacto.

Se puede pensar que para conocer la incertidumbre del resultado, bastará con hacer el mismo cálculo de la ecuación 37, utilizando los valores de cada uno de los datos. Así por ejemplo, si se emplean los valores más bajos de la masas de cada vehículo, entonces encontraremos el valor más bajo de la velocidad del vehículo A; y si utilizamos los valores más altos de la misma variables, se calcula el valor más alto de la velocidad del vehículo. Al hacer la comprobación se comprueba de lo errático de esta idea.

Aquí se muestran los resultados.

$$v = \frac{5m/s(950+900)Kg}{950Kg}, \quad v = \frac{9.7m}{s} \quad 38. a$$

$$v = \frac{5m/s(1250+1150)Kg}{1250Kg}, \quad v = 9.6m/s \quad \mathbf{38. b}$$

¿Notable no?

Ambos valores son superiores al valor encontrado en la ecuación 37, ahora se pudiera pensar que todos los valores posibles se encuentran entre 9.5 m/s y 9.7 m/s; pues ya se consideraron los “casos extremos”. Sin embargo, que pasaría si se tratan de tomar el valor de la masa del vehículo A de 950kg, pero el del vehículo B es de 1150 kg. ¿Se podría asegurar que esta nueva combinación posible arrojará un valor comprendido ya, entre 9.5 y 9.7 m/s? Haciendo los cálculos.

$$v = \frac{5m/s(950-1150)Kg}{950Kg}, \quad v = 11.1m/s \quad \mathbf{39.}$$

¿Sigue asombrando, no?

Como a esta altura se debe ya dudar de todo, se procede a calcular el caso inverso al anterior.

$$v = \frac{5m/s(1250+950)Kg}{1250Kg}, \quad v = 8.6m/s \quad \mathbf{40.}$$

Muy bien, ahora ya se sabe que existen otros valores posibles que están más allá del rango entre 9.5 y 9.7m/s, el cual se creía correcto.

En la mayoría de los dictámenes periciales no hay mucho cuidado en la valoración de la incertidumbre de los resultados. Se acostumbra a proporcionar números, sin saber muy bien que tan confiables o probables pueden ser los resultados de los cálculos.

Esto es lo más importante, por lo tanto se debe hacer un análisis estadístico para cada situación y no tener parámetros establecidos.

CAPÍTULO V

5. Las consecuencias jurídicas de un accidente automovilístico

En este capítulo, que es la parte medular de este trabajo de tesis, se tratará de entender la responsabilidad jurídica, tanto del actor como del demandado, en un accidente vial y para ello se inicia por definir ciertos términos relativos a los accidentes viales.

5.1. Adecuación jurídica de los accidentes automovilísticos

Un accidente automovilístico puede someterse a las normas de negligencia o de responsabilidad del producto. Una persona es considerada negligente si no procede con cuidado razonable según las circunstancias en el momento del accidente. Algunos motivos comunes de negligencia en un accidente automovilístico son conducir con exceso de velocidad, cambiar de carril de manera insegura, pasar por alto una señal de alto o una luz roja y conducir sin hacer caso a las condiciones climáticas.

Si se declara que una persona es negligente, es posible que ésta (o la compañía de seguros) esté obligada a pagar una indemnización por una serie de daños a la parte lesionada, como daños patrimoniales, gastos médicos, salarios perdidos, dolor y sufrimiento y angustia psíquica.

Los abogados que se especializan en casos de accidentes automovilísticos determinan cuáles son los daños por los cuales puede obtenerse una recuperación.

Una persona que resulta lesionada en un accidente automovilístico no sólo puede iniciar una demanda por negligencia contra la otra parte, sino también una por responsabilidad del producto contra el fabricante del automóvil. Un abogado que se especializa en casos de defectos del vehículo, entiende esta área compleja del derecho.

Una cuestión muy importante después de un accidente es la ley de prescripción, es decir, el tiempo que la parte lesionada tiene para entablar una demanda. En la mayoría de los casos de lesiones personales, el tiempo es de dos o tres años. Consulte las leyes vigentes para determinar el período exacto permitido para entablar una demanda.

Los accidentes automovilísticos, incluso los de menor importancia, pueden resultar traumáticos. La atención médica y el asesoramiento legal son fundamentales tanto para recuperarse como para obtener la indemnización adecuada.

Para terminar esta parte, se enumeran algunos artículos de leyes atinentes a la legislación guatemalteca y su respectivo comentario

A pesar de que Guatemala cuenta con una amplia gama de legislación aplicable a conflictos relacionados con los accidentes viales: Constitución Política de la República de Guatemala, Decreto 2-89, Ley del Organismo Judicial; Decreto ley 106, Código Civil; Decreto 17-73, Código penal; Decreto ley 132-81, Ley de Tránsito; Acuerdo Gubernativo 499-97, Reglamento de Tránsito; Decreto ley 107, Código Procesal Civil; Decreto 51-92, Código Procesal Penal; Decreto 11-97, Ley de la Policía Nacional, y las leyes Orgánicas de las Empresas Reguladoras del Tránsito, entre otras, la diversidad

en que puede ocurrir un accidente hace que para poder encuadrar un accidente automovilístico a una determinada ley, se deba de recurrir a expertos en reconstrucción de accidentes de tránsito y a partir de las conclusiones de estos ,poder encuadrar el percance a una de las leyes vigentes y para ello es que hacemos un recuento de las leyes, y sus artículos, que más se encuadran a los accidentes más comunes que se dan en la Ciudad de Guatemala y las cabeceras departamentales donde éstos se dan:

Decreto ley 106, Código Civil:

Artículo 1651. Las empresas o el dueño de cualquier medio de transporte, serán solidariamente responsables con los autores y cómplices de los daños o perjuicios que causen las personas encargadas de los vehículos, aun cuando la persona que los cause no sea empleada de dichas empresas o del dueño del medio de transporte, siempre que el encargado de los vehículos se los haya encomendado, aunque fuere de manera transitoria.

Este artículo, es uno de los pocos en donde la legislación guatemalteca, comprenden lo relativo a los accidentes de automotores, aunque no habla nada de lo relativo a las penas.

Artículo 1652. La responsabilidad a que se refiere el artículo anterior, cesa si se comprueba que el damnificado hubiere dado lugar al daño o perjuicio resultante o cuando hubiere procedido con manifiesta violación de las leyes y reglamentos.

Aunque este artículo exime de la responsabilidad al causante, en la realidad esto es difícil de comprobar y siempre la responsabilidad del conductor.

Decreto 17-73, Código Penal:

Artículo 158.- Serán sancionados con multa de veinticinco a quinientos quetzales y prisión de dos a seis meses, quienes pusieren en grave e inminente riesgo o peligro la circulación de vehículos en cualquiera de las siguientes maneras:

Alterando la seguridad del tránsito mediante la colocación de obstáculos imprevisibles, derramamiento de sustancias deslizantes o inflamables, mutación o destrucción, total o parcial, de la señalización o por cualquier otro medio, o no restableciendo los avisos o indicadores de seguridad de la vía, cuando por circunstancias necesarias debieron ser interrumpidos o removidos

Decreto Ley 132-81, Ley de Tránsito

Artículo 1: de la ley. Para efectos de lo dispuesto por la presente ley por tránsito deben entenderse todas aquellas actividades relacionadas con la regulación, control, ordenamiento y administración de la circulación terrestre y acuática de las personas y vehículos, sus conductores y pasajeros, estacionamiento de vehículos, señalización, semaforización, uso de libas públicas, educación vial y actividades de policía, relacionadas con el tránsito en las vías públicas.

Artículo 3: Responsabilidad. Es responsabilidad de los conductores de los vehículos y, de todas las personas, sean peatones, nadadores o pasajeros, cumplir con las normas que en materia de tránsito establece la presente ley y normen sus reglamentos. En consecuencia, independientemente de las disposiciones que afecten la tenencia de

los vehículos, las sanciones deberán dirigirse también hacia el conductor responsable. En todo caso, cualquier sanción que afecte el vehículo, será responsabilidad solidaria del propietario del mismo y del conductor.

Artículo 43: Faltas y delitos. La autoridad de tránsito retendrá la licencia de conducir en los casos siguientes:

- a) Cuando el conductor se encuentre ebrio o bajo los efectos de drogas, estupefacientes o similares que limiten sus capacidades volitivas, físicas o mentales;
- b) Cuando se conduzca un vehículo cuyos documentos de identificación no porte el conductor o bien carezca de placa de circulación el vehículo; y
- c) Cuando se hayan producido lesiones a personas o daños a vehículos, con ocasión del tránsito. La autoridad de tránsito conducirá a la oficina de policía nacional más cercana al conductor, al vehículo ya la licencia para que ésta lo traslade a conocimiento del organismo jurisdiccional correspondiente.

Acuerdo Gubernativo 499-97, Reglamento de Tránsito

Artículo 104: Obligación de colaboración. Los usuarios de las vías que se vean implicados en accidentes de tránsito sin ser heridos; lo presenciaren o tengan conocimiento de él, estarán obligados a solicitar auxilio para las víctimas, si las hubiere, prestar su colaboración si es requerida para evitar mayores peligros o daños y restablecer, en la medida de lo posible, la seguridad de la circulación, y esclarecer los hechos.

Artículo 105: Normas de conducta para personas implicadas en un accidente de tránsito. Los conductores de vehículos y peatones implicados en un accidente de tránsito, si no resultaren ellos mismos con lesiones serias que requieran de atención inmediata, deberán proceder de la siguiente manera:

- Detenerse de forma que no se cree un nuevo problema para la circulación, encendiendo las luces de emergencia.
- Tomar las medidas necesarias mediante la señalización de emergencia triángulos reflectivos para evitar que ocurra otro accidente. Estas deberán apostarse en cada sentido desde el punto del accidente, en un lugar que permita a los otros usuarios de la vía reconocer el percance con la suficiente antelación; para poder reducir la marcha y extremar las precauciones.
- Los conductores de los vehículos implicados en un accidente de tránsito tendrán la obligación, en la medida de lo posible y si su salud lo permite, de retirar los residuos, las partes o cualquier otro material que se hubiera esparcido en la vía pública debido al accidente.

5.2. Consecuencias jurídicas de un accidente automovilístico

Los accidentes de vehículos de motor son responsables de muchos daños evitables y de muertes, cada año. Según las estadísticas actuales, los accidentes de tráfico matan a más de 500 de personas al año. Y lo que es peor, los accidentes de vehículos de motor se cree que son responsables de diez mil heridos anualmente. Muchos de estos accidentes, generan pérdidas cuando llega la hora de manejar la situación mucho tiempo después del accidente. Informes de la policía, el papeleo, el proceso de

recuperación en caso que haya lesiones, pueden terminar con la paciencia de la persona más tolerante. Cuando se trata de manejar este tipo de situaciones, el conocimiento es verdadero poder: si uno entiende el proceso de los accidentes, tanto antes como después, usted podrán sobrevivir a través de un duro calvario relativamente indemne.

¿Qué necesita saber un conductor acerca de un accidente de vehículos de motor? El conocimiento puede ser útil a todos cuando se trata de un accidente o el conductor debe simplemente esperar lo mejor. Después de la recuperación de una lesión, ¿qué sucede a continuación? En primer lugar el conductor puede beneficiarse de aprender a evitar accidentes en primer lugar. En segundo lugar, un conductor debe ser consciente de las consecuencias jurídicas que pueden producirse por un accidente. En tercer lugar, una profunda comprensión de la póliza de seguro es un deber- sabiendo exactamente lo que una póliza le cubre y qué es lo que no, pone al conductor en una mejor posición de planificación, en términos de determinar cómo manejar la situación. En esencia, la comprensión de todas las pólizas y los reglamentos, pueden poner al conductor en una posición de ventaja: si el conductor sabe exactamente qué hacer después de un accidente, habrá menos problemas para hacer frente y con menos estrés en el conductor o en la familia del conductor.

No cabe duda de que toda persona implicada en un accidente automovilístico va a tener que hacer frente a la ley en algún momento. Es importante que un conductor este plenamente consciente de las leyes existentes porque la ignorancia de la ley no es una excusa en un tribunal de justicia. En primer lugar, como se mencionó anteriormente, un

conductor nunca debe hacer ningún intento de abandonar la escena de un accidente, incluso si creen que está bien hacerlo. Además, esto va para todos los accidentes, si el vehículo está en un accidente con un coche o un objeto diferente como un árbol o una propiedad.

Cuando los accidentes de tráfico son malos, puede haber necesidad de un abogado para accidentes de coche. A veces se producen pleitos y las personas en los accidentes de coche, pueden meterse en causas penales, dependiendo de la causa del accidente.

Puede haber lesiones personales y los conductores pueden encontrarse responsables de las facturas médicas del dolor y del sufrimiento, por encima y más allá de su cobertura de seguro.

Un abogado para accidente automovilístico conoce los detalles de la ley y muchas veces se centran en determinados tipos de reclamos. Normalmente, un abogado para accidente automovilístico conoce todas las leyes relativas a la negligencia del conductor, la conducción bajo la intoxicación, el conducir bajo la influencia, falla mecánica, accidentes de peatones y pasajeros, y cosas por el estilo. Además, un abogado va a estar más que gustoso de participar en el caso de un reclamo por muerte ilegal

Un accidente automovilístico requiere que un abogado aborde todas las ramificaciones legales de un caso. Los abogados utilizan la tecnología para demostrar la inocencia del cliente, y puede ayudar a una víctima a explicar los sucesos que rodean el accidente en cuestión.

De hecho, los abogados pueden ayudar a las víctimas a obtener el dinero que merecen por el dolor y el sufrimiento que soportan por estar involucrados en un accidente.

Incluso si usted es responsable de un accidente, usted tiene el derecho a tener un abogado y usted también tiene la capacidad de garantizar que sus derechos sean protegidos. Tanto si se enfrenta a una violación menor de tráfico o que haya sido detenido por conducir bajo influencia, beber durante la conducción o conducción en estado de ebriedad, todavía tiene derechos en virtud de la ley. En cualquier caso, va a necesitar un abogado para accidente automovilístico para que lo asesore a usted de esos derechos.

Un abogado para accidente automovilístico puede aconsejarle de sus derechos, asegurarse de que sus derechos están contemplados y protegidos, e incluso representarlo en un tribunal de justicia.

Mientras tanto, usted puede buscar el abogado que se ocupe de las lesiones corporales y centrarse también en los reclamos al demandado. Haga lo que haga, no vaya solo si usted ha recibido por una multa o es detenido por una infracción.

Un abogado puede responder a sus preguntas y preocupaciones que le pueden ayudar a crear una estrategia para que usted pueda salir lo mejor posible del problema en que está. Usted puede ser capaz de reducir la pena, o reducir el número de puntos que le den en su licencia. En la mejor de los casos, si se trata de una infracción leve, puede ser capaz de reducir al mínimo la multa o conseguir que el billete sea tirado fuera de los tribunales con un abogado que le de asistencia

Los abogados, por supuesto, varían en términos de costo. Cuanto más especializado sea un abogado, es probable que sea más alta su tarifa por hora. Usted puede encontrar algunos abogados que están dispuestos a proporcionarle una consulta gratuita. En cualquier caso, es una buena idea sacar provecho de dicha oferta: un abogado puede asesorarle a usted de su posición legal y la manera de rectificar la situación.

Como se observa en nuestra legislación, no existe legislación apropiada para el tema que se analiza en el presente trabajo, esto hace necesario generar iniciativas de ley para llenar este vacío.

La legislación necesaria para encuadrar las consecuencias jurídicas de los implicados en un accidente de tránsito, debe de formularse de manera conjunta por abogados, expertos en la materia, físicos forenses, químicos forenses y toda persona relacionada con el tema, hasta considerando la actuación del notario cuando las partes lleguen a un acuerdo entre las mismas. Todo esto implica que la generación de una que tipifique los accidentes automovilísticos, (los cuales ya son el pan nuestro de cada día, en la Ciudad capital, como en los municipios aledaños), comprenda todos los aspectos de los mismos



CONCLUSIONES

1. Las consecuencias físicas que se toman en cuenta para la determinación de la responsabilidad en un accidente automovilístico son: la velocidad, la masa del vehículo incluyendo la de sus ocupantes, la conservación del momentúm lineal, la conservación de la energía, la fricción, el momento de inercia.
2. Las evidencias físicas que se recolectan en el lugar del accidente automovilístico que sirven para determinar la responsabilidad son: marcas de las frenadas, la deformación de los vehículos, la planimetría del terreno, la posición final de los vehículos.
3. Las evidencias físicas que se encuentran en el lugar del siniestro sirven de base para hacer simulaciones matemáticas y determinar la responsabilidad del accidente, esta responsabilidad no se puede presentar en datos puntuales, sino en rangos de probabilidad.
4. La Ley de Tránsito no contempla procedimientos adjetivos para la aplicación de responsabilidades, sólo nos podemos remitir al Artículo 30 que señala violaciones generales a dicha Ley.
5. En Guatemala, no existe legislación vigente para los casos de accidentes automovilísticos, considerando, como prueba pericial, las consecuencias físicas del mismo.





RECOMENDACIONES

1. Para determinar con plena certeza la responsabilidad en un accidente automovilístico, instituciones como el Instituto Nacional de Ciencias Forenses, El Ministerio Público, deben implementar programas de capacitación a instituciones como la Policía Nacional Civil y la Policía Municipal de Tránsito en la recolección de evidencias físicas.
2. Se debe recomendar a instituciones como el Instituto Nacional de Ciencias Forenses y el Ministerio Público hacer estudios más serios en la planimetría del terreno cuando se recolectan pruebas, así como modelos informáticos y la fotogrametría digital, para poder concluir con certeza al momento de realizar el dictamen de un accidente vial.
3. Los órganos jurisdiccionales, deben valorar como plena prueba los parámetros dados en el peritaje del estudio físico-matemático de las pruebas en un accidente vial.
4. Que el Congreso de la República de Guatemala realice las reformas a la Ley de Tránsito para que ésta tipifique las responsabilidades en un accidente automovilístico, para sancionar a los infractores
5. Solicitar al Instituto Nacional de Ciencias Forenses, (INACIF) que capacite a personal en el área de Accidentología, para la determinación veraz de todos los factores que se generan en el momento de un accidente.





BIBLIOGRAFÍA

- ALBA J, Enciso Gustavo A. **Diversas aplicaciones de las integrales dobles en el cálculo del área de deformación de un vehículo.** Argentina: (s.e.), 2001.
- BEAUX ARMANDO. **Estudio y realización de levantamientos de los lugares donde han ocurrido accidentes de tránsito.** México: Ed. MacGraw Hill. 1ª ed. 2004
- BLANCO, Adrián O, ENCISO Gustavo A: **Innovar para sobrevivir.** Argentina: Ed. MacGraw Hill, 2007.
- CAMPOS LUCERO ROBINSON, WHARD DANIEL CARLOS Y GALEA ARANCIBIA CATALINA. **Estudio sobre los coeficientes de fricción entre los neumáticos y el pavimento, bajo diferentes circunstancias.** España. Ed. Reverté. 2ª ed, 2006
- CUSTIDIANO Ernesto y ENCISO Gustavo: **Propagation of the error in the estimate of the speed off circulation of a vehicle for lost off kinetic energy.** Argentina. (s.e.), 2004
- ENCISO Gustavo A: **Una consideración en 3D de los modelos lineales de deformación.** Argentina: (s.e.), 2006
- ENCISO, Gustavo A y GODOY Natalia: **Obtención de longitudes en el plano de una escena fotografiada mediante la emulación de una cámara virtual,** Argentina (s.e.), 2005.
- FREIDIN, DOBRINSKY, BROWN & ROSEMBLAUN, P.A.: **Recomendaciones de la oficina de asesoría legal sobre accidentes automovilísticos.** Pág. 28, Miami Herald (Estados Unidos). Año 71, No 25,702 (jueves 08 de junio de 2006)
- FLORES ESTRADA INGRID MARISOL: **Determinación de la responsabilidad en un accidente automovilístico, por medio de principios físicos.** Tesis Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala 08 T (1121). Guatemala (s.e.), 2008 Págs. 31-42
- GARAVITO JUAN CARLOS: **Conversión de energía cinética en energía de deformación en un accidente automovilístico.** Tesis Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala 08 T (811). Guatemala (s.e.), 1998. Pág. 61



JOUTTE, André. **Dictionnaire d'Orthographe et d'Expression Écrite** Diccionario de Ortografía y de Expresión Escrita 13ª edición, Francia: (s.e.), 1976.

LANDAU P. David, BINDER Kurt: **A guide to montecarlo simulation in statistical physics**. 2ª edición; Gran Bretaña: Ed. Cambridge University Press, 2000

MARTÍNEZ, Ernesto N: **Accidentes viales y la mitología del choque**. Argentina: (s.e.), 2006

MONTENEGRO, Ángel, ENCISO, Gustavo A: **Dinámica con roto traslación de vehículos en la reconstrucción de accidentes viales**. Argentina: (s.e.), 2008.

OLIMPIA ANDRÉS, RAMOS GABINO, SECO MANUEL: **Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española**, RAE. España: 22 Edición, 1998

PAZ ARRIOLA, José Antonio. **Los accidentes de tránsito en la legislación penal guatemalteca**. Tesis Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, universidad de San Carlos de Guatemala. 04 T (1883). Guatemala: (s.e.), 1.998 Págs. 51

POLICIA NACIONAL CIVIL. **Oficina de divulgación comisaría 13 Policía Nacional Civil**. Estadísticas sobre accidentes automovilísticos. Guatemala: (s.e.), 2013

RUEDA GARCÍA, Rosa: **El Arresto domiciliario para menores de edad causantes de accidentes de tránsito**. Tesis Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, universidad de San Carlos de Guatemala, 04 T (4760). Guatemala: (s.e.), 2004. Págs. 26 – 27

SERWAY Raymond A y JEWETT John W: **Física para las ciencias y la ingeniería**. México.6ª edición, Editorial Thompson, 2005

SOLÍS Ovalle, René Eduardo. **La detención domiciliar por accidentes de tránsito, según el código penal**. Tesis Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de San Carlos de Guatemala, 04 T (798). Guatemala: (s.e.), 2004, Págs. 38 – 39

STEWAR James. **Cálculo multivariable, trascendentes tempranas**, Tomo II. México, 6ª Edición Ed. Cengage Learning, 2008