

MARCO AURELIO  
AVELLANEDA CESPEDES

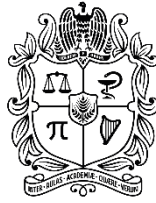
---

# FÍSICA FORENSE: MODELOS FÍSICOS DE RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO (RAAT) – ACCIDENTOLOGÍA VIAL

Tesis de Maestría en Ciencias – Física







UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**FÍSICA FORENSE: ESTUDIO DE MODELOS  
FÍSICOS DE RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE  
ACCIDENTES DE TRÁNSITO (RAAT) APLICADOS  
EN PROCESOS DE RESPONSABILIDAD PENAL,  
CIVIL Y ADMINISTRATIVA**

**Marco Aurelio Avellaneda Cespedes**

Ing. Físico

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Física y Química  
Manizales Caldas, Colombia  
Año 2022

# **FÍSICA FORENSE: ESTUDIO DE MODELOS FÍSICOS DE RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO (RAAT) APLICADOS EN PROCESOS DE RESPONSABILIDAD PENAL, CIVIL Y ADMINISTRATIVA**

**Marco Aurelio Avellaneda Céspedes**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:  
**Magíster en Ciencias - Física**

Ph.D. Luis Fernando Mulcúe Nieto

**Director**

Línea de investigación

Física Forense - Accidentología Vial

Grupo de Investigación:

**Propiedades Ópticas de los Materiales (POM)**

**Semillero de Física Forense**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Física y Química  
Manizales, Colombia

2022

## **DEDICATORIA**

*A Sarita y Luci. Mi vida entera.*

*A Bibi, Tati , Maggie*

*A mis padres Luz y Marcos*

*A Álvaro y toda mi familia*

*A Carlos, mi mentor en la Física.*

*A Leo, Manuel y Alirio por apoyarme e inspirarme para avanzar en la vida.*

*A Nicolás , Fabio, Sebastian P. Por ser grandes amigos.*

*A Rodrigo, Andrés y Jaime, por creer en mi incondicionalmente desde el primero momento.*

*A Rosa Elvira Moreno. Mi ángel eterno.*

*A todo aquel que haya perdido un ser querido a causa de un accidente de tránsito, o un hecho de tránsito le haya cambiado la vida.*

*Caminante no hay camino,  
Caminante son tus huellas  
El camino y nada más;  
Caminante no hay camino,  
Se hace camino al andar.  
Al andar se hace el camino  
Y al volver la vista atrás  
Se ve la senda que nunca  
se ha de volver a pisar.  
Caminante no hay camino  
Sino estelas en el mar.*

**Antonio Machado**

## **Agradecimientos**

A Dios, porque sin importar que por todos los medios a mi alcance hubiera intentado negarme a su existencia, siempre hubo una razón más fuerte para creer. Me habló desde la Física.

A mis dos hijas Sara Gabriela y Luciana por ser mi más grande inspiración y ayudarme a recomponerme en cada caída. Por ayudarme a entender el sentido de la vida, desde su infinita dulzura y sutil forma de hacerme el hombre más feliz del mundo.

A Carlos, Leonardo y Luis Fernando, grandes académicos y amigos por su apoyo incondicional en la dirección de este trabajo. A Iván y Wilmer, mis mejores amigos. A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y el grupo Propiedades Ópticas de los Materiales, especialmente a mis colegas y estudiantes del semillero de Física Forense por su respaldo y aportes.

A Ejip S.A.S. Por proporcionar el uso de la licencia de software de reconstrucción analítica de accidentes de tránsito en 3D, algunos casos de estudio de esta tesis y darme la oportunidad de que florecieran mis conocimientos en el ámbito judicial en accidentes de tránsito reales y aplicados en calidad de Perito.

A Mónica Bedoya de Pericia y Justicia S.A.S. y al equipo de C.S.I. Confuturo S.A.S., por apoyar la iniciativa del semillero de Física Forense.

## **GLOSARIO**

**AT** - Accidente de tránsito

**HT** - Hecho de tránsito

**RAT** - Reconstrucción de Accidente de tránsito

**RAAT** - Reconstrucción Analítica de Accidente de Tránsito

**EMP Y EF** - Elementos Materiales Probatorios y Evidencia Física

**SI** - Sistema Internacional

**Fig.** - Figura

**Tab.** - Tabla

**Ec.** Ecuación

**Rad.** Radicado

### **Análisis dimensional :**

[L] Longitud

[T] Tiempo

[M] Masa

**Figs.** Figuras



**Tab. 0. MAGNITUDES MÁS USADAS EN RAAT - SI**

<b>Magnitud</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad del SI</b>
Posición	$x$	Metro (m)
Velocidad	$v$	Metro por segundo ( $m/s$ )
Aceleración	$a$	Metro por segundo cuadrado ( $m/s^2$ )
Tiempo	$t$	Segundo (s)
Masa	$m$	Kilogramo (kg)
Fuerza	$F$	Newton (N)
Coefficiente de fricción estática	$\mu_s$	Adimensional
Coefficiente de fricción cinética	$\mu_k$	Adimensional
Peso	$w$	Newton (N)
Energía cinética	$KE$	Julio (J)
Energía potencial	$PE$	Julio (J)
Trabajo	$W$	Julio (J)
Distancia de frenado	$d_f$	Metro (m)
Fuerza normal	$F_N$	Newton (N)
Fuerza de fricción estática	$F_{fe}$	Newton (N)
Fuerza de fricción cinética	$F_{fd}$	Newton (N)
Coefficiente de restitución	$e$	Adimensional
Momento lineal	$p$	Kilogramo metro por segundo (kg·m/s)
Aceleración centrípeta	$a_c$	Metro por segundo cuadrado ( $m * s^2$ )
Radio de curvatura	$r$	Metro (m)
Fuerza centrípeta	$F_c$	Newton (N)
Velocidad angular	$w$	Radián por segundo (rad/s)
Aceleración angular	$\alpha$	Radián por segundo cuadrado (rad/s <sup>2</sup> )
Momento de inercia	$I$	Kilogramo metro cuadrado (kg * m <sup>2</sup> )
Torque	$\tau$	Newton metro (Nm)

## TABLA DE CONTENIDO

<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>■CAPITULO 1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS FUNDAMENTALES .....</b>	<b>24</b>
<b>■CAPITULO 2. MODELOS FÍSICOS DERIVADOS Y DISTINTOS DEL DE TRABAJO SIMPLE POR FRICCIÓN PARA CÁLCULO DE VELOCIDAD .....</b>	<b>42</b>
<b>■CAPITULO 3. MODELOS FÍSICOS APLICADOS. CASOS DE PROCESOS DE RESPONSABILIDAD PENAL Y CIVIL .....</b>	<b>65</b>
<b>3.1 CASOS EN EL ÁMBITO PENAL .....</b>	<b>66</b>
~ CASO DE ESTUDIO A: Rad. 170016000060202103251 decisión de segunda instancia, lesiones personales culposas. ....	66
□ <b>1A. DECISIÓN JUDICIAL.....</b>	<b>66</b>
□ <b>2A. CONCEPTO PERICIAL .....</b>	<b>72</b>
~ CASO DE ESTUDIO B: Rad. 177776109614201680442, decisión de primera instancia, lesiones personales culposas. ....	84
□ <b>1B. DECISIÓN JUDICIAL.....</b>	<b>84</b>
□ <b>2B. CONCEPTO PERICIAL INFORMAL.....</b>	<b>91</b>
<b>3.2 CASOS EN EL ÁMBITO CIVIL.....</b>	<b>92</b>
~ CASO DE ESTUDIO C: Rad. 17001-31-03-003-2020-00185-00, responsabilidad civil extracontractual, homicidio culposos. ....	92
□ <b>1C. DECISIÓN JUDICIAL.....</b>	<b>92</b>
□ <b>2C. CONCEPTO PERICIAL .....</b>	<b>104</b>
~ CASO DE ESTUDIO D: Rad. 170013103005-2021-00100-00, responsabilidad civil extracontractual, lesiones personales culposas. ....	136
□ <b>1D. DECISIÓN JUDICIAL.....</b>	<b>136</b>
□ <b>2D. CONCEPTO PERICIAL. ....</b>	<b>140</b>
<b>■CAPÍTULO 4. CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA SELECCIÓN ADECUADA DEL MODELO FÍSICO.....</b>	<b>176</b>
<b>■GENERALIDADES DE LA PRUEBA PERICIAL DE RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO (RAAT) EN EL PROCESO DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>182</b>
<b>■PRODUCTOS ASOCIADOS .....</b>	<b>185</b>
<b>■Referencias bibliográficas.....</b>	<b>190</b>

## RESUMEN

### **FÍSICA FORENSE: ESTUDIO DE MODELOS FÍSICOS DE RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO (RAAT) APLICADOS EN PROCESOS DE RESPONSABILIDAD PENAL, CIVIL Y ADMINISTRATIVA**

En Colombia, los accidentes de tránsito representan la segunda causa de muerte violenta, siendo el exceso de velocidad un factor común en estos incidentes. En este trabajo, se evaluó la aplicabilidad de diversos modelos físicos, incluyendo variantes del modelo de trabajo simple por fricción, para calcular la velocidad en accidentes de tránsito. Se seleccionaron cuatro casos de estudio, dos civiles y dos penales, y se utilizó un enfoque cualitativo para comprender las causas subyacentes y las dinámicas complejas de cada situación.

Es importante destacar que la Administración de Justicia es responsable de dirimir todas las circunstancias analizadas en el proceso de responsabilidad. En algunos casos, se puede incorporar la prueba pericial de RAAT, la cual debe fundamentarse en un modelo físico adecuado. Sin embargo, algunos peritos y jueces pueden favorecer el modelo de trabajo simple por fricción por su uso cotidiano, costumbre o prejuicios, lo que puede afectar las decisiones judiciales.

Este trabajo propone una metodología completa para la selección adecuada de modelos físicos para casos específicos, utilizando el método científico y los criterios Daubert de la Corte Suprema de los Estados Unidos, así como las reglas de la Sana Crítica. Estas recomendaciones ayudarán a los peritos y jueces a tomar decisiones informadas y precisas en cuanto a la selección del modelo físico adecuado para cada caso, lo cual es esencial para garantizar la justicia y la precisión en los procesos de responsabilidad en siniestros viales. En resumen, este trabajo aborda la importancia de seleccionar el modelo físico adecuado en la reconstrucción analítica de accidentes de tránsito para propender por decisiones informadas y que se adecúen al máximo con la realidad, en casos de responsabilidad.

**Palabras clave:** Colombia, accidentes de tránsito, velocidad, modelos físicos, Administración de Justicia, prueba pericial de RAAT, selección de modelos físicos, criterios Daubert, Sana Crítica, decisiones judiciales.

## **Abstract**

### **"FORENSIC PHYSICS: STUDY OF PHYSICAL MODELS FOR ANALYTICAL RECONSTRUCTION OF TRAFFIC ACCIDENTS (RAAT) APPLIED IN CRIMINAL, CIVIL, AND ADMINISTRATIVE LIABILITY PROCESSES."**

In Colombia, traffic accidents represent the second leading cause of violent death, with speeding being a common factor in these incidents. This study evaluated the applicability of various physical models, including variants of the simple friction work model, to calculate speed in traffic accidents. Four case studies, two civil and two criminal, were selected, and a qualitative approach was used to understand the underlying causes and complex dynamics of each situation. It is important to note that the administration of justice is responsible for resolving all circumstances analyzed in the liability process. In some cases, RAAT expert evidence can be incorporated, which must be based on an appropriate physical model. However, some experts and judges may favor the simple friction work model due to its everyday use, custom, or biases, which can affect judicial decisions. This study presents recommendations for the appropriate selection of physical models for specific cases, using the scientific method and the Daubert criteria of the US Supreme Court, as well as the rules of the Sana Critica. These recommendations will help experts and judges make informed and accurate decisions regarding the selection of the appropriate physical model for each case, which is essential to ensure justice and accuracy in liability processes in traffic accidents. In summary, this work addresses the importance of selecting the appropriate physical model in the analytical reconstruction of traffic accidents to ensure fair and accurate decisions in liability cases.

**Keywords:** Accidentology, physical models, simple friction work, speed, traffic accidents, model consistency.

**FÍSICA FORENSE: ESTUDIO DE MODELOS FÍSICOS DE  
RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO (RAAT)  
APLICADOS EN PROCESOS DE RESPONSABILIDAD PENAL, CIVIL Y  
ADMINISTRATIVA**

**OBJETIVO GENERAL**

Analizar la aplicabilidad de algunos modelos físicos distintos o derivados del modelo de trabajo simple por fricción para cálculo de velocidad ( $V_o = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$ ) en casos de Reconstrucción Analítica de Accidente de Tránsito a partir de 4 decisiones judiciales con su respectivo informe pericial.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.** Investigar bibliográficamente conforme a los *Procesos Penales de Radicados n° 17001600006020210325100 y 177776109614201680442* y los *Procesos Civiles de Radicados n° 17001-31-03-003-2020-00185-00 y 170013103005-2021-00100-00* cuáles han sido los modelos físicos (RAAT) más usados, distintos o derivados del modelo de trabajo simple por fricción en el cálculo de la velocidad a la que se desplazaba un vehículo antes del momento de la colisión.
- 2.** Caracterizar los modelos físicos hallados en las decisiones judiciales y algunos de la literatura científica distintos o derivados del modelo de trabajo simple por fricción en función del tipo de siniestro, identificando semejanzas y diferencias significativas.
- 3.** Determinar los criterios para seleccionar el modelo físico más adecuado según cada caso, con el fin de poder determinar la velocidad de desplazamiento de un vehículo comprometido en un hecho de tránsito.

## INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de accidentes de tránsito es un evento violento que puede tener lugar tanto en espacios públicos como privados, involucrando uno o varios vehículos y generando daño a personas o bienes. Entre ellos se encuentran colisiones entre vehículos, accidentes con peatones y con bicicletas, y cualquier otro evento que incluya un vehículo en movimiento.

La amplia gama de factores que pueden causar accidentes de tránsito, tales como la omisión de las normas de tránsito, la conducción temeraria, el exceso de velocidad, la fatiga del conductor, o el consumo de drogas o alcohol, entre otros, puede tener consecuencias graves para las personas implicadas, incluyendo lesiones, discapacidad y muerte.

El presente trabajo se enfoca en el análisis de los accidentes de tránsito ocasionados por el factor de la velocidad de desplazamiento de los vehículos, y en la evaluación de la aplicabilidad de modelos físicos derivados o diferentes del modelo de trabajo simple por fricción para calcular la velocidad ( $V_o = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$ )(Ec. 1)(2011 p.86).

La utilización de modelos físicos es imprescindible en los procesos de responsabilidad ante accidentes de tráfico, ya que permiten comprender el comportamiento de los vehículos y objetos en movimiento durante un accidente, lo cual resulta esencial para determinar las causas y la manera en que se desarrolló el siniestro. Además, estos modelos posibilitan hacer predicciones acerca del comportamiento de un vehículo en una determinada situación, lo que ayuda a identificar las posibles causas de un accidente.

El estudio de la accidentología vial en Colombia se inició en la década de 1960, cuando el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Seguros (INA) se asociaron para crear un sistema de registro y análisis de accidentes de tráfico en el país. Conforme ha aumentado la infraestructura y el número de vehículos en las carreteras, el estudio de la accidentología vial en Colombia se ha vuelto cada vez más relevante para reducir el número de accidentes y mejorar la seguridad vial en el país.

## CIFRAS DE ACCIDENTALIDAD

De acuerdo con las estadísticas de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV) en Colombia, durante el año 2021, se registraron 6.391 fallecidos en accidentes de tránsito, cifra que se incrementó a 7.201 en 2022, representando un aumento del 12,55%. Este fenómeno no discrimina la ubicación geográfica, afectando a víctimas a lo largo y ancho del territorio nacional.



Fig. A. Distribución geográfica de hechos de tránsito - Base de datos nacional de la ANSV - Enero de 2023

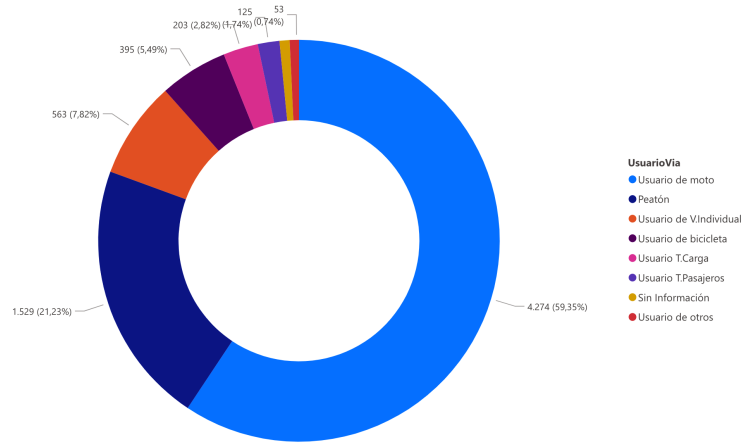


Fig. B. Distribución por tipo de actor vial - Base de datos nacional de la ANSV - Enero de 2023

Es importante destacar que los usuarios de la vía que se accidentan con mayor frecuencia en Colombia son los motociclistas, representando el 59,35% de las víctimas, seguidos de los peatones (21,23%) y los usuarios de vehículos individuales (7,82%).

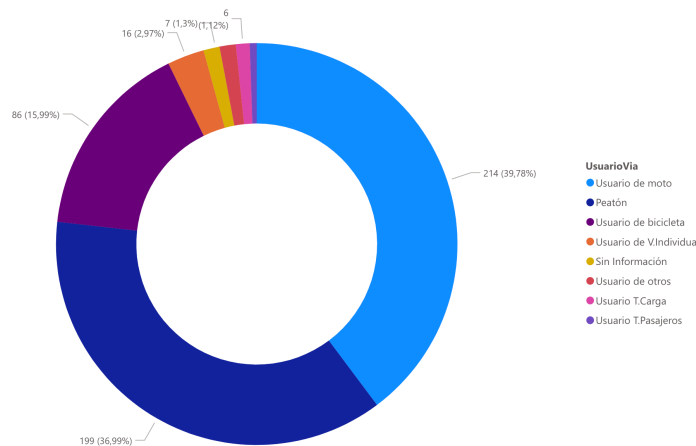


Fig. C. Distribución por tipo de actor vial - Base de datos distrital (Bogotá) de la ANSV - Enero de 2023

En Bogotá, capital del país, se registraron 434 muertes en 2021 y 538 en 2022, lo que representa un aumento del 23,96% según las cifras de la ANSV. En Manizales, los números también son preocupantes, con un aumento del 26,32% en las muertes por accidentes de tránsito entre 2021 (38 muertes) y 2022 (48 muertes), como se muestra en la gráfica proporcionada por la ANSV.

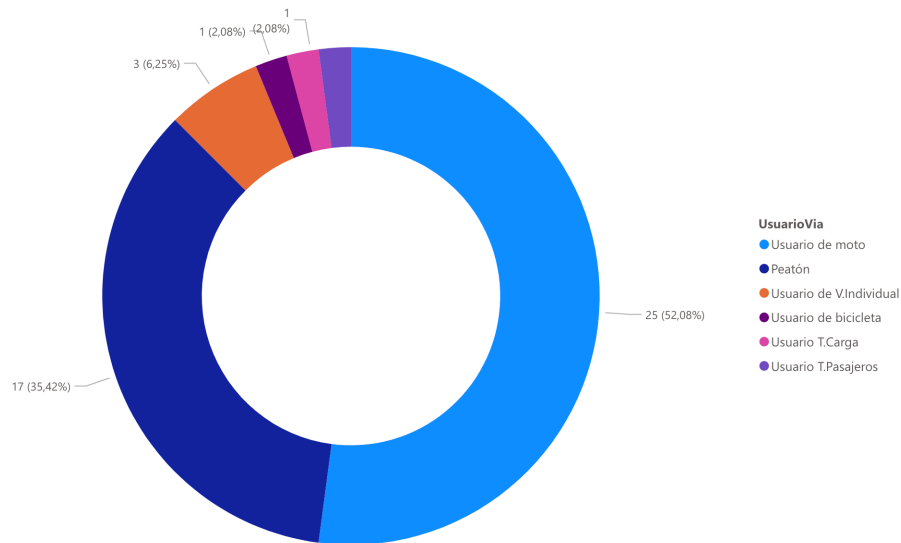


Fig. D. Distribución por tipo de actor vial - Base de datos - Manizales de la ANSV - Enero de 2023

La accidentalidad en Colombia es un tema de interés público debido a su alta tasa de pérdidas humanas por muerte violenta. En este sentido, es fundamental establecer la responsabilidad de los actores viales en la ocurrencia de los hechos de tránsito, y para ello se utilizan distintos tipos de evidencia física, entre los que destaca la Prueba Pericial de Reconstrucción Analítica de Accidente de Tránsito (RAAT), realizada por un experto en física, conocido como perito.

El modelo físico que emplea el perito para la reconstrucción del hecho de tránsito es determinante, ya que debe ser adecuado al accidente concreto objeto de investigación. Por esta razón, este trabajo tiene como objetivo analizar la aplicabilidad de diversos modelos físicos, distintos y derivados del modelo de trabajo simple por fricción, en cuatro casos reales seleccionados como objeto de estudio.



## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **FORMULACIÓN DEL ÁREA DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Uno de los mayores problemas de índole violenta que enfrenta el mundo, y en particular Colombia, son los accidentes de tránsito terrestre (AT), los cuales son cada vez más comunes debido al desarrollo tecnológico y al auge de la industrialización. Como resultado, el costo de producción de vehículos es cada vez más accesible y las personas se ven obligadas a utilizarlos para transportarse, asumiendo así un riesgo socialmente aceptado como lo es la conducción (redaccionportalweb, 2019)..

Por lo tanto, la preocupación de los Gobiernos Nacional, Departamentales y Municipales es muy alta debido a la gran cantidad de pérdidas de vidas humanas que se producen cada año a causa de estos siniestros. La inversión en programas de seguridad vial es una prioridad en los planes de gobierno, pero a pesar de ello, las cifras siguen incrementando.

Sin embargo, el problema no termina ahí. Cuando ocurre un Accidente de Tránsito (AT) y se reporta la muerte de una persona, el Estado tiene el deber de investigar las circunstancias que dieron origen al siniestro para atribuir responsabilidades y administrar justicia, evitando la impunidad. Esto se logra mediante un proceso de responsabilidad en el que interviene un juez de conocimiento, un fiscal como ente acusador y, para el acusado, un abogado que le ayude a ejercer su derecho de contradicción y defensa.

En la mayoría de los casos, los AT ocurren en fracciones de segundo, lo que genera confusión y en muchos casos, las personas involucradas en el siniestro no saben con exactitud lo que sucedió debido a la adrenalina, el susto y la confusión. En otros casos, simplemente no hay sobrevivientes que puedan dar cuenta de lo ocurrido. Por lo tanto, es crucial contar con pruebas periciales confiables.

No obstante, la realidad es que la prueba pericial en Reconstrucción Analítica de Accidentes de Tránsito (RAAT) no siempre cumple con las características necesarias para ser considerada como prueba válida en una decisión judicial que afecta la vida de alguien. Algunos modelos físicos utilizados en la RAAT tienen una baja adecuación a la forma en que se produjo el hecho de tránsito. Esto se debe a que el modelo físico propuesto (que contiene el conjunto de variables y parámetros) no siempre está diseñado para calcular la variable de interés de manera precisa.

Si tomamos como ejemplo un modelo físico que permita determinar la velocidad a la que ocurrió un accidente de tránsito, encontramos el Modelo de Trabajo Simple por Fricción para Velocidad ( $V_o = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$ ) (2011), el cual se destaca en la literatura de Análisis de Accidentes de Tránsito (RAAT) por su practicidad y simplicidad.

Este modelo físico es útil para calcular la velocidad de un vehículo antes del inicio de una huella de frenado de una longitud conocida. En el caso de un accidente de tránsito, basta con medir dicha longitud en el lugar del hecho y estimar el valor del coeficiente de fricción en las tablas disponibles en la literatura. Una vez obtenidos estos datos, es posible sustituirlos en la ecuación correspondiente y obtener una buena estimación de la velocidad de manera directa. Este método es sencillo, práctico, no requiere un alto nivel de conocimiento y ofrece resultados precisos.

En todo caso, se hace preciso delimitar muy bien los criterios específicos para plantear dicho modelo físico, ya que no se puede usar en cualquier caso, sin tener en cuenta las precisiones teóricas que delimitan las circunstancias en las cuales podría emplearse.

Adicionalmente, surge la pregunta de si es posible calcular la velocidad de un vehículo en movimiento antes de la ocurrencia de un accidente de tránsito, por ejemplo, en una trayectoria conocida y en un tiempo determinado, sin recurrir al Modelo de Trabajo Simple por Fricción. Algunos jueces sostienen en sus decisiones judiciales que sin la presencia de una huella de frenado, que típicamente se emplea en el Modelo de Trabajo Simple por Fricción, no es posible determinar la velocidad de un vehículo en movimiento antes de la ocurrencia del accidente.

Esta creencia, lejos de ser inocua o inofensiva, constituye un problema muy grave que trasciende más allá de la discusión académica. En el contexto de un accidente de tránsito, el Estado Colombiano delega en un juez la responsabilidad de administrar justicia y atribuir o desligar de responsabilidad a una persona. Para ello, las partes presentan al juez Elementos Materiales Probatorios y Evidencia Física con los que el operador judicial debe comprender cómo, cuándo, dónde y por qué ocurrió el accidente de tránsito para tomar una decisión adecuada.

En el ámbito de la investigación forense, una de las pruebas fundamentales para establecer el sentido del fallo en un hecho de tránsito es la prueba pericial de Reconstrucción Analítica de Accidentes de Tráfico (RAAT). Esta prueba, por su naturaleza neutral, científica, credibilidad y la firma de un experto en física, es considerada como un elemento esencial en la determinación de la veracidad de los hechos.

En situaciones en las que no existen huellas de frenado en la escena del accidente, lo que implica que el conductor no ha aplicado los frenos, resulta muy difícil calcular la velocidad del vehículo. Bajo la creencia generalizada de que no se puede calcular la velocidad en estos casos, el juez se enfrentaría a la falta de herramientas para tomar una decisión basada en el conocimiento. Por lo tanto, estaría limitado a decidir desde la incertidumbre o desconocimiento.

Una posible solución a esta problemática es que el perito en RAAT estudie la aplicabilidad de un modelo físico alternativo, basado en las variables disponibles y distinto al modelo tradicional. Al evaluar su adecuación al caso en cuestión, el perito podría ofrecer una solución al problema. Es común que en hechos de tránsito se utilicen modelos físicos inadecuados, lo que puede generar un cambio sustancial en el resultado del informe pericial y, por ende, en la velocidad del vehículo involucrado. Esta variación en la velocidad puede ser determinante en la variación de la consecuencia jurídica atribuible.

Un ejemplo concreto de esta situación se presenta cuando existe un límite legal de velocidad permitida. Si el uso inadecuado de un modelo físico genera una variación en la velocidad del vehículo, se pueden producir cambios significativos en los resultados de los factores contribuyentes y en el factor determinante de la ocurrencia del hecho de tránsito. Como resultado, se puede absolver a una persona responsable, se puede atribuir responsabilidad a una persona inocente, o incluso se puede generar la imposibilidad de analizar un caso de fondo por parte del juez. En este último caso, la prueba pericial no cumpliría su propósito de arrojar luz al proceso, sino que podría generar oscuridad, incertidumbre o entorpecimiento del proceso en cuestión.

## **POSIBLES CAUSAS**

Dentro de las posibles causas de esta problemática tenemos:

- La falta de inmersión de las ciencias duras como la física y la matemática, como insumos fundamentales en la decisión de los jueces a la hora de administrar justicia en daños causados por Accidentes de tránsito.
- La alta complejidad del modelamiento físico de un accidente de tránsito.
- El cambio entre modelos físicos dependiendo de la ocurrencia del accidente de tránsito.
- La convergencia de un amplio número de variables, a la hora de solucionar un mismo caso.
- La falta de Ingenieros Físicos, Físicos y Matemáticos ejerciendo labores de asesoría y peritaje, en áreas de Derecho. (Trabajando en juzgados o firmas de abogados).
- La falta de un protocolo estandarizado para seleccionar modelos físicos en función de las circunstancias del hecho de tránsito y el tipo de accidente.

## **SÍNTOMAS**

Como manifestación de esta problemática se tiene:

- Altas cifras de impunidad en casos de hechos de tránsito con muertos o heridos, debido a imposibilidad de hallar velocidades, posiciones, y variables propias de la física.
- Algunas decisiones judiciales sustentadas en modelos físicos incongruentes.
- Algunas consecuencias jurídicas muy controversiales.

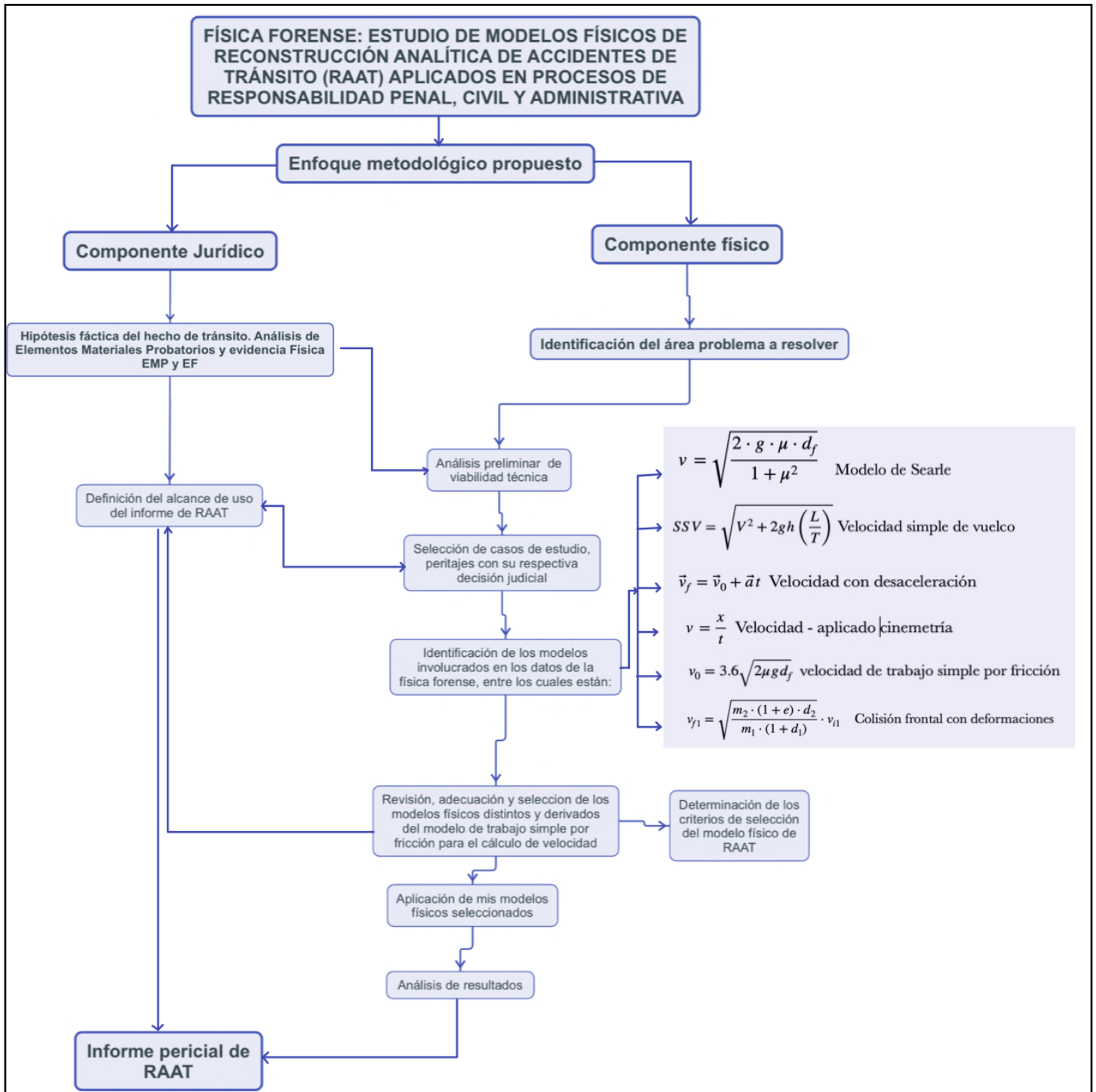
## **CONSECUENCIAS**

- Decisiones judiciales sustentadas en modelos físicos que no se adaptan a la realidad de los hechos ocurridos.
- Víctimas revictimizadas, impunidad, reincidencia.
- Alta probabilidad de variación en la consecuencia jurídica, inclusive Inseguridad Jurídica en las decisiones judiciales.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Qué metodología se podría emplear para calcular la velocidad en pruebas periciales de accidentes de tránsito, utilizando modelos físicos apropiados que se ajusten a los Elementos Materiales Probatorios y Evidencia Física (EMP y EF), y que permitan tomar decisiones judiciales más justas por parte de los operadores judiciales?

**Contribución al nuevo conocimiento :Metodología propuesta en la presente investigación**



**Fig. 0. Metodología: contribución al nuevo conocimiento**

## METODOLOGÍA

La metodología descrita en el estudio de la aplicabilidad de modelos físicos distintos o derivados del modelo de trabajo simple por fricción para cálculo de velocidad se enfoca en el uso de un método de investigación cualitativa (2017), y se sustenta en varias razones:

- **Se enfoca en el análisis de casos específicos:** La metodología se enfoca en analizar casos específicos de accidentes de tránsito, lo que requiere un enfoque cualitativo para comprender de manera casuística unas dinámicas de la física que tienen una connotación jurídica.
- **Se busca entender las causas del accidente:** La metodología se enfoca en comprender las causas del accidente, lo que requiere un enfoque cualitativo para analizar de que manera un conjunto articulado de acciones u omisiones en la dinámica conllevaron a que la ocurrencia del siniestro.
- **Se busca seleccionar el modelo físico más adecuado:** La metodología se enfoca en seleccionar el modelo físico más adecuado para cada caso de estudio, lo que requiere un ejercicio de adecuación entre la situación fáctica y los modelos disponibles para que la adecuación sea lo más fiel posible.
- **Se busca obtener conclusiones precisas y confiables:** La metodología se enfoca en que en el desarrollo de la selección, estudio y adecuación de casos se pueda dar respuestas confiables a los objetivos propuestos y a la pregunta de investigación.

## MÉTODO DE SELECCIÓN DE CASOS

En la metodología descrita para estudiar la aplicabilidad de modelos físicos distintos o derivados del modelo de trabajo simple por fricción para cálculo de velocidad, se empleó un método de selección de casos basado en las características técnicas de los casos.

Esta tesis plantea como piedra angular el estudio de la velocidad a partir de el modelo de trabajo simple por fricción, entonces, lo más adecuado es que los casos tengan como punto de controversia directo o indirecto el cálculo o mención de la velocidad.

Adicionalmente se tuvo en cuenta la experiencia previa del investigador como perito y en la necesidad de ilustrar el punto del problema de investigación, como parámetro útil para la selección de los casos.

Se debe considerar que muchos casos actualmente tienen reserva judicial y no es viable estudiarlos sin el riesgo de vulnerar derechos propios o de algún tercero, por lo tanto otro de los factores que se tuvo en cuenta es la disponibilidad de los casos a la hora de realizar la investigación.

Para el presente trabajo se seleccionaron 4 casos de estudio, dos de ellos en el ámbito penal, denominados (caso A y B) y dos en el ámbito Civil (caso C y D). Los casos cumplen

con los parámetros antes mencionados para el desarrollo estudio e ilustración del presente trabajo.

## **ENFOQUE METODOLÓGICO**

- **Investigación de modelos físicos:** Se investigaron distintos modelos físicos para el cálculo de velocidad en accidentes de tráfico, incluyendo el modelo de trabajo simple por fricción.
- **Identificación y desarrollo de conceptos teóricos de Física Mecánica:** Se seleccionaron conceptos de base para el desarrollo de los modelos físicos como lo son: Posición, Velocidad, Aceleración, etc.
- **Selección de casos de estudio:** Se seleccionaron 4 casos de estudio, dos de ellos de naturaleza penal (caso A y B) y dos de naturaleza civil (caso C y D).
- **Definición de alcance en el uso de cada caso:** Se definen los objetivos específicos para cada caso de estudio, tales como determinar la velocidad de los vehículos involucrados, establecer las causas del accidente, entre otros.
- **Determinación de criterios de selección:** Se deben determinar criterios para seleccionar el modelo físico más congruente en cada caso, teniendo en cuenta variables como la precisión, confiabilidad, simplicidad, entre otros.
- **Aplicación de los modelos seleccionados:** Se deben aplicar los modelos físicos seleccionados en cada caso de estudio, utilizando los datos recolectados y los criterios de selección establecidos.
- **Análisis de resultados:** Se deben analizar los resultados obtenidos con los diferentes modelos físicos, comparando los resultados obtenidos con los datos recolectados en el lugar del accidente.
- **Conclusión:** Finalmente, se debe establecer si se puede calcular la velocidad de desplazamiento del (los) vehículo(s) involucrado(s) con un modelo físico distinto o derivado del mencionado modelo de trabajo simple por fricción.

# ■ **CAPITULO 1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

---

Éste capítulo tiene como propósito definir desde el punto de vista de la normativa técnica colombiana y desde la física los insumos fundamentales para contar con un repertorio lingüístico adecuado para la interpretación de este trabajo.

Cada definición, deducción o demostración se ha pensado con la finalidad de cimentar las bases sobre las cuales se desarrolla esta tesis y que además se espera que sirva de guía futuros trabajos.

## **CONTEXTO TÉCNICO NORMATIVO**

Para referirse a los hechos de tránsito existe una estandarización técnica internacional en el uso del lenguaje el cual en Colombia ha sido homologado a través del Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación ICONTEC mediante la normal NTC 4189 que hace referencia a la terminología entorno “Vehículos de Carretera y Colisiones” (VEHICULOS DE CARRETERA. COLISIONES. TERMINOLOGIA., 1997).

Se pone de presentes algunas definiciones relevantes contenidas en dicha Norma con el propósito de acotar adecuadamente el repertorio lingüístico de la accidentología vial.

## **MARCO TÉCNICO DE RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO COLISIONES. TERMINOLOGÍA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4189**

Esta norma establece la terminología relacionada con colisiones en vehículos de carretera bien sea en accidentes reales o ensayos de laboratorio.

## **DEFINICIONES**

**Accidente:** evento súbito e impredecible que afecta adversamente el estado de un vehículo y/o de sus ocupantes.



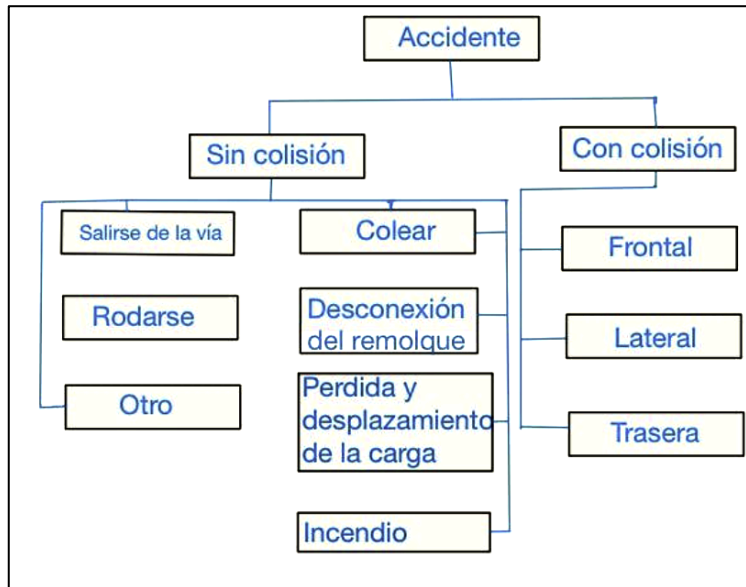


Fig. E. El Accidente -Recuperado de NTC 4189

**Colisión:** accidente en el cual un vehículo golpe a otro vehículo o a un obstáculo, con el daño consiguiente para uno o ambos. Se caracteriza por los siguientes factores:

Tipo de colisión, Objeto Golpeado, Dirección de la colisión, Alineación de eje, Velocidad final.

**Colisión frontal Entre dos Vehículos:** ambos vehículos sufren un impacto frontal.  
Entre un vehículo y un obstáculo fijo: el vehículo sufre un impacto frontal.

Colisión lateral entre dos vehículos: un vehículo sufre un impacto lateral, el otro un impacto frontal.

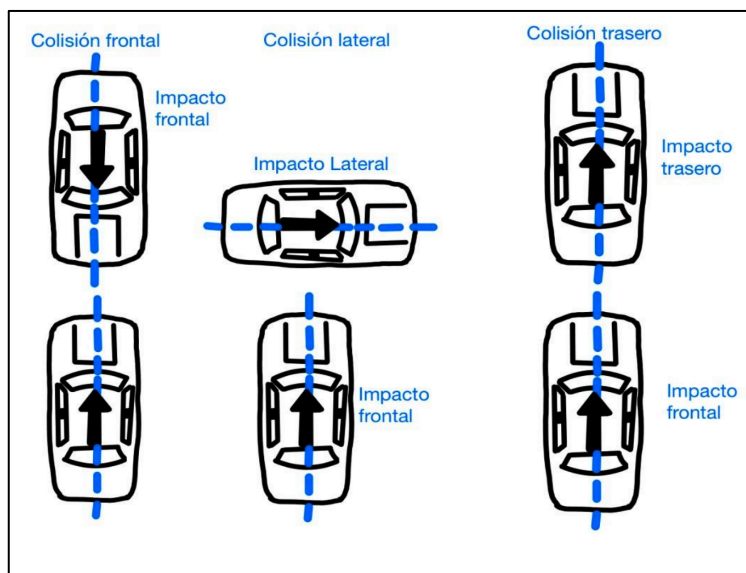


Fig. F. Dirección de la colisión elaboración propia con base en NTC 4189

**Colisión trasera Entre dos vehículos:** Un vehículo sufre un impacto trasero, el otro un impacto frontal; Entre un vehículo y un obstáculo fijo: El vehículo sufre un impacto trasero.

Dirección de la colisión: una colisión puede ser longitudinal o en ángulo.

**Angulo de la colisión entre dos vehículos:** el ángulo de la colisión se mide entre los dos planos verticales, siendo cada uno un plano vertical de cero longitudinal, de un vehículo. El ángulo se debe medir entre 0 o y 180o , (izquierda o derecha) con una colisión frontal identificada como 0 o y una colisión trasera como 180°.

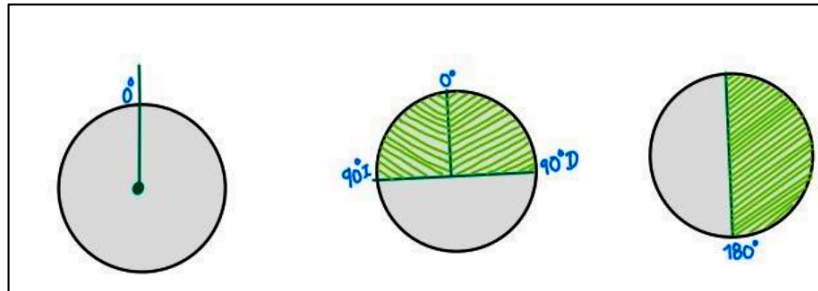


Fig. G. Ángulo de la colisión - basado en NTC 4189

**Colisión entre un vehículo y un obstáculo fijo o móvil:** si la cara del obstáculo es plana y vertical (por ejemplo, una barrera), la cara del obstáculo o barrera se debe considerar como el frente de otro vehículo. El ángulo de colisión se mide entre dos planos

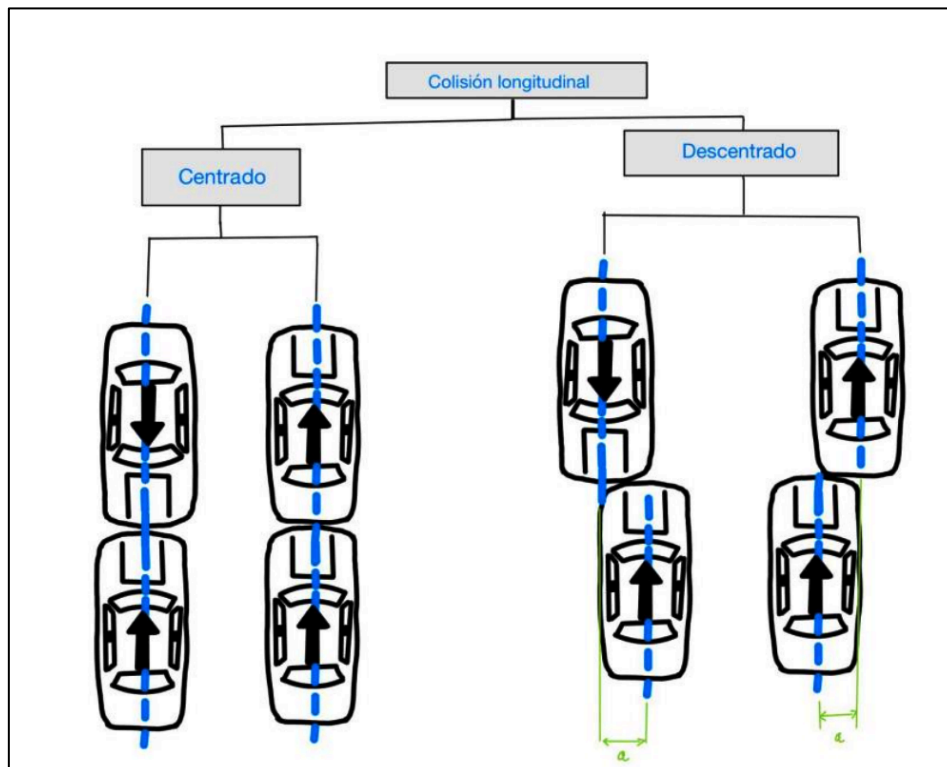


Fig. H . Colisión longitudinal - basado en NTC 4189

verticales, uno de los cuales es plano vertical cero longitudinal del vehículo y el otro es perpendicular a la superficie vertical plana del obstáculo.

**Alineación de ejes:** una colisión entre dos vehículos o entre un vehículo y un obstáculo fijo o móvil es centrada si los planos principales de los vehículos o el vehículo y el obstáculo son iguales: de otro modo es descentrada. Para los planos principales se prevé: - En una colisión frontal o trasera, el plano vertical cero longitudinal de cada vehículo; - En la colisión lateral el plano vertical cero longitudinal para el vehículo que golpea el plano vertical transversal (que contiene el punto R del conductor) y para el vehículo golpeado.

**Desviación:** en una colisión entre dos vehículos, o un vehículo y un obstáculo fijo móvil, la desviación es la distancia entre los planos verticales, siendo cada uno el plano vertical del otro (VEHICULOS DE CARRETERA. COLISIONES. TERMINOLOGIA., 1997).

En colisiones longitudinales se consideran los planos verticales cero longitudinal.

**Velocidad de cierre:** Es la velocidad relativa entre el vehículo y el otro vehículo u obstáculo, al comienzo de la colisión.

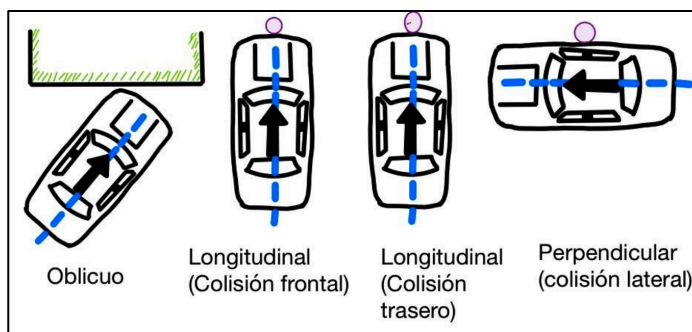


Fig. J. Ángulo de la colisión - basado en NTC 4189

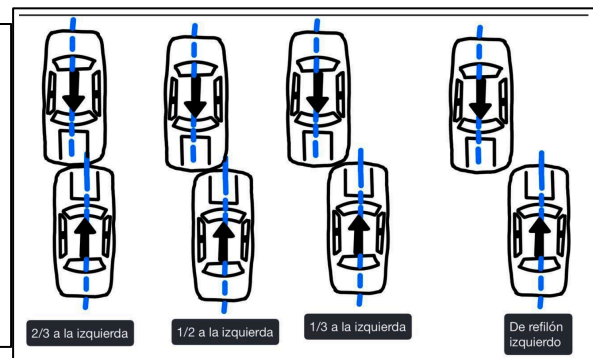


Fig. k. Ubicación de la colisión - basado en NTC 4189

**Impacto:** es el contacto repentino entre un vehículo y otro o un obstáculo. Se caracteriza por los siguientes factores: - Tipo de impacto; - Dirección y magnitud de la fuerza principal que actúa sobre el vehículo; - Deformación; - Localización del impacto

**Impacto frontal:** es el impacto en el cual el daño para el vehículo ocurre predominantemente entre las esquinas frontales del vehículo. Un “impacto frontal puro” es un impacto en el cuál la fuerza principal que actúa sobre el vehículo en el impacto ocurre en un Angulo no mayor a 45 grados y 135 grados (izquierda o derecha) con respecto al plano vertical cero longitudinal del vehículo.

**Impacto lateral:** es el impacto en el cual el daño para el vehículo ocurre predominantemente entre el frente y las esquinas traseras, del mismo lado, del vehículo.

**Impacto trasero:** es el impacto en el cual el daño para el vehículo ocurre predominantemente entre las esquinas traseras del vehículo. Un “impacto trasero puro” es un impacto en el cual la fuerza principal que actúa sobre el vehículo en el impacto ocurre

en un Angulo no mayor a 45 grados (izquierda o derecha) con respecto al plano vertical cero longitudinal del vehículo.

**Ángulo del impacto:** medido entre dos planos verticales, uno de los cuales contiene el plano vertical cero longitudinal del vehículo y el otro contiene la fuerza principal que actúa sobre el vehículo. Este ángulo se mide alrededor del vehículo desde el frente bien sea derecho o izquierdo y no excede 180 grados (VEHICULOS DE CARRETERA. COLISIONES. TERMINOLOGIA., 1997).

**Deformación:** es el desplazamiento de un punto o puntos con respecto a su posición inicial antes del impacto. El desplazamiento se mide paralelo al plano vertical principal apropiado del vehículo como un valor máximo (en un punto único) o como un valor promedio en un área más o menos amplia.

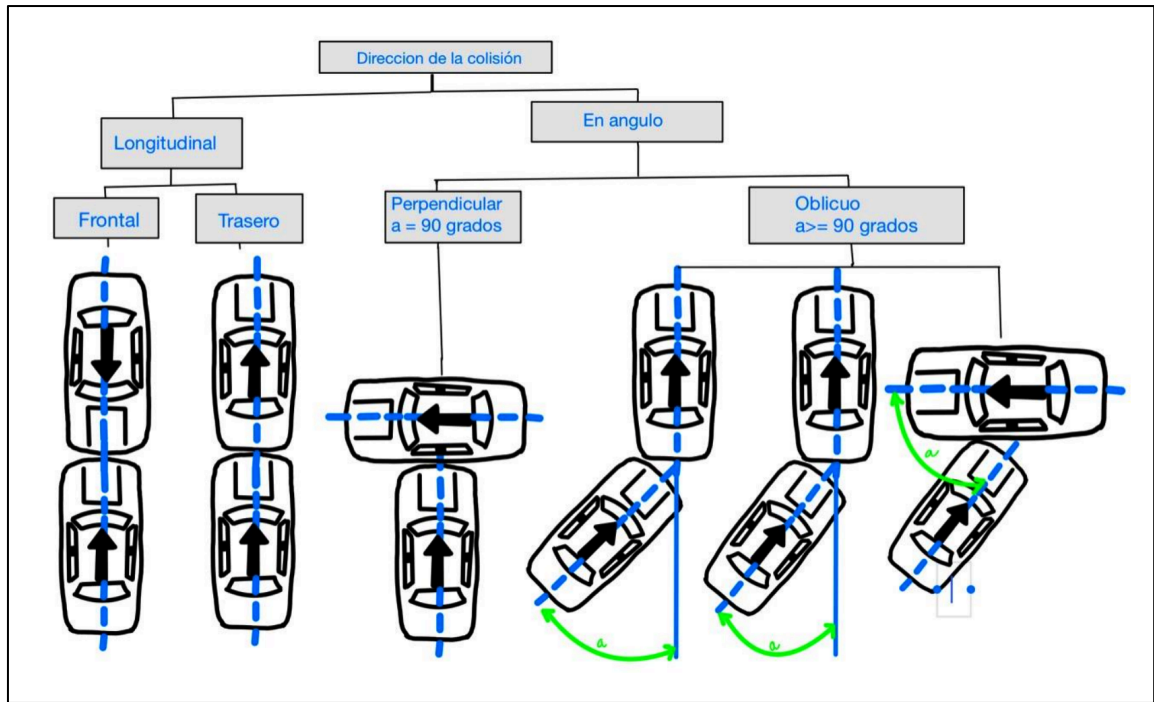


Fig. I. Dirección de la colisión elaboración propia con base en NTC 4189

**Localización del impacto:** la localización del impacto se identifica mediante el área de deformación. Las zonas principales se subdividen horizontalmente y verticalmente de acuerdo con las figuras anteriores.

**Alineación de ejes:** una colisión entre dos vehículos o entre un vehículo y un obstáculo fijo o móvil es centrada si los planos principales de los vehículos o el vehículo y el obstáculo son iguales: de otro modo es descentrada. Para los planos principales se prevé: - En una colisión frontal o trasera, el plano vertical cero longitudinal de cada vehículo; - En la colisión lateral el plano vertical cero longitudinal para el vehículo que golpea el plano vertical transversal (que contiene el punto R del conductor) y para el vehículo golpeado.

**Desviación:** en una colisión entre dos vehículos, o un vehículo y un obstáculo fijo móvil, la desviación es la distancia entre los planos verticales, siendo cada uno el plano vertical del otro (VEHICULOS DE CARRETERA. COLISIONES. TERMINOLOGIA., 1997).

- En colisiones longitudinales se consideran los planos verticales cero longitudinal.
- En colisiones perpendiculares se consideran el plano vertical cero longitudinal y el plano vertical transversal (que contiene el punto R del conductor) del vehículo golpeado.
- En colisiones oblicuas se consideran los planos principales, pero la medición se debe hacer en el plano vertical tangente a la proyección horizontal del vehículo.<sup>1</sup>

Una vez contamos con un contexto lingüístico, es importante resaltar que existen n - variables que pueden influir o determinar la ocurrencia de un hecho de tránsito. La labor de la RAAT es un convertirse en un ejercicio Ingeniería Inversa que consiste en identificar esas variables y concatenarlas en un modelo físico funcional que refleje de la manera más fehaciente posible las circunstancias de tiempo, modo y lugar de ocurrencia del hecho.

Para eso, se pone de presente algunas de las variables más comunes y representativas en este medio de la accidentología vial.

## **VARIABLES FÍSICAS MÁS EMPLEADAS PARA CALCULAR LA VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DE UN VEHÍCULO**

En el ámbito pericial, la determinación de la velocidad de un vehículo implicado en un accidente de tráfico es un asunto de gran relevancia. Para abordar esta cuestión, se requiere una evaluación meticulosa de diversas variables que pueden influir en el resultado final. Entre estas variables, destacan la distancia de frenado, el ángulo de impacto, la dirección del vehículo y otros factores que pueden ser determinantes en el desplazamiento del automóvil en cuestión. Por tanto, para llevar a cabo una valoración rigurosa y objetiva, es necesario contar con profesionales especializados en la materia, capaces de realizar un análisis científico y preciso de los datos disponibles.

## **DEFINICIÓN: MODELO FÍSICO EN RAAT Y ACCIDENTOLOGÍA**

### **Error e incertidumbre**

En la literatura técnica y científica, el término error se utiliza frecuentemente con dos significados bastante diferentes. En algunos casos se utiliza para cuantificar la diferencia entre el resultado de una medida y el considerado como valor de la misma (valor verdadero, valor real o estándar) mientras que en otras se utiliza para denominar la incertidumbre del resultado de una medida, es decir, para cuantificar la imperfección del método e instrumento de medida empleado. Los términos error e incertidumbre no son

---

<sup>1</sup> Las definiciones aquí plasmadas son parte integral de la norma NTC 4189 reconocida a nivel nacional e internacional

sinónimos, sino que representan conceptos completamente distintos, y por tanto, no deben confundirse entre sí ni utilizarse incorrectamente, uno en lugar del otro (CEM, 2000). A este respecto, el VIM define el término error de medida como la diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia (valor convencional o valor verdadero), mientras que define la incertidumbre de medida como un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza. Si bien el error es teóricamente desconocido, la incertidumbre sí que puede ser evaluada. Conviene no confundir también el error de medida con un error humano o equivocación.

Por tanto, puesto que al utilizar el término error, existe siempre la posibilidad de confundir una incertidumbre con esa diferencia, se sugiere (Burns y otros, 1973) que cuando se trate de evaluar la calidad del resultado de una medida se utilice el término incertidumbre en lugar del término error. De esta manera, sería más apropiado denominar al término “análisis o propagación de errores”, cuando se refiere al estudio y evaluación de las incertidumbres que afectan a todas las medidas, como “análisis o propagación de incertidumbres”.

El error de medida tiene dos componentes, el error sistemático y el error aleatorio. A modo de ejemplo, para aclarar estos conceptos, supóngase que se captura un dato, como puede ser la longitud de una distancia, con un determinado método e instrumento obteniendo una medida muy exacta. Considerando todas las correcciones necesarias, su valor final es de 317,518 m con una incertidumbre muy pequeña, casi despreciable, digamos por debajo de la décima de milímetro. Por tanto, la longitud 317,518 m se considerará como el valor de referencia de la distancia en cuestión.<sup>2</sup>

## **MOVIMIENTO EN UNA DIMENSIÓN**

En la Accidentología fundamental, los vehículos se suelen representar como una partícula, con el propósito de adecuar su movimiento a las leyes de la física fundamental, por esa razón en el presente trabajo en su mayoría el movimiento, y todas las variables que lo componen se estudian en una dimensión.

## **VECTORES**

se le conoce como vector a un segmento de recta en el espacio que parte de un punto hacia otro, es decir, que tiene magnitud, dirección y sentido (UNAM, 2019). Los vectores en física tienen por función expresar las llamadas magnitudes vectoriales.

El concepto de vector resulta al generalizar y abstraer las propiedades comunes a ciertas magnitudes conocidas en Física, tales como la fuerza, la velocidad, la intensidad de campo eléctrico o de campo magnético, etc.

---

<sup>2</sup> Error, Incertidumbre (Universidad de Jaen.)

**Definición.** Se da el nombre de vector a ciertas magnitudes que pueden ser representadas geoméricamente por medio de un segmento orientado, en el cual se consideran las siguientes cualidades:

**a) Longitud o módulo del vector**, que es un número positivo representativo de la intensidad de la magnitud que expresa. Por ejemplo, si una fuerza tiene una intensidad de 10 kilogramos, la longitud del segmento AB será igual a 10 veces la unidad de longitud elegida para representar 1 kg. en el dibujo. 10 kgs., o su equivalente en el dibujo, viene a ser entonces el módulo del vector.

**b) La dirección**, que es aquella de la recta que contiene el vector. A tal recta se le llama línea de acción o también, soporte del vector.

**c) El sentido.** Por cada dirección hay dos sentidos, los cuales se particularizan, bien leyendo primero el origen, después el extremo del vector, bien disponiendo una flecha sobre las letras que lo representan.(repositorio hand UNAL, 57219)

Los vectores son de suma importancia en el estudio de la accidentología vial, ya que, por ejemplo la a velocidad y  $\Delta x \equiv (x_f - x_i)$  la aceleración son vectores ampliamente utilizados. La velocidad tiene magnitud, dirección y sentido y se suele escribir como  $\vec{v}$  (vector velocidad). La aceleración también es un vector ampliamente utilizado en física y en accidentología y se escribe como  $\vec{a}$ . Los académicos más puristas suelen poner en todo caso la línea que superior que denota la cantidad vectorial ( $\vec{v}$  o  $\vec{a}$ ), sin embargo, en muchas ocasiones no se coloca explícitamente ya que se puede interpretar del contexto en el cual se está trabajando que se trata de la velocidad o la aceleración y se entiende que por definición son cantidades vectoriales.

**Def. Posición, velocidad y rapidez**

El movimiento de un objeto queda plenamente determinado al conocer su posición en el espacio en cada instante. La localización de dicho objeto se refiere a la posición de la

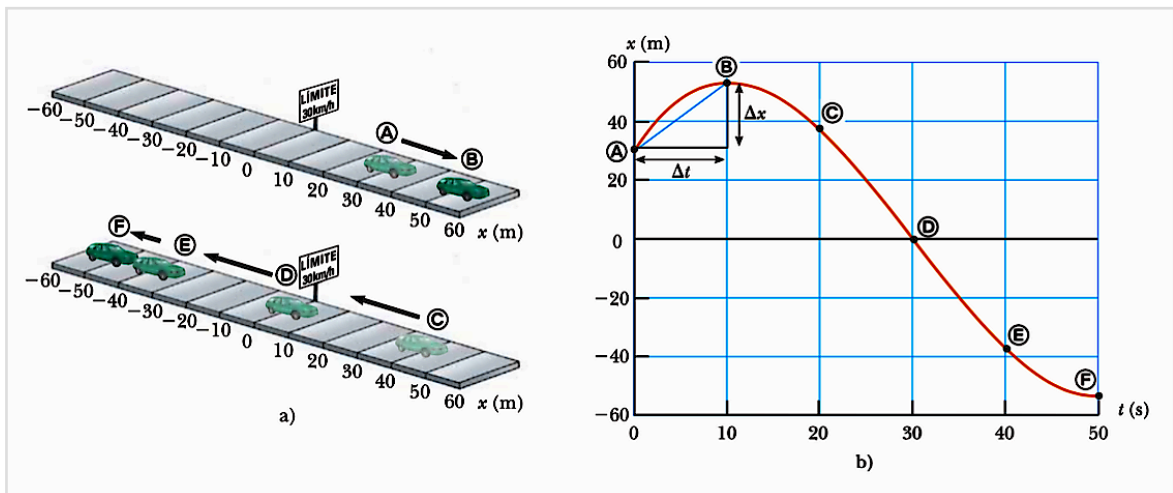


Fig. 1- Movimiento de un objeto, como partícula. Serway - Jewett Física para ciencias e ingeniería Vol I

partícula en relación con un punto de referencia seleccionado para un sistema de coordenadas.<sup>3</sup>

En la imagen a) se representa un automóvil hacia adelante y en reversa a lo largo de una línea recta. En este caso se tiene interés únicamente en el movimiento transaccional del vehículo, por lo cual se representa como una partícula. En la imagen b) se representa gráficamente la posición versus el tiempo del movimiento del automóvil.

Se usa la letra delta ( $\Delta$ ) para representar el cambio de la posición y del tiempo por lo cual se usa  $\Delta x$  y  $\Delta t$  respectivamente.

### **Def. Desplazamiento**

Utilizando la información de la tabla, se calcula la variación de posición del automóvil en diferentes lapsos. El desplazamiento de una partícula se define como el cambio en su posición durante un intervalo de tiempo específico. Cuando la partícula se desplaza desde una posición inicial  $x_i$  hacia una posición final  $x_f$ , conocemos su desplazamiento como

Desplazamiento. (Ec. 2)

Donde  $\Delta x$  es el desplazamiento en  $x$ ,  $x_f$  es la posición final y  $x_i$  es la posición inicial.

### **Velocidad promedio**

A partir de la definición de desplazamiento, se puede definir la velocidad promedio como el cociente entre el desplazamiento en un  $\Delta t$  así:

$$v_{x, prom} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \text{Velocidad promedio (Ec. 3)}$$

### **Rapidez promedio**

En el día a día se suele usar la rapidez promedio y la velocidad promedio de manera indistinta, sin embargo, en física tienen una diferencia que es sustancial.

A manera de ejemplo, si un camión recorre una distancia  $d$  de 100 Km, pero llega al mismo punto de partida, entonces su desplazamiento total es igual a cero. Si su desplazamiento es cero, quiere decir que su velocidad promedio también será cero.

En todo caso se debe cuantificar que tan rápido se desplaza dicho camión. Es entonces donde la **Rapidez Promedio** cobra una relevancia significativa y por lo cual se hace necesaria su definición en términos de:

$$v_{prom} = \frac{d}{\Delta t} \quad \text{Rapidez promedio} \quad (\text{Ec. 4})$$

---

<sup>3</sup> Las figs. 1,2 y 3 con el texto de estas definiciones se recuperaron del texto Serway - Jewett, Física para Ciencias e Ingeniería



Desde el punto de vista de la física, a diferencia de la velocidad promedio, la rapidez promedio no tiene dirección y siempre se expresa como un número positivo.

## VELOCIDAD Y RAPIDEZ INSTANTÁNEAS

La velocidad instantánea denota la velocidad en un instante de tiempo concreto. Por definición la velocidad instantánea  $v_x$  es igual al valor del límite del cociente entre  $\Delta x$  y  $\Delta t$  cuando  $\Delta t$  tiende a cero, es decir

$$v_x \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad \text{Velocidad instantánea (Ec. 5)}$$

Al hablar de velocidad instantánea hablamos de que puede ser una cantidad positiva, negativa o igual a cero. De igual manera tiene magnitud, dirección y sentido.

La rapidez instantánea de una partícula se define como la magnitud de la velocidad instantánea.

## PARTÍCULA CON VELOCIDAD CONSTANTE

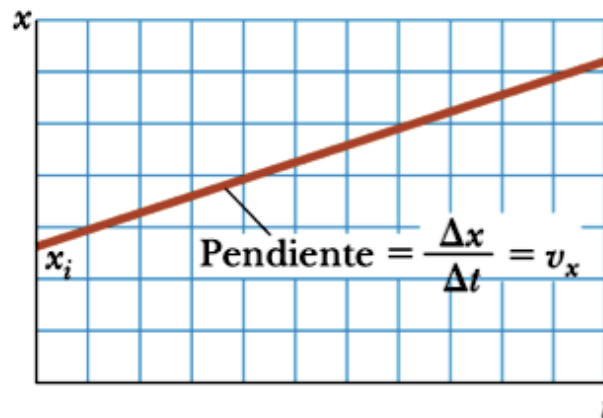


Fig. 2. Partícula con velocidad cte. Serway - Jewett  
Física para ciencias e ingeniería Vol I

Esta gráfica representa una partícula con velocidad constante. La posición en función del tiempo varía y se puede representar mediante una recta. La representación matemática de esta situación se puede poner en términos de:

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \text{ donde}$$

entonces

$$v_x = \frac{(x_f - x_i)}{\Delta t}, \text{ así}$$

$$x_f = x_i + v_x \Delta t \quad (\text{Ec. 6})$$

El desplazamiento en  $V_x \Delta t$  ocurre en el intervalo de tiempo con  $t_i = 0$  y  $t_f = t$ , por lo cual se puede reescribir la ecuación de la siguiente manera:

$$x_f = x_i + v_x t \quad \text{Con } v_x \text{ constante : Posición como una función del tiempo}$$

### Aceleración

La razón de cambio de la posición respecto al tiempo se llama velocidad, de la misma forma, la razón de cambio de la velocidad respecto al tiempo se llama aceleración. Por ejemplo, la magnitud de la velocidad de un camión aumenta cuando un conductor pisa el ‘acelerador’ y disminuye cuando pisa el pedal del freno.

### Aceleración promedio

Se define como el cociente entre cambio de velocidad  $\Delta v_x$  y el intervalo de tiempo  $\Delta t$  en el ocurre dicho cambio.

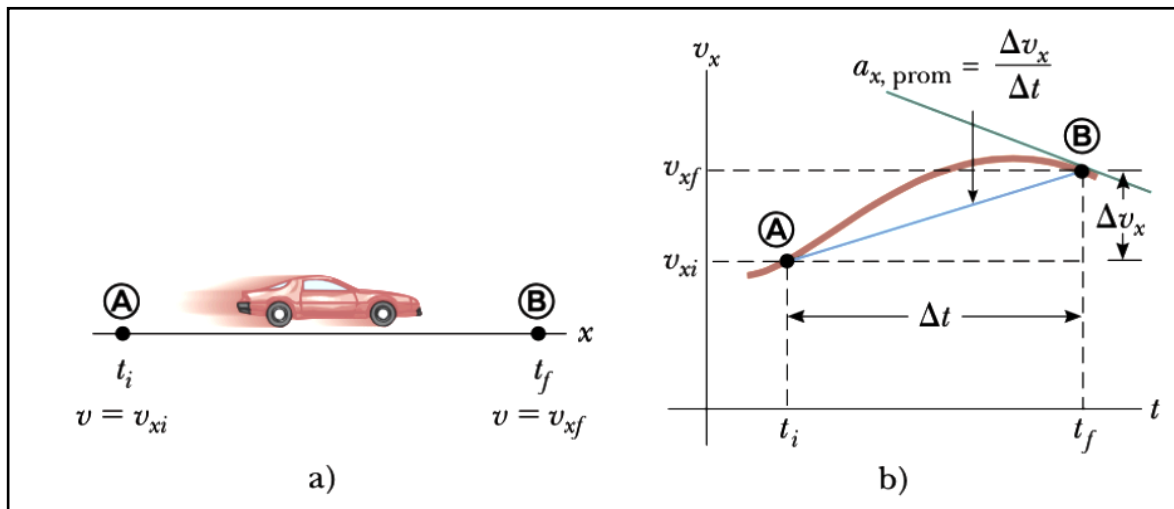


Fig. 3. Aceleración. Serway - Jewett Física para ciencias e ingeniería Vol I

$$a_{x, prom} \equiv \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t_f - t_i} \quad \text{Aceleración promedio (Ec. 7)}$$

El automóvil se modela teóricamente como una partícula, y se representa a lo largo del eje X, desde el punto a hasta punto b y tiene una velocidad  $v_{xi}$  en  $t = t_i$  y una velocidad  $v_{xf}$  en  $t = t_f$ .

La gráfica velocidad versus tiempo se representa el color café para la partícula que se mueve en una línea recta. La pendiente de la línea recta azul que conecta los puntos a y B es la aceleración promedio del automóvil durante el intervalo  $\Delta t = t_f - t_i$ . La pendiente de la línea verde la aceleración instantánea del automóvil para el punto b.

## PARTÍCULA BAJO ACELERACIÓN CONSTANTE

Para definir este concepto se debe reemplazar en la ecuación:

$$a_{x,prom} \equiv \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t_f - t_i} \text{ Aceleración promedio (Ec. 8)}$$

$t_i = 0$  ;  $t_f$  como cualquier tiempo  $t$  posterior, por lo que se obtiene que:

$$a_x = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t - 0}$$

Que al reescribir queda como

$$v_{xf} = v_{xi} + a_x t \quad \text{Para } a_x \text{ constante (Ec. 9)}$$

Puesto que la velocidad con aceleración constante varía linealmente en el tiempo, por eso se expresa la velocidad promedio en cualquier intervalo de tiempo como la medida aritmética de la velocidad inicial  $v_{xi}$  y la velocidad final  $v_{xf}$  :

$$v_{x,prom} = \frac{v_{xi} + v_{xf}}{2} \quad \text{para } a_x \text{ constante (Ec. 10)}$$

Se notar que esta expresión para la velocidad promedio únicamente se puede aplicar en situaciones en donde la aceleración es constante.

Para obtener la posición de un objeto como función del tiempo se debe tener en cuenta que:

$$\Delta x = x_f - x_i \quad , \text{ además que}$$

$$\Delta t = t_f - t_i = t - 0 = t \quad , \text{ donde se encuentra que}$$

$$x_f - x_i = v_{x,prom} t = \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})$$

$$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})t \quad (\text{para } a_x \text{ constante}) \quad (\text{Ec. 11})$$

Esta ecuación proporciona la posición final de la partícula en el tiempo  $t$  en términos de las velocidades inicial y final.

Otra expresión útil para la posición de una partícula en constante obtiene a partir de la sustitución de la ecuación:

$$x_f = x_i + \frac{1}{2}[v_{xi} + (v_{xi} + a_x t)]t$$

$$x_f = x_i + v_{xi} t + \frac{1}{2} a_x t^2 \quad (\text{para } a_x \text{ constante}) \quad (\text{Ec. 12})$$

Esta ecuación proporciona la posición final de una partícula del tiempo en términos de la velocidad inicial y aceleración constante.

## Velocidad como una función de la posición

También, es posible obtener una expresión para la velocidad final que no contenga tiempo como variable al sustituir el valor de  $t$ , en los siguientes términos.

Sustituimos

$$v_{xf} = v_{xi} + a_x t$$

En

$$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})t$$

$$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})\left(\frac{v_{xf} - v_{xi}}{a_x}\right) = x_i + \frac{v_{xf}^2 - v_{xi}^2}{2a_x}$$

$$\text{(Para } a_x \text{ constante) } v_{xf}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_f - x_i) \quad \text{(Ec. 13)}$$

Proporciona la velocidad final en términos de la velocidad inicial la aceleración constante y

$$v_{xf} = v_{xi} = v_x, \quad \text{cuando } a_x = 0$$

la posición de la partícula, para el movimiento con aceleración cero se ve que:

$$x_f = x_i + v_x t, \quad \text{cuando } a_x = 0$$

Esto es, cuando la aceleración de una partícula es cero, sobre no seas constante y posición cambio linealmente con el tiempo en términos de modelos cuando la aceleración de una partícula es cero, el modelo de la partícula bajo aceleración constante se reduce al modelo de partículas bajo velocidad constante.

En suma<sup>4</sup>

Tab. 1. Ecuaciones cinemáticas para el movimiento de una partícula bajo aceleración constante	
$v_{xf} = v_{xi} + a_x t;$	Velocidad como función del tiempo
$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})t;$	Posición como función de velocidad y del tiempo
$x_f = x_i + v_{xi}t + \frac{1}{2}a_x t^2;$	Posición como función del tiempo
$v_{xf}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_f - x_i);$	Velocidad como función de la posición

<sup>4</sup> La tab. 1 es una representación de las ecuaciones cinemáticas, pero se debe considerar que funcionan adecuadamente como modelo físico cuando se asume la velocidad constante. En la práctica de los AT casi nunca ocurre que la  $\vec{a}$  sea constante, sin embargo, debido a que se desconoce el valor del valor de dicha  $\vec{a}$  entonces en ocasiones para mejorar el modelo se puede incluir un factor de corrección teórico.

## ECUACIONES CINEMÁTICAS

### DEDUCCIÓN DESDE EL CÁLCULO

$$a_x = \frac{dv_x}{dt};$$

Se pueden escribir como  $dv_x = a dt$  o en términos de una integral como

$$v_{xf} - v_{xi} = \int_0^t a_x dt \text{ (Ec. 14)}$$

Para el caso especial en que la aceleración es constante,  $a_x$  se puede remover de la integral para dar

$$v_{xf} - v_{xi} = a_x \int_0^t dt = a_x(t - 0) = a_x t$$

Ahora considere la ecuación que define la velocidad

$$v_x = \frac{dx}{dt}$$

Si recordamos por definición de  $v_x = x_f - x_i$ ;

$$x_f - x_i = \int_0^t v_x dt$$

Puesto que

$$v_x = v_{xf} = v_{xi} + a_x t$$

Se reescribe la expresión como:

$$x_f - x_i = \int_0^t (v_{xi} + a_x t) dt = \int_0^t v_{xi} dt + a_x \int_0^t t dt = v_{xi}(t - 0) + a_x \left( \frac{t^2}{2} - 0 \right)$$
$$x_f - x_i = v_{xi} t + \frac{1}{2} a_x t^2 \text{ (Ec. 15)}$$

Donde:  $x_f$  Es la posición final del objeto en el eje x;  $x_i$  Es la posición inicial del objeto en el eje X;  $v_{xi}$  Es la velocidad inicial del objeto en x;  $t$  El tiempo transcurrido desde el instante inicial hasta el instante final;  $a_x$  Es la aceleración del objeto en x

Así se obtiene la ecuación de movimiento para un objeto con aceleración constante en una dimensión. Esta ecuación es muy importante ya que en la mayoría de modelos físicos que se realizan reconstrucción analítica de accidente de tránsito se analizan los vehículos en movimiento como partículas en una o varias dimensiones.

## TEORIA DE COLISIONES

La accidentología vial es un campo crucial para comprender y prevenir accidentes automovilísticos. La física desempeña un papel esencial en el análisis de colisiones vehiculares, ya que nos permite entender cómo se comportan los vehículos antes, durante y

después del impacto. A continuación, se presentarán los conceptos básicos de la física de colisiones y, posteriormente, se abordarán modelos más avanzados que involucran consideraciones adicionales, como deformaciones, energía cinética y conservación de momento.

### **Colisiones Elásticas e Inelásticas<sup>5</sup>:**

En colisiones elásticas, la energía cinética total y el momento lineal se conservan antes y después de la colisión. En las colisiones inelásticas, la energía cinética total se disipa, y el momento lineal se conserva. Esto se describe mediante las siguientes ecuaciones para la conservación de momento lineal y energía cinética, respectivamente:

$$m_1 \cdot v_{i1} + m_2 \cdot v_{i2} = m_1 \cdot v_{f1} + m_2 \cdot v_{f2}$$

Momento lineal (Ec. 16)

$$\frac{1}{2}m_1 \cdot v_{i1}^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_{i2}^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot v_{f1}^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_{f2}^2$$

Energía Cinética (Ec. 17)

Donde  $m_1, m_2$  son las masas de los vehículos y  $v_{i1}, v_{i2}, v_{f1}, v_{f2}$  son sus velocidades iniciales y finales, respectivamente.

### **Coefficiente de Restitución (e)**

El coeficiente de restitución es una medida de la elasticidad de una colisión y se define como la relación entre las velocidades relativas después y antes de la colisión. Para colisiones entre dos objetos, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$e = - \frac{v_{f2} - v_{f1}}{v_{i2} - v_{i1}}$$

coeficiente de restitución (Ec. 18)

### **Colisiones Frontales con Superficies Fijas**

Consideremos un automóvil que colisiona frontalmente con una pared. Si la pared es inmóvil, es decir,  $v_{f2} = 0$ , podemos usar el coeficiente de restitución para relacionar las velocidades finales y la velocidad inicial del vehículo:

$$(Ec. 19) \quad e = - \frac{v_{f1}}{v_{i1}}$$

A partir de la conservación del momento lineal, podemos obtener la velocidad final del automóvil después de la colisión:

$$(Ec. 20) \quad v_{f1} = \frac{e + 1}{e - 1} \cdot v_{i1}$$

---

<sup>5</sup> La teoría de colisiones se recuperó de: (Smith, J & Johnson, 2015)

## DEDUCCIÓN DEL MODELO DE TRABAJO SIMPLE POR FRICCIÓN PARA CÁLCULO DE VELOCIDAD $V_o = 3.6\sqrt{2\mu gd_f}$ , A PARTIR DE LA SEGUNDA

### LEY DE NEWTON

En accidentología vial, el modelo de trabajo simple por fricción es ampliamente utilizado para calcular la velocidad de desplazamiento de un vehículo involucrado en un hecho de tránsito debido a su simplicidad y facilidad de uso. Este modelo se basa en la premisa de que la velocidad final de un vehículo en una colisión es igual a la velocidad inicial menos una fracción de la velocidad inicial debido a la fricción con el suelo.

No obstante, la precisión del modelo depende de la información disponible en cada caso, lo que limita su aplicación en todas las situaciones. En casos en los que no se cuenta con información precisa sobre la velocidad inicial del vehículo, el modelo no podrá proporcionar una estimación precisa de la velocidad final. Además, en situaciones en las que el vehículo involucrado en la colisión estaba en una superficie diferente a la del asfalto, como en una carretera de tierra o nieve, el modelo no será preciso debido a que la fricción con el suelo variaría.

Aunque el modelo de trabajo simple por fricción es una herramienta útil para calcular la velocidad de desplazamiento de un vehículo en una colisión, es importante tener en cuenta que su precisión depende de la información disponible en cada caso y que no se puede aplicar en todos los escenarios. Para obtener una estimación precisa de la velocidad en casos específicos, es necesario considerar otras técnicas y metodologías adicionales.

La segunda ley de Newton establece que la aceleración de un objeto es proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa

$$F = ma \text{ (Newton, 1687) (Ec. 23)}$$

Si la masa del objeto es constante, entonces la aceleración también será constante y proporcional a la fuerza neta que actúa sobre el objeto. Por ejemplo, si la fuerza neta es el doble de la que tenía originalmente, la aceleración también será el doble.

Este modelo físico de trabajo simple nos permite entender cómo la fuerza neta afecta a la aceleración de un objeto y nos ayuda a predecir cómo se comportará el objeto en diferentes situaciones.

$$\Sigma F_x = -f_{friction} = ma \text{ (Ec. 24)}$$

Donde  $\Sigma F_x$  es la sumatoria de fuerzas en el eje x,  $m$  es la masa,  $a$  es la aceleración y  $f_{friction}$  es la fuerza de fricción entre la goma de la llanta y la superficie de rodadura, la cual a su vez está determinada por el producto entre el coeficiente de fricción  $\mu$  y la normal  $N$ .

$$\Sigma F_y = N - f_w = 0 \text{ (Ec. 25)}$$

Donde  $\Sigma F_y$  es la sumatoria de fuerzas en el eje y,  $m$  es la masa,  $N$  es la anormal, y  $f_w$  es la fuerza del peso, la cual viene descrita con el producto entre la masa  $m$  masa y la gravedad  $g$ .

Así las cosas tenemos que:

$$f_{friction} = \mu N$$

(La fuerza de Fricción – Física Linda, el lugar para aprender física!, s. f.)

$$f_w = mg$$

$$N = mg$$

$$-\mu N = \mu mg = ma$$

Adicionalmente se debe tener en cuenta que

$$a = -\mu g \text{ (Ec. 26)}$$

Donde  $a$  es la aceleración,  $\mu$  es el coeficiente de fricción y  $g$  es la aceleración de la gravedad.

Si tenemos en cuenta la fórmula para calcular la velocidad final para movimiento rectilíneo, tenemos que:

$$V_f^2 = V_o^2 + 2ad_f \text{ (Ec. 27)}$$

Donde  $V_f$  es la velocidad final,  $V_o$  es la velocidad inicial,  $a$  es la aceleración y  $d_f$  es la distancia de frenado. Si reemplazamos las variables de esta ecuación con los valores de cada término previamente definido obtenemos:

$$V_o^2 + 2ad_f = V_f^2 - 2\mu d_f = 0$$

En esta situación se puede asumir dos escenarios. En caso de que se asuma que el vehículo llegó al reposo justo al final de la huella de frenado, se asume que la velocidad final  $V_f$  es cero y se simplifica la ecuación obviando este término.

$$\mu = \frac{v_0^2}{2gd_f} \text{ (Ec. 28)}$$

Con estos insumos se obtiene finalmente la fórmula para cálculo de velocidad por modelo de trabajo simple por fricción (si tener en cuenta el término  $V_f$  ya que es igual a cero) que queda:

$$v_0 = 3.6\sqrt{2\mu gd_f} \text{ (Ec. 1)}$$

Donde  $v_0$  es la velocidad del vehículo al inicio de la huella de frenado, 3.6 es un factor de conversión del valor final de la velocidad de m/s a Km/h,  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre la goma y la superficie de rodadura,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $d_f$  es la distancia de la huella de frenado.

Ahora, si  $V_f \neq 0$  entonces se considera el término, el cual queda:

$$v_0 = 3.6\sqrt{2\mu gd_f} + v_f \text{ (Ec. 29)}$$

Donde  $v_0$  es la velocidad del vehículo al inicio de la huella de frenado, 3.6 es un factor de conversión del valor final de la velocidad de m/s a Km/h,  $\mu$  es el coeficiente de fricción



entre la goma y la superficie de rodadura,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $d_f$  es la distancia de la huella de frenado y  $v_f$  es la velocidad al final de la huella de frenado.

En este punto es importante mencionar que muchos de los libros de texto más importantes en el área de accidentología y derecho aplicados a reconstrucción analítica de accidentes de tránsito (RAAT) emplean de manera directa la fórmula del modelo físico de trabajo simple por fricción para cálculo de velocidad de un vehículo, que se acaba de deducir

(Ec. 1).<sup>6</sup>

$$v_0 = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$$

Como se vio en este capítulo, existen definiciones y conceptos que resultan imperativos a la hora de comprender la lógica de la reconstrucción analítica de accidentes de tránsito. En el siguiente capítulo, se profundiza en algunos modelos físicos reportados en la literatura, los cuales son deducciones teóricas de las definiciones previamente presentadas o, en algunos casos, modelos experimentales fuertemente influenciados por los conceptos anteriores.

---

<sup>6</sup> **Suposiciones del modelo físico:** Se debe tener en cuenta que se requiere conocer la huella de frenado a nivel experimental, ya que varía en cada caso. Se debe considerar la aceleración como constante a la hora de frenar, el movimiento es rectilíneo uniforme.

## **■ CAPITULO 2. MODELOS FÍSICOS DERIVADOS Y DISTINTOS DEL DE TRABAJO SIMPLE POR FRICCIÓN PARA CÁLCULO DE VELOCIDAD**

---

En este capítulo, se tuvo como propósito realizar una investigación bibliográfica de algunos modelos físicos comunes y útiles, que puedan servir de insumo para los procesos objeto de estudio del presente trabajo.

Es importante mencionar que existe una amplia variedad de modelos físicos, tanto nominados como innominados, mediante los cuales se puede representar la ocurrencia de un accidente de tránsito, especialmente al hablar de la variable velocidad y sus condiciones particulares.

Este marco bibliográfico abarca específicamente un conjunto de modelos físicos distintos, todos derivados del modelo de trabajo simple por fricción para el cálculo de la velocidad a la que se desliza un vehículo antes del momento de colisión.

Los modelos investigados se han caracterizado por tipo de siniestro, con el propósito de establecer semejanzas y diferencias que puedan ser fácilmente identificadas por el lector al momento de seleccionar el modelo físico adecuado para su caso.

### **ALGUNOS MODELOS FÍSICOS COMUNES EN FUNCIÓN DEL TIPO DE HECHO DE TRÁNSITO**

#### **ANÁLISIS DE MODELOS FÍSICOS EN LA ACCIDENTOLOGÍA VIAL**

Antes de abordar los modelos físicos distintos o derivados del modelo de trabajo simple por fricción aplicado a la velocidad, es necesario comprender que, en el contexto de la accidentología vial, un hecho de tránsito se examina más allá de su manifestación natural. De hecho, se trata de un asunto de relevancia jurídica que requiere una interpretación desde una perspectiva técnico-científica. En este sentido, se puede considerar el hecho de tránsito como un sistema físico que se pretende analizar utilizando la ciencia de la física y un lenguaje lógico-matemático.

#### **2.1 SISTEMAS DE REFERENCIA COMUNMENTE USADOS EN RAAT**

La descripción de la ubicación y el movimiento de un cuerpo requiere de la inducción de un sistema de coordenadas espaciales que identifiquen de manera única cada punto en el

espacio, la cual determina en función del tiempo los sucesos en cualquier punto de dicho espacio.

A este conjunto de coordenadas espaciales se denomina sistema de referencia.

Cada sistema de referencia está dado por un punto denominado origen de coordenadas. El valor de las coordenadas en dicho punto es nulo. Sobre cada uno de los ejes definen vectores unitarios, indica la dirección del eje.

La finalidad de ubicar objetos en un sistema coordenado es que ese Marco de referencia pueda servir para ubicar espacialmente a la misma persona que realizará la reconstrucción O a cualquier otra persona que pretenda reproducirla.

### 2.1.1 Sistema de coordenadas cartesiana ( $x,y,z$ )

Se define por dos ejes ortogonales de un sistema bidimensional y tres ejes ortogonales en un sistema tridimensional que se cortan en el punto de origen.

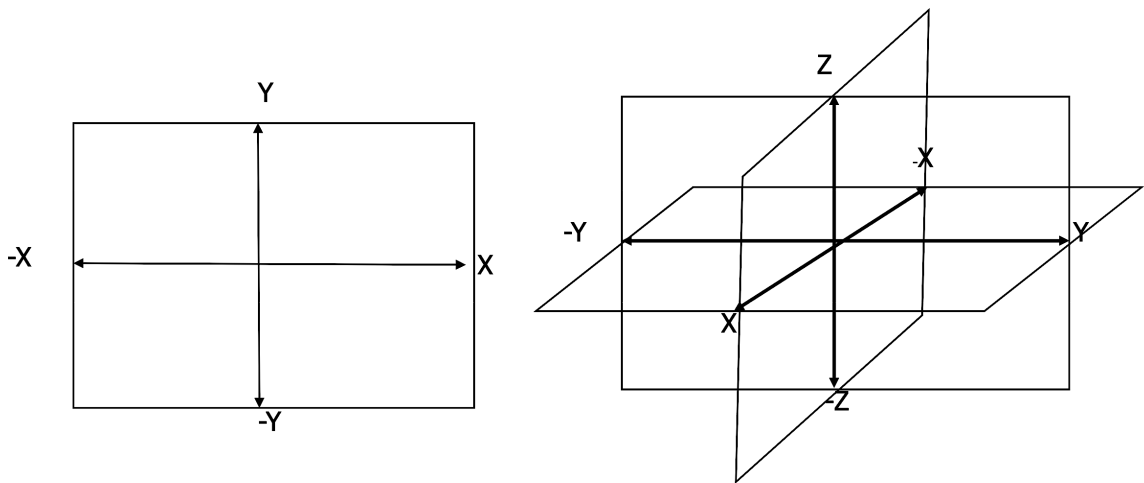


Fig. 4 Representación en 2D y 3D de un plano cartesiano respectivamente.

Recuperado de upa.sistemas de referencia

En la reconstrucción de accidentes de tránsito, la determinación de un sistema de referencia cartesiano es relevante a la hora de ubicar los objetos en el espacio.

Es muy común y cuando ha ocurrido un accidente de tránsito se ubique un objeto fijo como puede ser una alcantarilla, un poste de alumbrado eléctrico o un punto particular de GPS para asignarlo como origen de coordenadas del sistema de referencia. A partir de ese punto se mide en dos o en tres dimensiones la ubicación de cada uno de cada uno de los objetos, vehículos o personas en el espacio.

Es decir, que si se pretende medir desde el origen coordenado cuál es la ubicación por ejemplo de una huella de frenado entonces se debe ubicar el punto de origen, la distancia

en el eje X y la distancia en el eje Y. En caso de ser necesario, se puede incorporar el modelo tridimensional y colocar una coordenada Z.

### 2.1.2 SISTEMA DE COORDENADAS POLARES

Para representar la ubicación de diversos puntos en el plano también se puede utilizar el sistema de coordenadas polares. Éste sistema requiere de un ángulo ( $\theta$ ) y una distancia ( $r$ ).

Para medir  $\theta$  en radianes se necesita una semienta dirigida llamada **eje polar** y para medir  $r$ , un punto fijo llamado **polo**.

Para expresar la posición del punto P en coordenadas  $(r,\theta)$  se define un vector unitario  $\vec{u}_r$ , que indique la dirección de la línea radial que une el origen O y P, Y un vector unitario  $\vec{u}_\theta$  perpendicular a  $\vec{u}_r$ , orientado hacia valores crecientes de  $\theta$

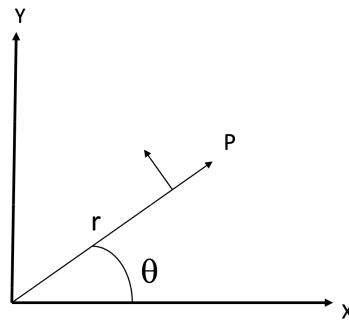


Fig. 5. Sistema de coordenadas polares.(Madrid; upa 2018)

Para este sistema en la reconstrucción de accidentes de tránsito, se ubica el origen en el lugar de ocurrencia utilizando un punto fijo. De esta manera se ubica el objeto, por lo cual únicamente se hace necesario medir la distancia entre el origen de coordenadas y el punto donde se encuentra por ejemplo el vehículo que se pretende referenciar en el sistema, así se construye el vector  $r$ . Después resta con medir el ángulo desde el eje X hacia ese punto P. Se suele usar Como referencia la ubicación del punto cardinal norte. (Madrid; upa 2018)

## MODELOS FÍSICOS POR TIPO DE HECHO DE TRÁNSITO

### 2.2. CARACTERIZACIÓN POR MODELO DE ATROPELLO

#### 2.2.1. Modelo de atropello por Searle

El modelo de atropello por Searle es un modelo físico utilizado en la accidentología para analizar accidentes de tráfico en los que un vehículo atropella a un peatón.

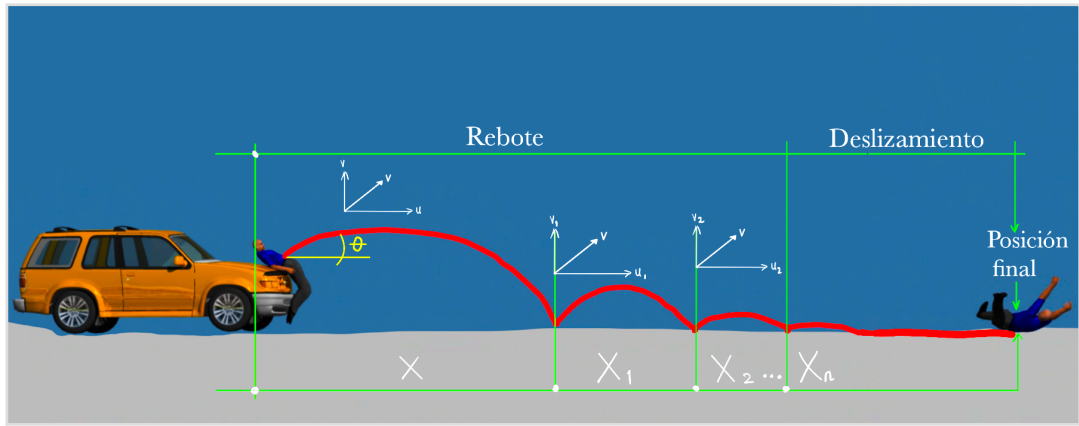


Fig. 6. Ilustración modelo de atropello de Searle 2D - Elaboración Propia

Este modelo se basa en la interacción entre el peatón y el vehículo, considerándolos como dos cuerpos en movimiento.

De la cinemática tenemos que:

$$v_f^2 = v_0^2 + 2\vec{a}d \text{ (Ec. 29 a)}$$

Donde  $v_f$  es la velocidad final,  $v_i$  es la velocidad inicial,  $\vec{a}$  es la aceleración y  $d$  es la distancia recorrida.

De la (Ec. 29 a) a la velocidad inicial la denotaremos  $v_p$

$$v_o = v_p$$

Para este modelo se debe suponer que el cuerpo llega al reposo, por lo cual la velocidad final  $v_f = 0$ .

Entonces tenemos que:

$$v_p^2 = 2\vec{a}d \text{ (Ec. 29 b)}$$

De la segunda Ley de Newton  $\vec{F} = m\vec{a}$ , despejamos la aceleración

$$\vec{a} = \frac{\vec{f}}{m}$$

En reemplazamos la aceleración en (Ec. 29 b)

$$v_p^2 = 2d \frac{\vec{f}}{m}$$

Despejamos la velocidad  $v_p$  y obtenemos que:

$$v_p = \sqrt{\frac{2\vec{F}d}{m}}$$

Así se obtiene el modelo de Searle.

## Análisis de dimensional

La ecuación  $v_p = \sqrt{\frac{2\vec{F}d}{m}}$  Modelo de Searle (Ec. 30) en unidades de SI se tiene que:

La fuerza  $\vec{F}$  está dada en [N]; la distancia d en [m]; y la masa m en [Kg]. Teniendo en cuenta que las unidades de la velocidad son en metro sobre segundo, entonces:

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[M][L][L]}{[M][T^2]}}; \text{ al resolver se obtiene}$$

$\frac{[L]}{[T]} = \frac{[L]}{[T]}$ ; lo cual es correcto, por lo tanto las unidades corresponden con la velocidad que es longitud [L] sobre tiempo [T].

$$V_p = \sqrt{\frac{2Fd}{m}} \quad \text{Modelo de Searle (Ec. 30)}^7$$

donde:  $V_p$  es la velocidad del peatón en metros por segundo; F es la fuerza neta aplicada al peatón en N; d es la distancia recorrida por el peatón durante el evento en metros; m es la masa del peatón en kilogramos.

Este modelo permite evaluar la velocidad de atropello en función de la proyección del peatón, considerando la fuerza neta aplicada y la distancia recorrida. Su aplicación facilita el análisis de las circunstancias y las consecuencias de un atropello, lo cual es fundamental para la reconstrucción de los hechos y la determinación de responsabilidades en los accidentes de tráfico.

### 2.2.2. Atropello de vehículo a peatón cálculo de velocidad de proyección de peatón SEARLE 2

El modelo físico de atropello de Searle es un método utilizado en la reconstrucción de accidentes de tráfico para determinar la velocidad de un vehículo al momento del impacto. Fue desarrollado por el ingeniero británico John Searle en los años 60 y se basa en el estudio de las señales de deformación en el vehículo y en el peatón al momento del impacto. (colaboradores, 2023).

Recordemos:

---

<sup>7</sup> **Suposiciones del modelo físico:** la fuerza aplicada sobre un cuerpo es constante, el movimiento es rectilíneo, la masa del móvil es constante, la distancia debe ser conocida o debe poder conocerse.

$$c^2 = a^2 + b^2 \text{ (Ec. 31)}$$

Lo primero que se debe hallar es la distancia entre el punto de impacto y la posición final de la víctima. Esto se hace mediante una construcción derivada del teorema de Pitágoras.

En caso de tener las medidas en coordenadas cartesianas, para el eje X se construye la diferencia entre el punto final y el punto inicial ( $X_2 - X_1$ ) y para el eje Y se construye la diferencia entre el punto final y el punto inicial ( $Y_2 - Y_1$ ). Así se tiene que: Distancia entre dos puntos en el plano cartesiano

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \text{ (Ec. 32)}$$

donde:

d es la distancia entre los puntos;  $x_1, y_1$  son las coordenadas del primer punto;  $x_2, y_2$  son las coordenadas del segundo punto.

En caso de tener una única medida en uno de los ejes y el otro en medidas cartesianas, se modifica la ecuación en función del uso que se le vaya a dar:

Por ejemplo, en este caso se tiene que en el eje X hay una única medida y en el eje Y se construye la diferencia entre el punto final y el punto inicial ( $Y_2 - Y_1$ ). Así se tiene que:

$$d = \sqrt{(x)^2 + (y_2 - y_1)^2} \text{ (Ec. 33)}$$

Ahora que se ha hallado la distancia entre el punto de impacto y la posición final de la víctima con la aplicación del teorema de Pitágoras, se aplica el **modelo de atropello de Searle (Searle, 1983)** en cual se relaciona a continuación:

$v_f^2 - v_0^2 = -2ad$  ; es negativa porque se está desacelerando y  $v_f^2 = 0$  porque se considera que el vehículo llega al reposo.

$$ma = \mu mg; \quad a = \mu g; \quad v_0 = \sqrt{2\mu gd}$$

Searle agregó un factor de corrección para el valor  $\mu$ , el cual denominó  $k$  el cual corresponde a un valor experimental  $k = 1 + \mu^2$  e incorporó la corrección al modelo físico, lo que dio como resultado

Donde  $v$  es la velocidad,  $g$  la aceleración de la gravedad,  $\mu$  el coeficiente de fricción

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \mu \cdot d_f}{1 + \mu^2}} \text{ (Ec.34)}^8$$

Modelo de atropello de Searle – “The trajectories of pedestrians, motorcycles, motorcyclists, etc., Following a road accident – SAE 831622 – John A. Searle”

<sup>8</sup> **Suposiciones del modelo físico:** la fuerza aplicada sobre un cuerpo es constante, el movimiento es rectilíneo, la masa del móvil es constante, la distancia debe ser conocida o debe poder conocerse, el coeficiente de fricción es el promedio entre el estático y el dinámico.

considerando la corrección y  $d_f$  es la distancia de frenado del vehículo.

### **Análisis dimensional**

La velocidad se da en unidades de longitud [L] sobre tiempo [T]

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[L][L]}{[T]^2}} = \sqrt{\frac{[L]^2}{[T]^2}} = \frac{[L]}{[T]}$$

Las unidades del modelo físico son consistentes con las de la velocidad.

Donde: V: Velocidad de proyección asociada a la trayectoria recorrida por el peatón; g: Aceleración de la gravedad; u: Coeficiente de fricción; d: Distancias a la cual fue proyectado el peatón desde el punto de impacto

En este modelo, se utiliza la ecuación de conservación de la energía para relacionar la velocidad del vehículo con la cantidad de energía necesaria para causar determinado daño en el vehículo y en el peatón. La ecuación se basa en la idea de que la energía cinética del vehículo se convierte en energía de deformación en el vehículo y en el peatón.

El modelo de Searle se basa en la medición de la deformación en el vehículo y en el peatón, y en la utilización de una tabla de conversión para relacionar esta deformación con una velocidad específica. El modelo se utiliza a menudo en conjunto con otros métodos de reconstrucción de accidentes, como el análisis de las marcas de neumáticos y la entrevista a los testigos del accidente.



### 2.2.3. MODELO DE CHOQUE FRONTAL VEHICULO – OBJETO FIJO Y VEHÍCULO – VEHÍCULO

$$d = \frac{\text{Deformación}}{\text{Longitud Original}} \quad (\text{Ec. 21})$$

#### Modelo de Colisión con Deformaciones:

En colisiones reales, los vehículos experimentan deformaciones debido a la interacción de las fuerzas involucradas. Para considerar estas deformaciones, se introduce el concepto de coeficiente de deformación ( $d$ ):

#### Colisiones Frontales con Deformaciones

Consideremos ahora una colisión frontal donde ambos vehículos experimentan deformaciones. Si conocemos el coeficiente de deformación para cada vehículo, podemos calcular la velocidad final utilizando el principio de conservación de la energía cinética:

Si se tiene en cuenta el método experimental en mención, se tiene la siguiente ecuación:

$$v_{f1} = \sqrt{\frac{m_2 \cdot (1 + e) \cdot d_2}{m_1 \cdot (1 + d_1)}} \cdot v_{i1} \quad \text{Colisión frontal con deformaciones (Ec. 22)}^9$$

$v_{f1}$  corresponde con la velocidad final del vehículo 1 pos colisión;  $m_1$  y  $m_2$  son las masas de los vehículos;  $d_1$  es la deformación del vehículo 1 y  $d_2$  es la deformación del vehículo 2 respecto a la longitud original;  $e$  es el coeficiente de restitución.

La deformación está en unidades de longitud o en términos porcentuales dependiendo el caso.  $e$  es adimensional.

#### Análisis dimensional

La velocidad está dada en términos de Longitud [L] por unidad de tiempo [T]

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[M][L]}{[M][L]}} \cdot \frac{[L]}{[T]}$$

---

<sup>9</sup> **Suposiciones del modelo físico:** La masa de ambos vehículos debe ser conocida, el coeficiente de restitución debe ser conocido con una alta precisión, la longitud original de la pieza que se deforma en cada vehículo debe ser conocida. Las deformaciones de los móviles deben corresponder únicamente al choque. El modelo se usa para la primera colisión, para colisiones posteriores o de réplica se debe considerar otras aproximaciones.

$$\frac{[L]}{[T]} = \frac{[L]}{[T]}$$

En ese orden de ideas, las unidades son consistentes con la velocidad.

La teoría de colisiones de automóviles en la accidentología vial es un campo complejo que requiere un enfoque matemático y físico riguroso. A través de modelos avanzados, podemos comprender mejor cómo se comportan los vehículos en colisiones, lo que nos permite tomar medidas para mejorar la seguridad vial. El uso de fórmulas matemáticas y conceptos físicos adecuados nos ayuda a realizar análisis más precisos y fundamentados en el estudio de los accidentes automovilísticos. (Smith, J & Johnson, 2015)

La reconstrucción de accidentes de tráfico requiere de un modelo físico que represente matemáticamente las leyes físicas que rigen el comportamiento de los vehículos y otros objetos involucrados en el siniestro. Estos modelos permiten analizar y simular la dinámica del accidente, lo que ayuda a determinar la velocidad, la dirección y la posición de los vehículos en el momento del impacto. De esta manera, los resultados obtenidos de los modelos físicos son cruciales para establecer las causas y las responsabilidades del accidente.

Para la reconstrucción analítica de los hechos de tránsito, se utilizan diversos modelos físicos que simulan diferentes escenarios y permiten analizar cómo se comportaría cada uno de ellos. Por ejemplo, se pueden utilizar modelos para predecir la fuerza de impacto en un choque frontal o para determinar la velocidad a la que viajaban los vehículos en el momento del impacto. Además, estos modelos permiten hacer predicciones sobre cómo se comportaría un vehículo en una determinada situación, lo que ayuda a identificar las posibles causas de un accidente.

Es importante desarrollar modelos físicos específicos para cada tipo de accidente de tránsito por varias razones. En primer lugar, cada tipo de accidente tiene sus propias características y variables que deben tenerse en cuenta. Desarrollar modelos físicos específicos para cada tipo de accidente permite tener una representación más precisa de cómo se comportan los vehículos y los objetos en movimiento durante cada tipo de siniestro. En segundo lugar, los modelos físicos permiten hacer predicciones más precisas sobre cómo se comportaría un vehículo en un determinado accidente. Si tenemos modelos físicos específicos para cada tipo de accidente, podremos hacer predicciones más precisas sobre cómo se comportaría un vehículo en un choque frontal, por ejemplo, o en una colisión lateral. En tercer lugar, los modelos físicos ayudan a identificar las causas de un accidente de manera más precisa. Si tenemos modelos físicos específicos para cada tipo de accidente, podremos analizar cada escenario de manera más detallada y determinar con mayor precisión cuáles fueron las causas del accidente.

Para interpretar una variable concreta importante a la hora de realizar una reconstrucción, muchas veces es necesario interpretarla desde diferentes perspectivas de la física. Por ejemplo, se puede escribir la velocidad y la aceleración de diferentes maneras para tener una comprensión más completa de la dinámica del accidente. En definitiva, desarrollar modelos físicos específicos para cada tipo de accidente de tráfico es importante porque permite tener una representación más precisa de cómo se comportan los vehículos y los objetos en movimiento durante cada tipo de accidente, hacer predicciones más precisas sobre cómo se comportaría un vehículo en un determinado accidente y identificar con mayor precisión las causas de un accidente.

### **ESCENARIO 1**

Supóngase que se tiene un vehículo de masa ( $m$ ) y un muro indeformable (tiene una masa muy grande en comparación a la del vehículo) (Reno vetec, 2021b).

Si el vehículo se desplaza a una velocidad ( $V$ ) conocida y choca con ese muro, la fuerza a la que se ve sometido el vehículo se rige por la segunda ley de Newton.

La aceleración ( $a$ ) en este caso deberá interpretarse con desaceleración, esto en virtud de que una vez que el vehículo choque con el muro, va a quedar detenido, lo cual indica una disminución de la velocidad desde un valor inicial hasta el valor final, en un tiempo.

donde:  $v_f$  es la velocidad final;  $v_i$  es la velocidad inicial;  $a$  es la aceleración;  $t$  es el tiempo.

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

donde:  $v_f$  es la velocidad final;  $v_i$  es la velocidad inicial;  $t$  es el tiempo;  $a$  es la aceleración.

$$a = \frac{v_f - v_i}{t}$$

El tiempo que tardará el vehículo en detenerse en estas condiciones ideales va a depender del coeficiente de deformación del chasis, por lo cual, entre más deformable sea su chasis, más tiempo tardará en detener su avance (aunque se comprima más) y entre menos deformable sea, tardará menos tiempo en detener si avance.

$$F = m \cdot a \text{ donde: } F \text{ es la fuerza; } m \text{ es la masa; } a \text{ es la aceleración}$$

### **ESCENARIO 2**

Supóngase que ahora se tiene un vehículo de masa ( $m_1$ ) y un segundo vehículo de masa ( $m_2$ ). El Vehículo 1 se desplaza a una velocidad  $V_1$  y el vehículo 2 a una velocidad  $V_2$ . Adicionalmente el vehículo 1 tiene un coeficiente de deformación ( $CD_1$ ) y el vehículo 2 tiene un coeficiente de deformación 2 ( $CD_2$ ).

Si los vehículos se desplazan a las velocidades antes mencionadas en sentido contrario y colisionan de forma perfectamente frontal, entonces, la fuerza a la que se ve sometido el vehículo 1 se rige por la segunda ley de Newton en los siguientes términos:

A) Si  $m_1 = m_2$ ;  $V_1 = V_2$  y  $CD_1 = CD_2$  Entonces se tiene que el vehículo 1 se va a someter exactamente a la misma fuerza a la que se sometió en el escenario 1, donde colisionaba de manera frontal contra un muro indeformable y va a gastar el mismo tiempo en detener su marcha.

Esto debido a que, cuando los vehículos se chocan en estas condiciones la consecuencia es el doble de grave, pero se distribuye entre los dos vehículos de igual manera, ya que cada uno se deforma para reducir su velocidad hasta detenerse, y al tiempo absorbe parte de la energía del vehículo contrario.

Dicho de otra manera, según la tercera ley de Newton

“Si un objeto A ejerce una fuerza sobre un objeto B, entonces el objeto B debe ejercer una fuerza de igual magnitud en dirección opuesta sobre el objeto A.”

A) Si  $m_1 \neq m_2$ ;  $V_1 = V_2$  y  $CD_1 = CD_2$  entonces el vehículo de menor masa va a sufrir un mayor daño.

B) Si  $m_1 = m_2$ ;  $V_1 \neq V_2$  y  $CD_1 = CD_2$  entonces el vehículo que circula a menor velocidad es el que va a sufrir un mayor daño.

C) Si  $m_1 = m_2$ ;  $V_1 = V_2$  y  $CD_1 \neq CD_2$  entonces el vehículo que tiene un menor coeficiente de deformación es el que va a sufrir un mayor daño

En todo caso desde ahora se debe advertir que, el hecho que en una colisión frontal un vehículo se deforme en mayor medida que el otro o que el obstáculo de colisión, no quiere decir que es un factor necesariamente malo, ya que, el desarrollo de ingeniería aplicado a accidentología vial ha demostrado que, en muchas ocasiones al permitir la deformación controlada de ciertas piezas del vehículo en un hecho de tránsito, incrementa la probabilidad de salvar la vida de los ocupantes del automotor.

En análisis del presente modelo pretende servir como punto de partida a todas las combinaciones posibles que se pueden dar en la ocurrencia en un siniestro y así poder estimar cualitativamente si los resultados obtenidos son congruentes con la lógica, teniendo en cuenta la proporcionalidad de las cantidades de Masa, Velocidad y Coeficiente de Deformación, con los cuales se puede estimar la desaceleración y por consiguiente la fuerza a la que se vio sometido un vehículo en un hecho de tránsito.

La aceleración ( $a$ ) en este caso deberá interpretarse con desaceleración, esto en virtud de que una vez que el vehículo choque con el muro, va a quedar detenido, lo cual indica una disminución de la velocidad desde un valor inicial hasta el valor final, en un tiempo.

$$v_f = v_i + a \cdot t$$
$$a = \frac{v_f - v_i}{t}$$

El tiempo que tardará el vehículo en detenerse en estas condiciones ideales va a depender del coeficiente de deformación del chasis, por lo cual, entre más deformable sea su chasis, más tiempo tardará en detener su avance (aunque se comprima más) y entre menos deformable sea, tardará menos tiempo en detener si avance.

$$F = m \cdot a$$

## 2.3. CARACTERIZACIÓN POR MODELO DE VOLCAMIENTO

### 2.3.1. Velocidad crítica en curva con peralte

En accidentología, un modelo físico comúnmente utilizado para calcular la velocidad crítica en una curva con peralte (Accidentes, 2019) es el denominado "Modelo de Banked Curve" o "Modelo de curva con talud".

$$F_r = \mu N$$

$$\mu mg = m a_c ; \text{ simplificando m}$$

$$\mu g = a_c$$

$$a_c = \frac{v^2}{R}; v = \sqrt{a_c R}$$

Por lo tanto

$$v = \sqrt{\mu_t g R}$$

Teniendo en cuenta el ángulo peralte necesario para este modelo físico, se requiere una colección al termino  $\mu_t$  por lo cual a nivel experimental lo expresan como:

$$\mu_t = \frac{\cos(\theta)}{1 - \frac{\sin^2(\theta)}{\mu_t}}$$

De esta manera se obtiene el modelo físico:

$$V_c = \sqrt{\frac{gR \cos(\theta)}{1 - \frac{\sin^2(\theta)}{\mu_t}}} \quad (\text{Ec. 35})^{10}$$

Donde:  $v_c$  es la velocidad en la curva,  $g$  es la gravedad,  $R$  es el radio de la curva,  $\theta$  es el ángulo peralte y  $\mu_t$  es el coeficiente de fricción.

### Análisis dimensional

La velocidad se da en unidades de longitud [L] sobre tiempo [T]

<sup>10</sup> **Suposiciones del modelo físico:** El ángulo peralte debe ser conocido, la huella de frenado se debe medir de manera correcta en el campo, se debe conocer el radio de la curva donde ocurrió el hecho de tránsito. Se supone que el vehículo no resbala en el pavimento.

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[L][L]}{[T]^2}} = \sqrt{\frac{[L]^2}{[T]^2}} = \frac{[L]}{[T]}$$

Las unidades del modelo físico son consistentes con las de la velocidad.

En este caso, el ángulo de talud de la curva es el ángulo que forma la superficie de la carretera con la horizontal. El ángulo de talud es positivo cuando la curva tiene un peralte y negativo cuando la curva tiene una depresión.

## 2.4. CARACTERIZACIÓN POR MODELO DE CAÍDA DE OCUPANTE

### 2.4.1. Modelo simple de caída

El modelo simple de caída en accidentología se utiliza para determinar la velocidad alcanzada por un objeto en caída libre (DOCTOS CONSULTORA, s. f.). La ecuación para este modelo es la siguiente:

$$\vec{v} = v_0 - gt$$

En este modelo se asume que la  $v_0 = 0$  porque parte del reposo, por lo cual queda:

$$\vec{v} = -gt \text{ (Ec. 37)}^{11}$$

#### Análisis dimensional

La velocidad se da en unidades de longitud [L] sobre tiempo [T]

$$\frac{[L]}{[T]} = \frac{[L][L]}{[T]^2} = \frac{[L]}{[T]}$$

Las unidades del modelo físico son consistentes con las de la velocidad.

donde  $v$  es la velocidad alcanzada por el objeto en caída libre,  $g$  es la aceleración debida a la gravedad (aproximadamente  $9.8 \text{ m/s}^2$ ) y  $t$  es el tiempo transcurrido durante la caída.

Este modelo se basa en la idea de que un objeto en caída libre acelera a una velocidad constante debido a la gravedad. Es importante tener en cuenta que este modelo solo se aplica a objetos que están en caída libre, es decir, que no tienen resistencia aerodinámica y no están sujetos a ninguna otra fuerza.

## 2.5 CARACTERIZACIÓN “OTROS”

### 2.5.1. FRICCIÓN SIMPLE CON PENDIENTE

El modelo de fricción simple con pendiente (Zapata, 2020) se utiliza para analizar el movimiento de un objeto en una superficie inclinada, como una rampa. Este

---

<sup>11</sup> **Suposiciones del modelo físico:** Se debe haber medido el tiempo de frenado, la desaceleración al momento de frenado fue constante, si la velocidad inicial es distinto de cero, se debe considerar en la ecuación. La aceleración del movimiento curvilíneo es aproximadamente constante.

modelo se basa en la segunda ley de Newton, que establece que la fuerza neta es igual a la masa del objeto multiplicada por su aceleración.

La ecuación utilizada en este modelo es la siguiente:

$$F_{neta} = ma = mg \sin(\theta) - f_{kv} - f_s \text{ (Ec. 38)}$$

Donde:  $F_{neta}$  es la fuerza neta;  $m$  es la masa del objeto;  $a$  es la aceleración;  $g$  es la aceleración debida a la gravedad;  $\theta$  es el ángulo de inclinación de la rampa;  $v$  es la velocidad del objeto;  $f_k$  es la fricción cinética (proporcional a la velocidad del objeto);  $f_s$  es la fricción estática (proporcional a la fuerza normal ejercida sobre el objeto)

Para obtener la velocidad del objeto, se puede resolver la ecuación para  $v$ .

Este modelo se basa en la ecuación de movimiento que señala que la fuerza neta es igual a la masa multiplicada por la aceleración, la fuerza neta se compone de la masa multiplicada por la gravedad, la fricción cinética y la fricción estática.

### **2.5.2. MODELO DE TRABAJO SIMPLE POR DESACELERACIÓN**

En el contexto de la accidentología, el modelo de trabajo simple por desaceleración (s. f.-b) se utiliza para determinar la energía necesaria para detener un vehículo en movimiento en un accidente. La ecuación para este modelo es la siguiente:

$$W = Fd = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Ec. 39)}$$

donde  $W$  es el trabajo realizado,  $m$  es la masa del vehículo, y  $v$  es la velocidad del vehículo al momento del impacto. La ecuación se utiliza para relacionar la velocidad del vehículo con la cantidad de energía necesaria para causar daño en el vehículo y en los ocupantes en el momento del impacto.

Es importante tener en cuenta que este modelo solo se aplica a accidentes en los que el vehículo se detiene de forma abrupta, como en un impacto frontal o lateral, y no se aplica en accidentes en los que el vehículo se desliza o rola después del impacto

### **2.5.3. MODELO DE TRABAJO SIMPLE POR DESACELERACIÓN Y PENDIENTE**

El modelo de trabajo simple con desaceleración y pendiente (libro modelos físicos para accidentología vial, 2018) en accidentología, es una variación del modelo de trabajo simple por desaceleración en donde se tiene en cuenta la influencia de una pendiente en la desaceleración del vehículo. La ecuación para este modelo se ve así:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 + mgh \text{ (Ec. 40)}$$

donde  $W$  es el trabajo realizado,  $m$  es la masa del vehículo,  $v$  es la velocidad del vehículo al momento del impacto,  $g$  es la aceleración debida a la gravedad y  $h$  es la altura de la pendiente.

La ecuación se utiliza para relacionar la velocidad del vehículo con la cantidad de energía necesaria para causar daño en el vehículo y en los ocupantes en el momento del impacto, teniendo en cuenta la influencia de la pendiente en la desaceleración del vehículo. Es importante tener en cuenta que este modelo solo se aplica a accidentes en los que el vehículo se detiene de forma abrupta, como en un impacto frontal o lateral, y no se aplica en accidentes en los que el vehículo se desliza o rola después del impacto.

#### 2.5.4. MODELO DE VELOCIDAD CON FRICCIÓN Y FACTOR DE CORRECCIÓN

El modelo de velocidad con fricción y factor de corrección (6.2 Fricción - Física universitaria volumen 1 | OpenStax, s. f.) en accidentología es una variación del modelo de velocidad simple por fricción, donde se tiene en cuenta un factor de corrección para ajustar la velocidad calculada con el valor real de la velocidad.

Para el cálculo de la velocidad teniendo en cuenta el trabajo realizado por la fuerza de fricción, se parte de la Energía Cinética y se considera un factor de corrección  $k$  adimensional, para la distancia de frenado, así:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = F_r d_f ; \text{ entonces}$$

$$d_{efectiva} = k d_f ; \text{ de esta manera obtenemos}$$

$$v_0^2 = \frac{2F_r d_f k}{m}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2F_r d_f k}{m}}$$

Donde:  $m$  es la masa del vehículo;  $v_0$  es la velocidad inicial del vehículo;  $F_r$  es la fuerza de rozamiento;  $d_f$  es la distancia de frenado;  $k$  es el factor de corrección adimensional para la distancia de frenado y  $d_{efectiva}$  es la distancia total efectiva que corresponde al producto entre  $d_f$  y  $k$  (experimental del modelo particular como factor de corrección)

#### Análisis dimensional

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[M][L][L]}{[M][T^2]}}; \text{ al resolver se obtiene}$$



$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[L]^2}{[T]^2}} = \frac{[L]}{[T]}$$

$\frac{[L]}{[T]} = \frac{[L]}{[T]}$ ; lo cual es correcto, por lo tanto las unidades corresponden con la velocidad inicial del vehículo, que es longitud [L] sobre tiempo [T].

$$v_0 = \sqrt{\frac{2F_r d_f k}{m}} \quad (\text{Ec. 41})^{12}$$

### 2.5.5. MODELO DE VELOCIDAD CON FRICCIÓN Y PENDIENTE

El modelo de velocidad con fricción y pendiente (La fuerza de fricción al mantener la velocidad constante (video), s. f.-b) en accidentología es una variación del modelo de velocidad simple por fricción, donde se tiene en cuenta la influencia de una pendiente en la desaceleración del vehículo.

En un plano inclinado, con altura  $h$ , ángulo  $\theta$  e hipotenusa  $d_f$  se plantea:

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = m g h + F_r d_f ;$$

Por el teorema de Pitágoras para este plano inclinado se obtiene que  $h$  vale:

$$h = d_f \sin(\theta); \text{ la velocidad inicial en términos de } h \text{ es}$$

$$v_0 = \sqrt{2gh + \frac{2F_r d_f}{m}}$$

$$v_0 = \sqrt{2d_f \sin(\theta) + \frac{2F_r d_f}{m}} ; \text{ pero se sabe que}$$

$$F_r = \mu N = \mu m g \cos(\theta), \text{ reemplazando se tiene que}$$

$$v_0 = \sqrt{2d_f \sin(\theta) + \frac{2\mu m g \cos(\theta) d_f}{m}} ; \text{ al simplificar}$$

$$v_0 = \sqrt{2d_f(\sin(\theta) + 2\mu m g \cos(\theta))}$$

<sup>12</sup> **Suposiciones del modelo físico:** La fuerza de rozamiento debe ser constante, por lo cual es posible que para sistemas de frenado ABS haya necesidad de agregar factores de corrección. La distancia de frenado debe ser tomada en el campo. La masa del vehículo debe ser conocida.

Donde  $v_0$  es la velocidad inicial del vehículo,  $g$  es la gravedad,  $h$  es la altura del triángulo que se forma en el plano inclinado que forma la pendiente,  $F_r$  es la fuerza de rozamiento entre las llantas del vehículo y el manto vial,  $d_f$  es la distancia de frenado.

### Análisis dimensional

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[L][L]}{[T^2]}}; \text{ al resolver se obtiene}$$

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[L]^2}{[T]^2}} = \frac{[L]}{[T]}$$

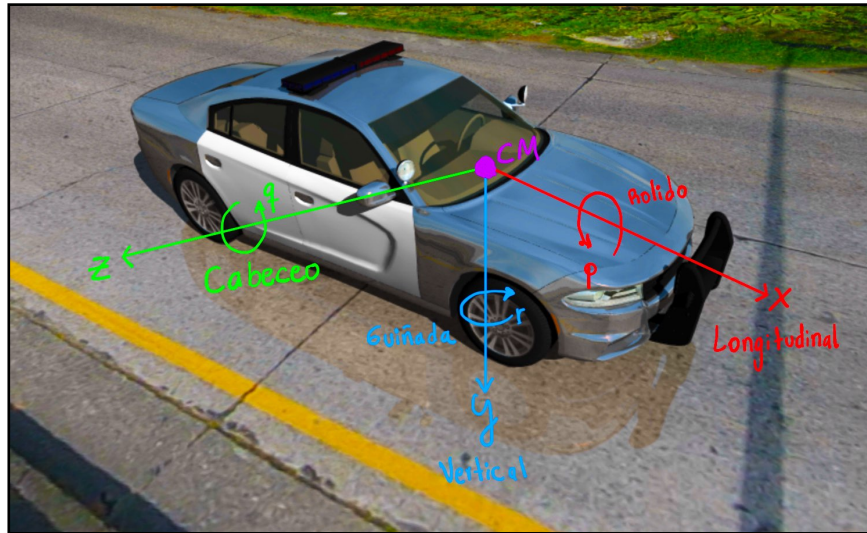


Fig. 8 Ejes principales de un vehículo - Elaboración Propia

$\frac{[L]}{[T]} = \frac{[L]}{[T]}$ ; lo cual es correcto, por lo tanto las unidades corresponden con la velocidad inicial del vehículo, que es longitud  $[L]$  sobre tiempo  $[T]$ .

$$v_0 = \sqrt{2d_f(\sin(\theta) + 2\mu mg \cos(\theta))} \quad (\text{Ec. 42})^{13}$$

donde  $v$  es la velocidad del vehículo al momento del impacto,  $f_{\text{friccion}}$  es la fuerza de fricción entre el vehículo y la superficie de la carretera,  $d$  es la distancia

<sup>13</sup> **Suposiciones del modelo físico:** El coeficiente de fricción debe ser conocido. La masa del vehículo debe ser conocida y el ángulo de la pendiente debe tomarse de manera adecuada en la visita de campo.

recorrida durante el frenado,  $m$  es la masa del vehículo,  $g$  es la aceleración debida a la gravedad y  $\theta$  es el ángulo de inclinación de la pendiente.

Este modelo se basa en la ecuación de movimiento que señala que la fuerza neta es igual a la masa multiplicada por la aceleración, la fuerza neta se compone de la masa multiplicada por la gravedad, la fricción cinética y la fricción estática, considerando la influencia de la pendiente en la desaceleración del vehículo.<sup>14</sup>

### 2.5.6. MODELO DE VELOCIDAD CON DESACELERACIÓN

El modelo de velocidad con desaceleración en accidentología se utiliza para determinar la velocidad de un vehículo al momento del impacto en un accidente, teniendo en cuenta la desaceleración del vehículo. La ecuación para este modelo se ve así:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 - \vec{a}t \text{ (Ec. 43)}$$

El signo menos de la aceleración es debido a que está desacelerando.

#### Análisis dimensional

La velocidad se da en unidades de longitud [L] sobre tiempo [T]

$$\frac{[L]}{[T]} = \frac{[L][L]}{[T]^2} = \frac{[L]}{[T]}$$

Las unidades del modelo físico son consistentes con las de la velocidad.

donde  $v$  es la velocidad del vehículo al momento del impacto,  $v_0$  es la velocidad inicial del vehículo antes del impacto,  $a$  es la desaceleración del vehículo durante el impacto y  $t$  es el tiempo transcurrido durante el impacto (Ecuaciones y Gráficas del Movimiento Armónico Simple, s. f.).

La ecuación se utiliza para relacionar la velocidad del vehículo con la cantidad de energía necesaria para causar daño en el vehículo y en los ocupantes en el momento del impacto. Es importante tener en cuenta que este modelo solo se aplica a accidentes en los que el vehículo se detiene de forma abrupta, como en un impacto frontal o lateral, y no se aplica en accidentes en los que el vehículo se desliza o rola después del impacto.

### 2.5.7. MODELO DE CINEMETRÍA O ANALISIS DE CINE:

---

<sup>14</sup> Las representaciones en 3D realizados se soportaron en el software Virtual Crash 3D debidamente licenciado, proporcionado por la firma EJIP S.A.S. el cual es ampliamente utilizado para realizar RAAT.

Hay varias maneras de medir la velocidad de un automóvil utilizando un video. Una forma común es utilizar el método de "cinemetría" o "análisis de cine". Este método implica tomar medidas de distancia y tiempo de un objeto en movimiento en un video y utilizar las leyes de la física para calcular la velocidad del objeto.

Para medir la velocidad de un automóvil con un video, puede seguir los siguientes pasos:

1. Seleccione un punto fijo en el video, como un poste o una señal de tráfico.
2. Seleccione un punto en el automóvil que desea medir la velocidad, como el faro delantero.
3. Anote el tiempo en el video en el que el automóvil pasa el punto fijo y el punto en el automóvil que seleccionó.
4. Utilice una regla o una cinta métrica para medir la distancia entre el punto fijo y el punto seleccionado en el automóvil en la vida real.
5. Utilice la fórmula de velocidad (velocidad = distancia / tiempo)

$$v = \frac{x}{t} \text{ (Ec. 44)(Velocidad, s. f.)}$$

para calcular la velocidad del automóvil en ese momento.

### **Análisis dimensional**

La velocidad se da en unidades de longitud [L] sobre tiempo [T]

$$\frac{[L]}{[T]} = \frac{[L][L]}{[T]^2} = \frac{[L]}{[T]}$$

Las unidades del modelo físico son consistentes con las de la velocidad.

Es importante tener en cuenta que el análisis de cine es una técnica aproximada y no es tan precisa como medir la velocidad con un radar o un dispositivo GPS. Es importante tener en cuenta las limitaciones de la técnica y de la calidad del video para obtener una medición precisa de la velocidad.

### **2.5.8. VELOCIDAD POR RADIO DE CURVA**

El modelo de velocidad por radio de curva en accidentología vial (Accidentes, 2019) se utiliza para determinar la velocidad máxima segura que un vehículo puede alcanzar al tomar una curva.

En un diagrama de cuerpo libre para una calzada en curva, con peralte se tiene que:

$$\sum \vec{F}_x = m \frac{v^2}{r} = N \sin(\theta) + \mu_s N \cos(\theta)$$

$$\sum \vec{F}_y = 0 = N \cos(\theta) + \mu_s N \sin(\theta) - mg$$

Resolviendo para  $\vec{v}$  máxima en la curva da:

$$v_{max} = \sqrt{rg \frac{\sin(\theta) + \mu_s \cos(\theta)}{\cos(\theta) - \mu_s \sin(\theta)}}$$

$F_{neta} = m \frac{v^2}{r}$ ; y que  $f = \mu_s N$ ; Donde F es la fuerza neta m es la masa del vehículo, v es la velocidad máxima de desplazamiento,  $\mu_s$  es el coeficiente de fricción estático.

### Análisis dimensional

La velocidad se da en términos de longitud sobre el tiempo, el radio en términos de longitud, la gravedad en términos de longitud sobre tiempo al cuadrado entonces tenemos que:

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[L][L]}{[T^2]}}$$

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[L^2]}{[T^2]}}$$

$$\frac{[L]}{[T]} = \frac{[L]}{[T]}$$

lo cual es correcto, por lo tanto las unidades corresponden con la velocidad inicial del vehículo, que es longitud [L] sobre tiempo [T].

donde v es la velocidad máxima segura del vehículo, g es la aceleración debida a la gravedad (aproximadamente 9.8 m/s<sup>2</sup>) y r es el radio de la curva.

Si consideramos a detalle los términos a detalle tenemos:

$$v_{max} = \sqrt{rg \frac{\sin(\theta) + \mu_s \cos(\theta)}{\cos(\theta) - \mu_s \sin(\theta)}} \text{ (Ec. 46)}$$

Donde: V es la velocidad; g es la aceleración debido a la gravedad; R es el radio de la curva;  $\alpha$  es el ángulo de inclinación de la carretera;  $\mu$  es la coeficiente de fricción;  $\beta$  es el ángulo de la carretera con respecto a la horizontal.

Este modelo se basa en la idea de que la velocidad máxima segura que un vehículo puede alcanzar al tomar una curva está determinada por la relación entre la fuerza centrífuga y la fuerza de rozamiento entre las ruedas del vehículo y la superficie de

la carretera. A medida que la velocidad del vehículo aumenta, la fuerza centrífuga también aumenta, lo que aumenta el riesgo de que el vehículo derrape o se salga de la carretera. Por lo tanto, el radio de la curva es un factor importante en la determinación de la velocidad máxima segura que un vehículo puede alcanzar.

Este modelo se utiliza para diseñar carreteras y para investigar accidentes de tráfico en los que un vehículo se sale de la carretera al tomar una curva. Es importante tener en cuenta que el radio de la curva no es el único factor que afecta a la velocidad máxima segura, también se deben tener en cuenta las condiciones climáticas, el estado de la carretera, el estado de los neumáticos, entre otros.

### 2.5.9. VELOCIDAD CRÍTICA EN CURVA SIN PERALTE

La velocidad crítica en una curva sin peralte es la velocidad máxima a la cual un vehículo puede tomar una curva sin derrapar. Esta velocidad se determina a través de la fricción entre las ruedas del vehículo y la superficie de la carretera, así como por la geometría de la curva y las características del vehículo. Un modelo físico para calcular la velocidad crítica en una curva sin peralte podría incluir ecuaciones que describen la relación entre la fricción, el ángulo de la curva, la masa del vehículo y su velocidad.

En accidentología, un modelo físico comúnmente utilizado para calcular la velocidad crítica en una curva sin peralte es el denominado "Modelo de Schröder-Henderson" (Accidentes, 2019). Este modelo utiliza la fórmula:

Para este modelo físico se considera un factor de corrección para el coeficiente de fricción desde los ensayos de experimentales realizados por el autor del artículo.

Se discrimina entre el coeficiente de fricción efectivo y el coeficiente de fricción ya que para componer el coeficiente de fricción efectivo al coeficiente de fricción se le suma el citado factor de corrección experimental de la siguiente manera:

$$F_r = \mu N = \mu mg = ma_c$$

Recordando que  $\mu g = a_c$  y que  $a_c = \frac{v^2}{R}$  entonces:

$$v = \sqrt{\mu g R}$$

Entonces al valor de coeficiente de fricción  $\mu$  se le suma un factor de corrección  $k_0$  y se le llama factor de corrección experimental  $\mu_{efectivo}$ .

$$\mu_{efectivo} = \mu + \sqrt{1 - \mu^2}$$

Así se obtiene el valor de la velocidad para este modelo físico

$$v = \sqrt{g R \mu_{efectivo}}$$

$$V_c = \sqrt{gR \left( \mu + \sqrt{1 - \mu^2} \right)}$$

### Análisis dimensional

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[L][L]}{[T]^2}}; \text{ al resolver se obtiene}$$

$$\frac{[L]}{[T]} = \sqrt{\frac{[L]^2}{[T]^2}} = \frac{[L]}{[T]}$$

$\frac{[L]}{[T]} = \frac{[L]}{[T]}$ ; lo cual es correcto, por lo tanto las unidades corresponden con la velocidad inicial del vehículo, que es longitud [L] sobre tiempo [T].

$$V_c = \sqrt{gR \left( \mu + \sqrt{1 - \mu^2} \right)} \text{ (Ec. 47)}^{15}$$

donde:  $V_c$  es la velocidad crítica en m/s;  $g$  es la aceleración debida a la gravedad en  $m/s^2$ ;  $R$  es el radio de curvatura de la curva en metros;  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre las ruedas del vehículo y la superficie de la carretera

Después de realizar la investigación bibliográfica de los anteriores modelos físicos, se puede concluir que existen modelos distintos al de trabajo simple por fricción para el cálculo de la velocidad, que permiten, dependiendo de las condiciones particulares del caso, calcular la velocidad de desplazamiento de un vehículo.

Esto es importante porque se empieza a desdibujar la hipótesis comúnmente aceptada entre algunos operadores judiciales y en el ámbito de la reconstrucción analítica de

---

<sup>15 15</sup> **Suposiciones del modelo físico:** Se debe conocer de manera precisa el radio de la curva, el coeficiente de fricción se considera como el promedio entre el valor estático y dinámico. Se supone la desaceleración como constante en el momento del hecho de tránsito.

accidentes de tránsito, donde se afirma que si no existe una huella de frenado, no se puede calcular la velocidad de desplazamiento de un vehículo.

Por el contrario, existen múltiples modelos físicos que se pueden deducir de los conceptos definidos en el primer capítulo y los investigados y plasmados en este segundo capítulo.

Adicionalmente, se debe mencionar que la física empleada a lo largo de esta tesis es, en su mayoría, física mecánica fundamental. En todo caso, es posible refinar muchos de los modelos presentados mediante aproximaciones numéricas, computación y matemáticas avanzadas. Sin embargo, el propósito de este trabajo es establecer unas bases que sean un punto de partida para profesionales de distintas áreas que deseen incursionar y avanzar a nivel práctico y en trabajos investigativos de Accidentología vial.

La caracterización de los modelos físicos hallados pretende convertirse en un indicador para que el lector pueda seleccionar de forma más intuitiva un potencial modelo de reconstrucción analítica de Accidentes de Tránsito para su caso.

En el siguiente capítulo se analizarán los análisis realizados por peritos a los casos de estudio, que son casos reales, y las decisiones que se han tomado en torno a dichos análisis.

Este ejercicio es de gran relevancia porque da un contorno a la idea de este trabajo, que es evidenciar cómo en algunas ocasiones el desconocimiento por cuenta de los operadores judiciales y de los mismos peritos puede llegar a tener consecuencias trascendentales. Es decir, se pretende ilustrar cómo la falta de adecuación de un modelo físico con un accidente de tránsito puede llegar a cambiar de manera radical el curso de un caso y, en muchas ocasiones, su consecuencia jurídica.



# ■ **CAPITULO 3. MODELOS FÍSICOS APLICADOS. CASOS DE PROCESOS DE RESPONSABILIDAD PENAL Y CIVIL**

---

## **NOTA PRELIMINAR DEL AUTOR**

El objetivo de este capítulo es ilustrar y evidenciar, desde el punto de vista jurídico y pericial, el cumplimiento de los objetivos de esta tesis. No se pretende intervenir, tomar partido en los procesos o criticar de forma negativa la labor realizada por la administración de justicia o los peritos involucrados en dichos procesos.

Este trabajo tiene fines exclusivamente académicos, pedagógicos y formativos, por lo tanto, se solicita que sea leído con discreción. La información aquí presentada respecto a las decisiones judiciales se obtuvo de bases de datos públicas, por lo cual, bajo el principio de publicidad que impera en el marco jurídico Colombiano, es válido emplearla para su estudio.

Adicionalmente, los peritajes realizados para el desarrollo de los casos en las decisiones judiciales, en algunos casos fueron realizados por el autor de esta tesis, o en su defecto, se cuenta con la autorización de las firmas de abogados que los suscribieron y, por ende, de las personas involucradas en el proceso. Sin embargo, se han sustituido los nombres de las personas y cualquier información que pueda permitir su identificación, con el fin de preservar su privacidad.

### 3.1 CASOS EN EL ÁMBITO PENAL

#### ~ **CASO DE ESTUDIO A: Rad. 170016000060202103251 decisión de segunda instancia, lesiones personales culposas.**

##### □ **1A. DECISIÓN JUDICIAL**

En el Caso A, se ha observado que en múltiples ocasiones, la utilización de un modelo físico específico en el desarrollo propuesto para establecer la forma en que ocurrió un hecho de tránsito tiene una consecuencia directa en el ámbito jurídico.

En este caso, el juez, en su calidad de perito de peritos, argumentó que no se empleó una fórmula que, según su criterio, podría haber permitido establecer la velocidad de manera correcta. Como resultado, decidió revocar la decisión de primera instancia de no precluir el proceso y optó por precluirlo.

El perito, al responder al cuestionario, buscaba sentar las bases para una acción de tutela contra la providencia judicial. Argumentaba que el modelo físico utilizado para sustentar la decisión del juez no se adecuaba a la situación fáctica concreta del caso de hecho de tránsito.

En el estudio de este caso, se evidencia claramente cómo el uso inadecuado de un modelo físico para representar un caso de siniestro vial puede derivar en un cambio en la consecuencia jurídica atribuible al caso, ya sea endilgando o absolviendo de responsabilidad a una persona imputada en un proceso.

##### **Resumen del caso A**

*“El día 10/12/2021 siendo aproximadamente las 20:15 horas informa el radio operador de la central de radio de la Policía de Tránsito la ocurrencia de un hecho de tránsito en el sector de Mall plaza, de inmediato me desplazo al lugar indicado y al llegar al sitio más exactamente en la carrera 14 calle 57E, se aprecia un tramo de la vía recta, plano, con andes, con bahía de estacionamiento, una calzada, dos carril, un solo sentido de circulación, material concreto en regular estado, con fisuras, tiempo seco, con señalización vertical SR34 (zona de estacionamiento de taxis), SR30 (velocidad máxima 30 kilómetros por hora), SR28A (prohibido parquear o detenerse), SP55A (iniciación de separador un sentido sentido), se aprecia también línea de pare y paso peatonal, línea central blanca segmentada, se encuentra sobre la vía un vehículo tipo motocicleta marca Yamaha línea XTZ123, color negro-verde de **placa A**, posición de volcamiento lateral derecho sobre el paso peatonal el cual es interviniente en hecho de tránsito tipo atropello con un peatón que se movilizaba por el lugar de los hechos. Al sitio llegó personal paramédico de bomberos que le presto los primeros auxilios a la persona lesionada y posteriormente la traslada al hospital de Caldas para recibir la atención médica. Seguidamente se procede a realizar la respectiva fijación fotográfica y topográfica plasmado en el croquis las características de la vía, señalización vial y demás características del lugar, se indaga la presencia de algún testigo de los hechos, siendo relacionada una femina en las presentes*

*diligencias, se inmoviliza el vehículo interviniente en patios de Veracruz-Via la india siendo puesta a disposición de la autoridad judicial". (Tomado del Informe ejecutivo FPJ - 3)*

---

**RAMA JUDICIAL DEL PODER PÚBLICO**



**JUZGADO QUINTO PENAL DEL CIRCUITO  
MANIZALES, CALDAS**

**Código 170013104005**

*Manizales, Caldas, veintidós (22) de diciembre de dos mil veintidós (2022)*

*Hora: 2:30 p. m.*

***Exposición del punto que se trata***

*El Juzgado Cuarto Penal Municipal con Función de Conocimiento de Manizales, mediante decisión del 25 de noviembre, decidió no precluir el Proceso Penal **Radicado n.º 17001600006020210325100** en desfavor del señor **Persona 1A** a quien se indicia de la comisión del delito de **Lesiones personales culposas**, del que fue víctima el señor **Persona 2A**.*

*La decisión fue impugnada por la Fiscalía Primera Local a través del recurso ordinario de apelación que, oportunamente, interpuso y sustentó, permitiendo el Juez que los no recurrentes se pronunciaran, de conformidad con el artículo 178 del Código de Procedimiento Penal, modificado por el artículo 90 de la Ley 1395 de 2010.*

***Fundamentos jurídicos y motivación***

*En relación con los accidentes de tránsito, surgen múltiples hipótesis como causas generadoras del mismo, sin duda el acopio probatorio que se recauda en unos eventos se puede tornar exhaustivo y para otros no necesarios. Desde el mismo momento de ocurrencia del siniestro se elaboran, entre tantas, varias pruebas técnico legales o informes periciales de este, tales como la valoración y descripción de las lesiones de las personas, la verificación de la beodez de los conductores, experticia a los vehículos, informes de policía judicial de tránsito (informe de accidentes, inspección a la escena del delito, informe ejecutivo, álbum fotográfico, bosquejos, entre otros), recopilación de lo grabado filmicamente en las cámaras de seguridad cercanas al lugar del suceso, o bien se constata con las autoridades el tipo y las señales de tránsito que hay en el sitio de los hechos, aspectos que sirven de manera técnica o científica para consolidar el conocimiento del Juez.*

*Ahora bien, como se dijo con antelación, en otros casos es necesario obtener las opiniones personales de los involucrados que permitan reconstruir el hecho y establecer de manera más cerca probable como este ocurrió, cual es la correlación de todas las evidencias identificadas y su rol o momento dentro del mismo siniestro vial para identificar la o las causas probables desde la seguridad vial.*

*En ocasiones se debe llegar al extremo de realizar modelos físicos del accidente basado en las leyes de la física, como ocurrió en el caso sub examine, donde le presentó el Defensor al A Quo una base escrita de opinión pericial sobre una nueva y posible causa de la ocurrencia del accidente, valga anunciar desde ya, logró el perito establecer que la probable velocidad de la motocicleta conducida por el procesado circulaba entre 31 y 38 km horarios de velocidad, inexactitud matemática que consideró surge por la indebida aplicación del resultado de modelo físico en el cual, mediante leyes de la dinámica ( $V_2^2 - V_1^2 : 2ad$ ), de dinámica sumatorio de cuerpo libre ( $a: -uN/m: -ug$ ), un vehículo desacelera a lo largo de una distancia sobre una superficie plana y queda detenido en su totalidad al final de esa distancia; hasta donde comprendo, por información científica que consulté, estas fórmulas dan el resultado de la velocidad con precisión.*

*A consecuencia de esas pruebas acopiadas se puede asegurar que en este asunto aparecen dos hipótesis del accidente de tránsito: una que considera que el transeúnte pasó el carril central de la avenida, por encima del prado, fuera de la margen de paso peatonal, e ingresó a la calzada, estando embriagado, como una testigo lo manifestó en entrevista y por las evidencias físicas observadas en la escena del crimen, como botellas de licor que quedaron documentadas en el registro filmico que grabó el lamentable accidente.*

*La otra hipótesis, simplemente, es que el aquí procesado desatendió la señal reglamentaria que hay en la escena del crimen, que obligaba el conducir a 30 kilómetros por hora en ese sector, es más, que de forma negligente el indiciado no supo eludir el peatón aquí víctima pudiendo y teniendo la oportunidad de hacerlo, ello sustentado en el informe de reconstrucción física del accidente de tránsito e igualmente aquello correlacionado con la filmación a que se hace referencia.*

*Estima este judicial, a contrario sensu como lo hace el A Quo, esas pruebas son suficientes para tomar actualmente una decisión, verbo y gracia, si el dictamen de recreación física establece que iba a más de 50 kilómetros por hora, nada le quita ni le resta a la hipótesis, pues la misma ya está planteada, o bien que se omitió realizar el examen de embriaguez al señor Persona 2A por parte de la policía judicial en el momento de la escena del crimen, no cambia la hipótesis planteada de que él estaba en estado de beodez, como lo delata la testigo que fue entrevistada, de ahí que recopilar otras pruebas para verificar esto se torna innecesario, pues la propia víctima fue percibida por la policía judicial en tal estado, simplemente, sería confirmar lo ya probado, por ejemplo, accediendo a la historia clínica de la víctima.*

*Este Despacho no puede desgastarse poniendo de presente todas las tesis de imputación objetiva, pues, obviamente, con el discurrir de lo petitionado y el recurso, se sabe que sobre esos temas los sujetos procesales lo comprenden, solo se coloca de presente desde la concepción funcionalista que el delito imprudente no es pues la constatación de la nuda evolución del acontecer causal hacia el resultado, ni tampoco la simple valoración de criterios de previsibilidad de lo previsible como esencia de la culpabilidad; se requiere en consecuencia la constatación de un desvalor inicial. Es claro, el*

*desvalor de la acción en el delito imprudente se constituirá por la infracción al deber objetivo de cuidado aunado al cual habrá de establecerse un desvalor de resultado; se ha de recordar finalmente la obra del profesor Yesid Reyes Alvarado, llamada “Imputación objetiva”, Editorial Temis S.A., Bogotá 1996, p.p. 160 y 161, quien haciendo referencia a la elevación del riesgo expresa que: “...la elevación de riesgo es la forma clásica de creación de un riesgo desaprobado, pues supone siempre un peligro mayor del jurídicamente tolerado para el ejercicio de determinadas actividades; un análisis crítico del empleo que suele hacer de la teoría de la elevación del riesgo como mecanismo para determinar la realización de riesgos y en ocasiones como comprensiva de toda una teoría de la imputación objetiva, será afrontado en un capítulo posterior.. Importa aquí destacar la consideración de un riesgo como jurídicamente desaprobado no depende de la elevación o disminución del riesgo como tal, sino exclusivamente de que el autor comporte de manera diversa como le era exigible, esto es, la desaprobación del riesgo se deriva exclusivamente de la defraudación de las expectativas de comportamiento social. En consecuencia, consideramos incorrecta la difundida afirmación de que toda conducta que disminuye un peligro no es generadora del riesgo desaprobado, porque asume equivocadamente que el factor determinante de la desvalorización del riesgo es simplemente disminución cuantitativa...”.*

*Para establecer quién de ellos elevó el riesgo, simplemente se cuestiona ¿si el peatón pasa por el sitio que está predispuesto para el paso peatonal, el accidente hubiese ocurrido? Se asevera que ello no hubiese sucedido, porque el paso peatonal estaba 10 metros delante del conductor de la motocicleta, dando la oportunidad esa distancia de atender la señal reglamentaria de disminución de velocidad a 30 kilómetros por hora, así se diga que ese sitio se encontraba con la señalización deteriorada.*

*La otra pregunta es ¿si el conductor de la motocicleta hubiese conducido a una velocidad inferior a 30 kilómetros horarios, el accidente hubiese ocurrido? Y, efectivamente, se afirma que sí, puesto que su actuar se torna temerario ante el peligro concreto y no simplemente presunto, ora se dirá seguidamente que ¿a esa velocidad inferior a 30 Km/H, lo podía haber eludido? Se dirá que no, pues si lo hacía ponía en riesgo su vida, la autoprotección es instintiva.*

*Se concluye, por ende, que en la culpa temeraria en la causa eficiente del resultado es la hipótesis que prima. En la culpa temeraria el observador percibe la creación de un peligro prohibido en forma tan clara que la externalidad de su comportamiento muestra un plan dirigido a la producción del resultado, el cual no debe confirmarse con la existencia subjetiva.*

*Obsérvese que la temeridad opera, sobre todo, cuando bajó del separador que estaba con prado a la zona de circulación de vehículo y no tanto de su embriaguez, última situación que puede explicar el porqué de su actuar temerario. La externalidad de su actuar, desde ese punto subjetivo, se dirá que hay una declaración de que él se encontraba embriagado o bien había tomado licor, se repite, lo que posiblemente le impidió la percepción del peligro concreto de su acción.*

*Como se puede ver en esta hipótesis, la principal causa del accidente, se asevera de llegar a juicio, continuaría perenne, pues si ella provoca duda con respecto a la otra hipótesis, la de que el conductor iba a exceso de velocidad, obviamente debe absolverse en favor del procesado. Simplemente, se dirá que trasunto de estos principios superiores y supralegales es el contenido que emana del*

ordenamiento adjetivo penal, en el sentido que no podría dictarse sentencia condenatoria sin que existiera el conocimiento y el convencimiento acerca del delito y de la responsabilidad del acusado, más allá de toda duda (artículos 7 y 381 del C.PP).

Estos postulados se pueden actualizar perfectamente en estos estadios previos a la sentencia, para evitar el suplicio al procesado, como sería el enjuiciamiento, ya que esta garantía empieza y permanece durante todas las fases de la investigación y juzgamiento.

Se remata diciendo que es obligación de este Despacho atender los Principios Universales de Derecho como **Presunción de Inocencia**<sup>1</sup> y, sobre todo, el del **In dubio pro reo**, recogidos en nuestra normatividad en los artículos 29 de la Carta Política, 7o del Código de Procedimiento Penal<sup>2</sup> y 14 de la Ley 74 de 1968, donde consagra la prevalencia en desarrollo de las actuaciones penales, el principio de la presunción de inocencia según el cual toda persona se presume inocente y debe ser tratada como tal mientras no se produzca una declaración judicial definitiva sobre su responsabilidad penal, en dichas actuaciones toda duda debe resolverse a favor del sindicado.

---

<sup>1</sup> "Este principio fundamental de civilidad es el fruto de una opción garantista a favor de la tutela de la inmunidad de los inocentes, incluso al precio de la impunidad de algún culpable" - DERECHO Y RAZÓN- Ferrajoli Luigi.

<sup>2</sup> ARTÍCULO 7o. PRESUNCIÓN DE INOCENCIA E IN DUBIO PRO REO. Toda persona se presume inocente y debe ser tratada como tal, mientras no quede en firme decisión judicial definitiva sobre su responsabilidad penal.

En consecuencia, corresponderá al órgano de persecución penal la carga de la prueba acerca de la responsabilidad penal. La duda que se presente se resolverá a favor del procesado.

Con las anotaciones hechas, lo único claro es que la presunción de inocencia de Persona 1A sigue vigente. El Estado, a través de su órgano de persecución de la acción penal, no pudo y no podrá desvirtuarla y, por ello, la medida ponderada y razonada, sobre todo que consulte y ampare la presunción de inocencia, será la reclamada por la Fiscalía, esto es, la **PRECLUSION DE LA INVESTIGACIÓN POR IMPOSIBILIDAD DE DESVIRTUAR LA PRESUNCIÓN DE INOCENCIA**.

Corolario de lo discurrido, este Juzgado toma la

### **Decisión de segunda instancia de**

**Primero: Revocar** la decisión tomada en la Audiencia realizada el 25 de noviembre de 2022 y, en su defecto, **PRECLUIR el Proceso Penal Radicado n.º 17001600006020210325100** seguido en desfavor del señor **Persona 1A** a quien se indicia de la comisión del delito de **Lesiones personales culposas**, del que fue víctima el señor **Persona 2A**.

**Segundo:** De existir medida de aseguramiento impuesta por el delito del que aquí se le indiciaba o alguna medida restrictiva de la libertad ordenada por la Fiscalía, se ordena desde ahora su revocatoria.

**Tercero: Exonerar** al absuelto al pago de indemnización de perjuicios.

**Cuarto: Remítase** el proceso al Centro de Servicios Judiciales para que se continúe con el trámite pertinente. Una vez recepcionado por el Juzgado Cuarto Penal Municipal con Función de Conocimiento de Manizales, dará los informes de que trata el artículo 166 del Código de Procedimiento Penal e informará que la entrega provisional que la Fiscalía hizo del velocípedo, por intermedio del Juez de Control de Garantías, se tornará definitiva, remitiendo los oficios respectivos.

### **Notificación**

Lo aquí decidido queda notificado en estrados.

### **Recursos**

La anterior decisión no admite recurso alguno.

**JUEZ CASO A**

**JUEZ**

---

En ningún caso podrá invertirse esta carga probatoria.

Para proferir sentencia condenatoria deberá existir convencimiento de la responsabilidad penal del acusado, más allá de toda duda.

---

## □ 2A. CONCEPTO PERICIAL

---

### **Dr. Apoderado 1A**

#### **Asunto:**

Respuesta a cuestionario formulado

Referencia de Proceso: 17001600006020210325100

Por medio del presente me dispongo a dar respuesta a las preguntas sobre física mecánica formuladas por ustedes el 09 de enero de 2023, relacionadas con el caso de atropello de una motocicleta a un peatón, donde se vieron involucrados los señores Persona 1A y Persona 2A, en el que realicé un informe pericial de Reconstrucción Analítica de Accidente de Tránsito.

#### **CONTEXTO**

6. El 13/10/2022 recibí solicitud por cuenta del Dr. Apoderado 1A, para realizar Reconstrucción Analítica de Accidente de Tránsito en el proceso número 170016000060202103251, que consistió en el atropello por cuenta de una motocicleta a un peatón, donde se vieron involucrados los señores Persona 1A y Persona 2A.
7. Con la solicitud, se recibió el conjunto de EMP y EF el cual fue usado para realizar el análisis de viabilidad técnica del caso. Este es un filtro que se realiza antes de conceptuar formalmente, ya que existen casos que pese a que puedan tener viabilidad jurídica, no tienen viabilidad técnica.
8. A partir de la información proporcionada por la parte solicitante, se puede resumir la situación fáctica objeto de análisis a partir de la siguiente narración:

“El día 10/12/2021 siendo aproximadamente las 20:15 horas informa el radio operador de la central de radio de la Policía de Tránsito la ocurrencia de un hecho de tránsito en el sector de Mall plaza, de inmediato me desplazo al lugar indicado y al llegar al sitio más exactamente en la carrera 14 calle 57E, se aprecia un tramo de la vía recta, plano, con andes, con bahía de estacionamiento, una calzada, dos carril, un solo sentido de circulación, material concreto en regular estado, con fisuras, tiempo seco, con señalización vertical SR34 (zona de estacionamiento de taxis), SR30 (velocidad máxima 30 kilómetros por hora), SR28A (prohibido parquear o detenerse), SP55A (iniciación de separador un



sentido sentido), se aprecia también línea de pare y paso peatonal, línea central blanca segmentada, se encuentra sobre la vía un vehículo tipo motocicleta marca Yamaha línea XTZ123, color negro-verde de placa A, posición de volcamiento lateral derecho sobre el paso peatonal el cual es interviniente en hecho de tránsito tipo atropello con un peatón que se movilizaba por el lugar de los hechos. Al sitio llegó personal paramédico de bomberos que le prestó los primeros auxilios a la persona lesionada y posteriormente la trasladó al hospital de Caldas para recibir la atención médica. Seguidamente se procede a realizar la respectiva fijación fotográfica y topográfica plasmado en el croquis las características de la vía, señalización vial y demás características del lugar, se indaga la presencia de algún testigo de los hechos, siendo relacionada una fémina en las presentes diligencias, se inmoviliza el vehículo interviniente en patios de Veracruz-Vía la India siendo puesta a disposición de la autoridad judicial”. (Tomado del Informe ejecutivo FPJ - 3)

9. Después de realizar el análisis técnico de los elementos y una visita preliminar al lugar de hecho de tránsito, se determinó que el caso si es viable técnicamente, esto en virtud de que reúne las características mínimas para realizar los cálculos de interés. Adicionalmente porque a partir de la información previa es posible encontrar un modelo físico que permita cuantificar la velocidad promedio de desplazamiento de la motocicleta en una trayectoria conocida, para un tiempo determinable.
10. Después de notificar la viabilidad técnica del caso a la parte solicitante, me dispuse a realizar la visita de campo. En el lugar del hecho de tránsito estuve acompañado por el señor Persona 2A, quien me dio su versión de lo sucedido. Se tomaron las medidas de distancia realizando un cruce de información entre lo que se interpreta del croquis, lo captado en el video de la cámara de seguridad del Centro Comercial Mall Plaza (zona de ocurrencia de hecho) y la versión del señor Persona 2A.
11. Con los EMP, EF allegados por la parte solicitante, los insumos propios recaudados en la visita de campo y el conocimiento de causa adquirido respecto de la ubicación espacial de los objetos con las medidas, se procedió a la verificación del modelo físico previamente construido en función de la información disponible. Al verificar que el modelo era funcional y que permitió cuantificar la velocidad promedio de desplazamiento para una distancia conocida en un tiempo ahora conocido, se procedió a escribir el informe Pericial de Reconstrucción Analítica de Accidente de Tránsito (RAAT).
12. El jueves 20/10/2022 remití vía correo electrónico el informe Pericial de Reconstrucción Analítica de Accidente de Tránsito (RAAT) a la parte solicitante.

## PREGUNTAS FORMULADAS POR LA PARTE SOLICITANTE

1. “¿Puede usted dar cuenta si las siguientes fórmulas matemáticas: “ $(V_{2f} - V_{2f} : 2ad)$ ” y “ $(a: -uN/m: -ug)$ ” fueron usadas por usted en el Informe Pericial de Reconstrucción Analítica de Accidente de Tránsito (Raat) del caso cuyos participantes son: 1A y Persona 2A?”

Para dar respuesta a esta pregunta, se procede a comparar cada una de las fórmulas con el modelo físico empleado, para ver si se encuentra alguna fórmula igual o equivalente en el informe presentado en el presente caso.

**A) “ $(V_{2f} - V_{2f} : 2ad)$ ”:** Esta fórmula no fue usada en ninguna parte del Informe Pericial de Reconstrucción Analítica de Accidentes de Tránsito. Tampoco hay un modelo o ecuación que pueda interpretarse como equivalente desde el punto de vista de la física.

**B) “ $(a: -uN/m: -ug)$ ”:** Esta fórmula no fue usada en ninguna parte del Informe Pericial de Reconstrucción Analítica de Accidentes de Tránsito. Tampoco hay un modelo o ecuación que pueda interpretarse como equivalente desde el punto de vista de la física.

2. “¿Puede usted decir si la siguiente fórmula “ $(V_{2f} - V_{2f} : 2ad)$ ” es aceptada dentro de la comunidad científica para el cálculo de velocidad de un vehículo?”

Si se realiza una interpretación literal de la fórmula “ $(V_{2f} - V_{2f} : 2ad)$ ” a partir de los conocimientos propios y la consulta bibliográfica realizada, se debe decir que la fórmula está mal escrita, es ambigua o carece de sentido desde el punto de vista de la física mecánica.

Esta afirmación se sustenta en que:

- A) Cuando se expresa la fórmula “ $(V_{2f} - V_{2f} : 2ad)$ ” no se comprende si  $V_{2f}$  se está restando de  $V_{2f}$  (en negrilla), porque en caso de que sea así, la respuesta sería cero, lo cual no parece tener sentido en el contexto analizado.
- B) En la fórmula “ $(V_{2f} - V_{2f} : 2ad)$ ” aparecen dos puntos (en negrilla), que para este contexto generan confusión, a menos que pretendan denotar o equipararse (de manera equivocada) a el símbolo de igualdad. Sin embargo, para que esta afirmación tenga sentido, el término  $2ad$  (que está a la derecha de la presunta igualdad, tendría que valer cero para que sea congruente con la parte izquierda de la igualdad, lo cual solamente expresaría que  $0 = 0$ , lo cual es cierto, pero no dice algo sobre la velocidad que a fin de cuentas es lo que se busca, por lo tanto

existe una segunda incongruencia para adentrarnos al análisis o la simplificación de la fórmula.

- C) En la fórmula “**(V<sub>2f</sub> - V<sub>2f</sub> : 2ad)**” el número dos (en negrilla) al no tener un símbolo de operación (suma, resta multiplicación, exponente, etc.) que lo acompañe, permite entender que es un producto con los términos que lo acompañan (es el uso más común y aceptado). En ese orden de ideas, asumiendo que los puntos denotan igualdad tenemos que al factorizar el número dos de la izquierda:

$$2(VF - VF) = 2ad$$

Por lo cual el 2 de la derecha que multiplica se puede omitir con el dos de la izquierda que también multiplica, por lo cual tendríamos:

$$VF - VF = ad$$

Así volvemos al escenario anterior donde restamos dos términos que son los mismo a la izquierda, lo cual da cero y a la derecha el producto entre a y d debe ser cero para que se cumpla la igualdad.

En suma, la fórmula en los términos propuestos está mal escrita por lo cual se entiende que su uso para cálculo de velocidad arrojaría un error.

Las fórmulas son herramientas que pueden representar leyes de la física. Cuando se desarrolla una fórmula o modelo físico, se debe obtener un resultado desconocido a partir de información conocida, esa es la esencia de la fórmula.

Si se plantea una fórmula para el cálculo de la velocidad, se deben cumplir como mínimo dos cosas para que sea aplicable en un caso concreto:

- I. Que el operador cuente con las variables y parámetros necesarios para completar los términos de la ecuación.
- II. Que al sustituir las variables por los valores concretos del caso, estos conduzcan al resultado esperado, en este caso la velocidad.

En este caso, del desarrollo de la fórmula “**(V<sub>2f</sub> - V<sub>2f</sub> : 2ad)**” no conduce al cálculo de la velocidad.

Por otra parte, Para que una fórmula física sea ampliamente aceptada por la comunidad científica, debe cumplir varias características. Algunas de estas incluyen:

- **Consistencia:** La fórmula debe ser consistente con los principios fundamentales de la física y las leyes conocidas.
- **Predicción:** La fórmula debe ser capaz de hacer predicciones precisas y verificables mediante experimentos.
- **Simplicidad:** La fórmula debe ser lo más simple posible, evitando la inclusión de términos no necesarios.
- **Generalidad:** La fórmula debe tener una amplia aplicabilidad y ser aplicable a una variedad de situaciones y sistemas.
- **Repetibilidad:** Los resultados obtenidos mediante la fórmula deben poder ser replicados por otros investigadores.
- **Continuamente refutada:** La fórmula debe ser sometida a pruebas continuas y puede ser refutada con nuevos hallazgos o descubrimientos.

En este caso, la fórmula “**(V2f -V2f : 2ad)**” por no conducir al resultado que se espera, la velocidad y no ser consistente, no realizar predicciones precisas y ser ambigua, no puede ser la ampliamente aceptada por la comunidad científica.

3. ¿Puede usted decir si la siguiente fórmula “(a: - uN/m: -ug)” es aceptada dentro de la comunidad científica para el cálculo de velocidad de un vehículo?

La interpretación literal de la fórmula “(a: - uN/m: -ug)” se torna ambigua a raíz de que está compuesta por dos puntos, de los cuales no se comprende de manera directa su función.

A) Por otra parte, si se hace una interpretación de la expresión y se reemplaza los dos puntos por el símbolo igual, entonces tenemos:

$$\mathbf{a = - uN/m}$$

Si se tiene en cuenta la primera parte de ecuación, tenemos que:

Partiendo de la segunda ley de Newton (1)

$$F = m \cdot a$$

Donde F es la fuerza, m es la masa y a es la aceleración. Despejando la aceleración tenemos:

$$a = \frac{f}{m}$$

La fuerza  $F$  se puede representar como el producto entre  $-\mu N$ , debido a que la fuerza de fricción es contraria al movimiento y  $\mu$  que es el coeficiente de fricción, depende de la fricción, multiplicado por la normal  $N$ . El signo negativo es por el sentido de la fuerza de fricción.

$$a = \frac{-\mu N}{m}$$

Así las cosas, se obtiene la fórmula para hallar la aceleración a partir de el coeficiente de fricción, la normal y la masa.

En suma, la fórmula **NO HACE REFERENCIA AL CÁLCULO DE VELOCIDAD SINO AL CÁLCULO DE ACELERACIÓN.**

Como Velocidad y Aceleración son conceptos completamente diferentes, entonces, pese a que la fórmula desde la interpretación realizada es correcta en su planteamiento, **NO SIRVE PARA CALCULAR VELOCIDAD.** Por lo tanto, la fórmula no es aceptada dentro de la comunidad científica para hallar velocidad debido a que no sirve para calcular la velocidad.

**B)** En la segunda parte de la fórmula se planteó que:

$$a = -\mu g$$

Con la interpretación antes descrita, se tiene que  $a$  es la aceleración,  $-\mu$  es el coeficiente de fricción y  $g$  es la gravedad. En este caso, como está planteada la ecuación, **NO HACE REFERENCIA AL CÁLCULO DE VELOCIDAD SINO AL CÁLCULO DE ACELERACIÓN.**

Como Velocidad y Aceleración son conceptos completamente diferentes, entonces, pese a que la fórmula desde la interpretación realizada es correcta en su planteamiento, **NO SIRVE PARA CALCULAR VELOCIDAD.** Por lo tanto no es aceptada dentro de la comunidad científica para hallar velocidad si no sirve para calcular la velocidad.

**4.** ¿Puede alguna de las siguientes dos fórmulas “ $(V_2^2 - V_1^2) : 2ad$ ” y “ $(a : -\mu N/m : -\mu g)$ ” servir en el caso cuyos participantes son: Persona 1A y Persona 2A para calcular la velocidad a la que el vehículo del primero se desplazaba al colisionar?

**I.** Si se analiza un poco más la fórmula “ $(V_2^2 - V_1^2) : 2ad$ ” y se trata de dar un contexto para interpretación, se podría suponer varios cambios que probablemente nos proporcionen una guía útil para su entendimiento.

Si de alguna manera se interpreta la expresión “ $(V_2^2 - V_1^2) : 2ad$ ” en un sentido completamente diferente al que tiene, se podría escribir como la fórmula que describe la relación entre la velocidad final, la velocidad inicial, la aceleración y

la distancia recorrida en un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA) se debe escribir de la siguiente manera:

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a \cdot d$$

Donde  $v_f$  es la velocidad final del vehículo;  $v_i$  es la velocidad inicial del vehículo;  $a$  es la aceleración y  $d$  es la distancia.

En primera vista se podría plantear que despejando de la fórmula (3) la velocidad inicial  $v_i$  se podría hallar el valor de la velocidad, que es lo que se busca. Eso se podría hacer de la siguiente manera:

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a \cdot d$$

Despejamos la velocidad inicial al cuadrado

$$v_i^2 = (-2a \cdot d) + v_f^2$$

Sacamos raíz cuadrada a ambos lados de la ecuación

$$v_i = \sqrt{(-2a \cdot d) + v_f^2}$$

Operamos el cuadrado con la raíz cuadrada

$$v_i = \sqrt{(-2a \cdot d) + v_f^2}$$

Hay dos opciones: Si se conoce la aceleración del vehículo en el caso de interés, se reemplaza el valor directamente en la fórmula. En caso de que no, se puede reescribir la aceleración con términos de la gravedad ( $g$ ) y el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) así:

$$a = -\mu \cdot g$$

El signo negativo del coeficiente de fricción  $\mu$  es debido a que este depende de la fuerza de fricción, que es contraria al movimiento.

Reemplazamos (5) en (4) y obtenemos:

$$v_i^2 = \sqrt{(-2(-\mu \cdot g) \cdot d) + v_f^2}$$

Operamos los signos menos

$$v_i = \sqrt{(2\mu \cdot g \cdot d) + v_f^2}$$

De esta manera obtenemos (6) que es la fórmula clásica utilizada en libros de texto para calcular la velocidad conocida como Modelo de Trabajo Simple por Fricción.

La única diferencia con la que generalmente se encuentra (6) en los libros de Reconstrucción de Accidentes de Tránsito es que no suele tener el término final  $v_f$  de velocidad final, pero esto no es accidental.

El razonamiento que se suele aplicar en este caso para los casos en los que se aplica que son hechos de tránsito donde haya reporte de una huella de frenado medida, y el resto de valores son conocidos, porque el valor  $v_f$  se omite, suponiendo que la velocidad final es cero, porque le vehículo llegó al reposo después el AT.

Para el caso concreto que hoy nos ocupa el razonamiento antes nombrado no es correcto debido a que:

Hay un video de la cámara de seguridad del Centro Comercial Mall Plaza, que muestra la ocurrencia del AT.

En un instante, la motocicleta aparece por primera vez en el área óptica de la cámara y recorre una distancia  $d$ , hasta que colisiona con el peatón.

La velocidad a la que colisiona con el peatón ( $v_f$ ) no puede ser  $V = 0$  Km/h, porque de haber sido así, la moto hubiera alcanzado el estado de reposo por lo que no habría podido lesionar al peatón. Una motocicleta en reposo no puede atropellar.

Si asumimos que  $v_f$  es cero en (6) cuando no es cierto, no hay congruencia entre el hecho de tránsito y el modelo físico, por lo que no sirve el modelo. El modelo físico debe adecuarse lo máximo que sea posible al hecho de tránsito, no se puede adecuar la realidad a los modelos ya que atenta contra el método científico.

En suma, la aplicación de  $v_i = \sqrt{(2\mu \cdot g \cdot d)} + v_f$  requiere del valor  $v_f$  (velocidad final) y de la distancia  $d$  (que en este contexto sería la distancia medida de la huella de frenado), valores con los que no se cuenta, por lo tanto no se puede resolver la ecuación y en consecuencia no responde a lo planteado inicialmente que es obtener la velocidad de desplazamiento de la motocicleta.

Es necesario buscar un modelo físico diferente, que se adecúe a la información disponible en el actual hecho de tránsito.

En conclusión, con el modelo físico propuesto por la parte solicitante, a partir de la información disponible sobre el actual caso, no se puede hallar la velocidad de desplazamiento de la motocicleta al atropellar a la víctima, por lo tanto no sirve en el caso en el que están involucrados los señores Persona 1A y Persona 2A, esa es la razón por la cual no fue empleada en el informe pericial presentado.

**II.** En el segundo análisis, de manera más simplificada salta a la vista que la expresión “(a: - uN/m: -ug)”, haciendo una interpretación donde los dos puntos pretendieran denotar igualdad entre los términos, la fórmula sirve para calcular aceleración. En todo caso se debe recordar que la aceleración y la velocidad son conceptos absolutamente distintos.

En resumen, la fórmula mencionada no sirve para calcular velocidad en el caso en el que están involucrados los señores Persona 1A y Persona 2A, esa es la razón por la cual no fue empleada en la RAAT presentada.

5. ¿Puede servirle usted explicar para legos en física cuál es la diferencia entre los siguientes conceptos: aceleración, velocidad?

La velocidad y la aceleración son dos conceptos diferentes en física.

La velocidad se refiere a la rapidez con la que un objeto se mueve en una determinada dirección. Se puede medir en unidades como metros por segundo (m/s) o kilómetros por hora (km/h). La velocidad puede ser constante, es decir, no cambiar con el tiempo, o puede variar. La velocidad media es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo que se tardó en recorrerla. La velocidad instantánea es el resultado de medir la velocidad en un momento específico.

**Tab. 4. VELOCIDADES Y ACELERACIONES PROMEDIO E INSTANTÁNEAS**

Velocidad Promedio	$v_{promedio} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$	$v_{promedio} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
Aceleración Promedio	$a_{promedio} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$	$a_{promedio} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
Velocidad Instantánea	$v_{instant} = \frac{dx}{dt}$	
Aceleración Instantánea	$a_{instant} = \frac{dv}{dt}$	$a_{instant} = \frac{dv}{dt}$
<i>Las fórmulas fueron recuperadas de: Libro Física Para Ciencias e Ingeniería Raymons Serway y John Jewett - Séptima Edición Ps. 21, 23, 28, 29, 24, 34.</i>		

La aceleración, por otro lado, se refiere al cambio en la velocidad de un objeto en función del tiempo. Se mide en unidades como metros por segundo al cuadrado (m/s<sup>2</sup>). Un objeto puede tener una aceleración constante si su velocidad cambia en una cantidad constante en un tiempo determinado. En caso contrario, la aceleración no sería constante, sino que variaría en función del tiempo.

En resumen, la velocidad es una magnitud vectorial que se refiere a que tan rápido un objeto se está moviendo en una dirección específica, mientras que la aceleración es una magnitud vectorial que se refiere a cómo está cambiando la velocidad de un objeto en función del tiempo.

En suma, pese a que velocidad y aceleración son dos conceptos enlazados, la aceleración es a la velocidad, lo que la velocidad es a la posición. Son muy diferentes y no pueden equipararse sin caer en un error gravísimo.

Para ilustrar matemáticamente, se pone a disposición el siguiente cuadro que habla matemáticamente del asunto.



6. ¿puede usted servirse explicar cuál fue la fórmula utilizada en el mencionado RAAT para determinar la velocidad del velocípedo y cómo obtuvo la mencionada?

El modelo físico empleado para el cálculo de la velocidad promedio de desplazamiento para una

Trayectoria conocida en un tiempo conocido es:

$$v = \frac{x}{t} \text{ Ec. (53)}$$

Donde V es el valor de velocidad promedio para esa trayectoria en ese lapso, X es la distancia en m y t el tiempo en segundos.

La fórmula  $v = \frac{x}{t}$  para calcular la velocidad se basa en un principio básico de la mecánica clásica: la relación entre la cantidad de desplazamiento (x) y el tiempo (t) requerido para alcanzar ese desplazamiento. Esta fórmula se conoce como la definición estándar de velocidad y se ha aceptado en la comunidad científica desde hace varios siglos.

La primera mención registrada de esta fórmula se encuentra en los escritos del científico y filósofo natural Galileo Galilei, que vivió en el siglo XVII. Galileo utilizó esta fórmula en sus estudios sobre el movimiento de los cuerpos y es conocido como uno de los principales contribuyentes al desarrollo de la física clásica.

Con el tiempo, esta fórmula se ha utilizado ampliamente en la física, la mecánica, la astronomía y otras disciplinas para medir y describir los movimientos de los cuerpos y para entender y predecir los patrones de movimiento en el universo.

Grandes estudiosos de la Física Clásica como Newton han construido los cimientos de las bases de la física sobre modelos físicos como este, por lo cual se reputa que tiene una gran acogida por la comunidad científica. Además debido a la naturaleza de la cinética y la dinámica de los vehículos, las leyes de la mecánica clásica han explicado desde el origen de la accidentología como ciencia, los modelos físicos de colisión, volcamiento, frenado, velocidad, etc. La accidentología es una rama que se enmarca en el estudio de la física forense.

Se escogió este modelo físico en virtud de:

- A) En los EMP y EF allegados por la parte solicitante se encuentra un video donde se registró el momento del hecho de tránsito.
- B) Es posible establecer con el video los puntos de interés. El punto donde apareció la motocicleta y el punto de colisión. Con estos dos puntos en la visita de campo fue posible medir la trayectoria X de interés, entre el primer punto de aparición en la cámara y el punto de colisión.

- C) Es posible establecer en el video el tiempo que tardó el motociclista en recorrer la trayectoria X.
- D) Como se cuenta con la trayectoria medida (con su respectiva incertidumbre) y el tiempo medido (con su respectiva incertidumbre), entonces, se puede calcular la velocidad promedio en la trayectoria.

Así las cosas, se considera la **incertidumbre en la distancia** entre la moto y el peatón para ese momento es de entre

$$5.51m \leq X \leq 5.99m.$$

El tiempo tomado con cronómetro para el desplazamiento del rango de distancia previamente descrito es de entre **00m:00s:61cent**, y se considera una incertidumbre en la medida de 02 centésimas de segundo, es decir, el rango de tiempo queda entre:

$$00:00:59 \leq t \leq 00:00:63$$

Con la información antes relacionada se encontraron 4 valores de velocidad:

$$v1 = \frac{5.51m}{0.595s} * 3.6 = 33.6km/h$$

$$v3 = \frac{5.91m}{0.595s} * 3.6 = 36.1km/h$$

$$v2 = \frac{5.51m}{0.635s} * 3.6 = 31.5km/h$$

$$v4 = \frac{5.91m}{0.635s} * 3.6 = 33.7km/h$$

Nota: el 3.6 es un factor de conversión de m/s a Km/h.

Por lo cual se escogieron los valores extremos, el menor y el mayor para conformar el rango probable para la velocidad promedio de desplazamiento en la trayectoria señalada:

$$(31.5 \leq V \leq 36.1) \frac{Km}{h}$$


---

## **ANÁLISIS CASO A**

En este caso de estudio, denominado el Caso A, es importante resaltar que en múltiples ocasiones, la utilización de un modelo físico específico en el desarrollo propuesto para establecer la forma en que ocurrió el hecho de tránsito puede tener consecuencias jurídicas directas.

Lo que se discute por cuenta del juez, en su calidad de perito de peritos, es que según su opinión, no se utilizó una fórmula que podría haber servido para establecer la velocidad de manera correcta. A raíz de esta situación, decidió revocar la decisión de primera instancia de no precluir el proceso y procedió a precluirlo.

El perito en el cuestionario buscó sentar las bases para una acción de tutela contra una providencia judicial, argumentando que el modelo físico que respalda la decisión del juez no se ajusta a la situación fáctica específica del caso de hecho de tránsito.

En conclusión, este estudio de caso demuestra claramente cómo el uso inadecuado del modelo físico para representar un caso de siniestro vial puede llevar a un cambio en la consecuencia jurídica atribuible al caso, en términos de endilgar o absolver de responsabilidad a una persona imputada en un proceso.

~ **CASO DE ESTUDIO B: Rad. 177776109614201680442, decisión de primera instancia, lesiones personales culposas.**

□ **1B. DECISIÓN JUDICIAL**

**RESUMEN DEL CASO B.**

*“De acuerdo a la denuncia en el presente proceso, se trata de unas lesiones personales, causadas en accidente de tránsito el día 6 de agosto de agosto de 2016 en la intersección de la carrera 7 con calle 34, el señor Persona 1B en el vehículo de placas Placa 1B, atropella a la menor Persona 2B, resultando esta última lesionada. Éstas lesiones le causaron una incapacidad definitiva de 80 (ochenta) días, con secuelas medico legales, deformidad física que afecta el cuerpo de carácter permanente; perturbación funcional de miembro inferior derecho de carácter permanente . Perturbación funcional de órgano de la locomoción de carácter permanente (Dictamen del 22 de noviembre de 2017)...”*

---

*Radicado: 177776109614201680442*

*Procesado: Persona 1B*

*Delito: Lesiones Personales culposas*

*Sentencia No. 06*



Rama Judicial  
Consejo Superior de la Judicatura  
República de Colombia

**JUZGADO PRIMERO PROMISCO MUUNICIPAL**

**Riosucio - Caldas**

*Noviembre tres (03) de dos mil veinte (2020)*

**Asunto.**

*Procede el despacho a emitir el fallo absolutorio de primera instancia, dentro de este proceso que se adelanta por el delito de **LESIONES PERSONALES** en contra del señor **Persona 1B**, donde aparece como ofendida la menor **Persona 2B**, representada legalmente por su señora madre, Persona 3B.*

**Hechos.**

*Refiere el escrito de acusación presentado contra el aquí encartado que “De acuerdo a la denuncia en el presente proceso, se trata de unas lesiones personales, causadas en accidente de tránsito el día 6 de agosto de agosto de 2016 en la intersección de la carrera 7 con calle 34, el señor Persona 1B en el vehículo de placas Placa 1B, atropella a la menor Persona 2B, resultando esta última lesionada. Éstas lesiones le*

*causaron una incapacidad definitiva de 80 (ochenta) días, con secuelas medico legales, deformidad física que afecta el cuerpo de carácter permanente; perturbación funcional de miembro inferior derecho de carácter permanente . Perturbación funcional de órgano de la locomoción de carácter permanente (Dictamen del 22 de noviembre de 2017)...”*

*Con base en tales hechos, la Fiscalía General de la Nación por intermedio de su delegado para el asunto, formuló acusación por el delito de lesiones personales tipificado por los artículos 111, 112 inc 2°, 113 inc 2°, 114 inc 2°, 117 y 120 del Código Penal (...)*

### **Prueba testimonial de la Fiscalía.**

#### **Persona 3B (denunciante).**

*La madre de la menor hace un relato de lo ocurrido el día de los hechos, rememorando no haber presenciado los mismos, dice que ese día estaba de visita donde su señora Madre. El accidente ocurrió entre 2 y 2:30 pm por dónde queda el Centro Cívico; que la menor se escapó por la parte de atrás de la residencia con un primo de seis años y fueron hacia la tienda, no se dio cuenta cuando salieron de la casa, en ese momento estaba hablando con sus hermanas y su Madre. Dice que la vía por dónde ocurrió el atropellamiento es de bajada, inclinada, sin curvas: que ese día había buena visibilidad y no había llovido.*

*Relata que su tía, Persona 4B sí presenció el accidente. Que ella se enteró del accidente por un primo que llegó a la casa y a su vez llegó su sobrino menor llorando y que las personas que llevaron a su hija al hospital eran desconocidas.*

#### **Persona 4B (testigo).**

*Señala que para ese día iba para la casa de su madre de visita, llegaba del trabajo, se paró en toda la esquina del centro Cívico Y vio que venía a la niña con un primo, que el niño la saludó y paso hacia la tienda, que como la niña venía más atrás, también paso a la tienda, pero ahí venía el carro que se desplazaba a velocidad, por lo cual no le dio tiempo de frenar y la atropelló, todo fué muy rápido. Crees que el accidente se presentó por la velocidad a la que se desplazaba en vehículo; que el conductor cuando vio que la niña ya estaba encima trató de esquivarla, pero no le dio tiempo por la inmediatez.*

*Al contra interrogatorio contesta que la menor venía más atrás del niño, que esta iba caminando y no corriendo; que cuando sucedió el atropellamiento el niño ya había ingresado a la tienda; que cuando el vehículo le impactó la niña apenas iba a empezar a cruzar, es decir que estaba cerca del andén.*

*Destaca que en ese momento y por la vía había carros estacionados al lado del andén de la tienda, es decir, por el andén opuesto de donde cruzó. Finalmente dice que ella se encontraba aproximadamente a media cuadra de donde ocurrió el accidente, diagonal al punto.*

#### **Primer respondiente B (Inspector de Policía y Tránsito)**

*Empieza por reconocer el informe de accidente de tránsito por él elaborado, el cual se le envió previo a la audiencia por el Delegado del Fiscal. Relata el testigo que no presenció el accidente, cuando llegó al lugar de los hechos encontró el vehículo en la posición que aparece en el informe, es decir, un poco atravesado en la Villa. También observó huella de frenado en las cuatro llantas, lo cual quedó detallado en el informe con sus dimensiones y medidas. En el informe se consignó como posible causa de accidente, la hipótesis 409 de la Resolución 112 de 2012, es decir “cruzar sin observar”.*

*Explica que para ese momento lo que hace la autoridad de tránsito, es pasar informe de circunstancias de tiempo, modo y lugar, pero es un perito realmente quien determina la velocidad del vehículo. La hipótesis que consigna en el informe se hace con fundamento en los testimonios de las personas que se encontraban en el lugar, es decir, se trata de una hipótesis o supuesto para que la autoridad se oriente, pero no es concluyente o definitiva. Desconoce cuál es la velocidad máxima permitida en esa vía por cuánto no había ninguna señal de tránsito. Dice que la razón de ser de no transitará más de 30 km/h es con el fin de evitar accidentes, si es una zona escolar o muy poblada o concurrida, es decir, cuando se reglamenta una velocidad máxima, es para que el conductor pueda reaccionar ante situaciones imprevistas que se presenten en la vía.*

*Una vez contra interrogado contesta que el informe de accidente de tránsito lo levantó con base en la Ley 769 de 2002 y el manual 11.268 de 2012, expedido por el ministerio de transporte. Que no tomo curso de planimetría y el método utilizado para realizar el bosquejo fue el “Kartesiano”. Explica que las huellas de frenado deben amarrarse a un punto fijo, que es de donde se toman las medidas para cada una de las huellas y el punto fijo es el que determina de ubicación de las huellas. Que la instancia que se fija es la del vehículo, el eje y la distancia entre andén y la vía.*

*Responde que no visitó a la menor en el hospital, sólo se desplazó hasta dicho sitio para indagar por el diagnóstico de la menor, no sabes quien llevó a la niña hacia el hospital. Señala que la guía es de un solo sentido, es decir, el vehículo no estaba invadiendo un carril, pero si había vehículos estacionados en el lado derecho, lo que evidencia que el vehículo transitaba por donde las circunstancias se lo permitiera. Destaca que cuando llegó al sitio del hecho, los testigos refirieron que la niña estaba acompañada de otro menor de edad; en el informe se relacionan dos o tres personas que dieron sus datos y presenciaron el hecho.*

*Que por la posición en la que se encontró el vehículo, el accidente se dio porque la niña estaba sobre la vía y no sobre el andén. Que las únicas señal de tránsito encontradas en la vía, y así se consignan en el informe, son las de "Pare" en la intersección, Que para esa época en el sector no había señalización de velocidad permitida.*

***Perito 1B (Perito Físico)***

*Inicialmente el testigo acredita su experiencia, idoneidad y preparación en la materia, destacando que hace 33 años trabaja para Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Seguidamente reconoce el*

dictamen pericial por él rendido el 03-04-2019 a solicitud de la Fiscalía con base en un informe de accidente de tránsito, el cual tenía como fin establecer la velocidad del vehículo antes del impacto. Explica que para determinar la velocidad tuvo en cuenta la longitud de las huellas de frenado de las llantas Y posición de reposo del vehículo. Después de todo el procedimiento realizado llegó a la conclusión que el rango de velocidad del vehículo estaba entre 33 km/h y 38 km/h.

Que para este caso puntual no existen otros métodos para calcular la velocidad, sólo se establece por determinación de huellas de frenado; de ahí que cualquier perito que haga un peritazgo con esta información, le debe arrojar el mismo resultado de acuerdo a los valores fórmulas matemáticas.

Explica que para determinar la velocidad se tuvieron en cuenta a las cuatro huellas de frenado, las cuales tiene diferentes longitudes, lo que significa que en las cuatro ruedas que marcaron huellas de frenado más cortas, el frenado del vehículo fue mejor; que para calcular la velocidad siempre se toma la huella más larga porque indica que el vehículo se encuentra desaceleran. De igual manera indica que una medida de aportación significa tomar medidas con base en un punto de referencia.

En cuanto a las conclusiones, refiere que con base en las huellas de frenado de longitud de 7,15 m, se encontró que la velocidad del campero al inicio de las huellas estaba en el rango de 33 km/h y 38 km/h.

### **Se introduce el informe pericial como edivendia # 2 (...)**

#### **Perito 2B (Perito Físico)**

Antes de referirse al procedimiento utilizado para rendir su experticia, las preguntas realizadas por la Defensa gravitaron en torno a la acreditación de conocimiento en la materia, experiencia laboral, idoneidad y preparación; amén de haber tomado cursos de planimetría y topografía y tener conocimientos en accidentes de tránsito.

Luego de haber dado lectura integral al peritaje por el elaborado, dice que la base para elaborar el concepto físico fue el croquis elaborado por el inspector de policía (informe de accidente de tránsito, bosquejó topográfico); que entre el mismo visualizó falencias, en tanto se ubicaron dos señales de tránsito que no fueron identificadas; también carencia de medidas de acotación para marcar las huellas de frenado, tampoco se anotó elemento de la menor en la vía. En este sentido explica que las huellas de frenado debieron haber sido acotadas desde un punto de referencia, pues estas medidas establecen para tener un referente respecto a la ubicación de los hechos y las huellas de frenado. Que Como perito no puede asumir medidas que no están en el croquis, sin que hubiere evidenciado en el mismo una medida de 7,15 m tomada por la autoridad policía. Que no hay manera de elaborar un croquis diferente a lo que se encuentra regulado en el Manual de Diligenciamiento de Accidentes de Tránsito establecido Ine la Resolución 0011268 de 2012. Que el proceso de cálculo de velocidad siempre se hace con la huella más larga.

De otra parte define la diferencia entre frenado simultáneo y secuencial, destacando frente al primero que el vehículo comienza registrar la huella y seguidamente empieza la otra llanta y eventualmente pueden frenar con la misma longitud; mientras que en el simultáneo se presenta cuando automáticamente se bloquean las dos llantas al mismo tiempo hasta detener el rodante; no obstante, así frenen al mismo

tiempo, las huellas de frenado no tienen que tener la misma longitud. Con relación a lo anterior, afirma que para este caso no se puede asegurar cuál de los frenados se presentó.

La pregunta realizada por el juzgado y respondió que faltaban en el informe de accidente las medidas de acotación de las huellas de frenado, por ende, no se sabe a qué distancia estaban del andén o de la intersección Y el hecho que no se hubiera hecho referencia a estas medidas por la autoridad de tránsito, incide en que, como fueron cuatro huellas de frenado, con ello se hubiera establecido realmente cuál fue la distancia de frenado. Que era determinante conocer si el frenado fue simultáneo secuencial para calcular velocidad exacta, siendo entonces la diferencia preponderante entre estas dos formas de frenado, poder calcular la velocidad real del vehículo para cerrar el valor del rango y establecer velocidad exacta.

Al efecto explica que en su informe, con fundamento en las fórmulas diseñadas para establecer velocidad, realizó cálculo de las dos maneras, es decir, con frenado simultáneo, estableciendo un rango entre 25,30 km/h y 27,33 km/h y con frenado secuencial, se determinó un rango de velocidad de entre 33,01 Km/h y 35,66 km/h. Es decir, el rango de velocidad o si la entre 25,30 km/h y 35,66 km/h, lo que permite señalar que en un porcentaje del 54,54 el vehículo pudo haber circulado excediendo la velocidad correspondiente a 30 km/h.

**Se introduce el informe pericial como edivendia # 3 (...)**

### **Consideraciones.**

En estricta congruencia con el sentido del fallo absolutorio ya he metido al culminar el juicio oral, público y contradictorio, se torna necesario abordar este asunto desde la perspectiva de la sana crítica y las reglas de la experiencia, que aplicada sobre las pruebas objeto de indemnización y contradicción, permitan adoptar la decisión que en derecho corresponde; aspectos todos dirigidos a establecer la real ocurrencia de la conducta y la responsabilidad de la persona convocadas a juicio.

Se ha investigado a través de este proceso el hecho punible de **LESIONES PERSONALES** a título de culpa, cuya autoría ha recaído en cabeza del señor **Persona 1B**, persona plenamente identificada e individualizada y en el cual aparece como víctima la menor **Persona 2B**.

La Fiscalía formuló acusación por las conductas que se encuentran TIPIFICADAS en los artículos 111, 112 inc 2º, 113 inc 2º, 114 inc 2º, 117 y 120 de Código Penal, (...)

Pues bien, en este asunto se planteó por la fiscalía al momento de tratar la teoría del caso, el 6 de agosto de 2016, en la intersección de la carrera siete con calle 34 del Municipio de s Supía, Caldas, ocurrió un accidente de tránsito que resultó lesionada la menor **Persona 2B** he involucrado el vehículo de servicio público de placas Placa 1B, conducido por el señor **Persona 1B**, Y qué tal accidente obedeció al



*exceso de velocidad reglamentada para el sector, que es de 30 km/h; amente no estar el conductor pendiente de la vía. (...)*

*Con este punto de partida, dígame que dispone el artículo 381 de la ley 906 de 2004: "para condenar se requiere el conocimiento más allá de toda duda, acerca del delito y la responsabilidad penal del acusado, fundado en las pruebas debatidas en el juicio".*

*Para edificar fallo de condena se requiere que los elementos materiales de prueba y evidencias físicas demuestran sin asomo de duda la existencia del hecho y la responsabilidad del procesado, pues al tenor de lo establecido en el artículo 7º ibídem en su papel de principio rector, toda persona se presume inocente y debe ser tratada como tal mientras no quede firme decisión judicial definitiva sobre su responsabilidad penal, por lo que en las actuaciones judiciales toda duda debe resolverse a favor del procesado, para de esa manera hacer prevalecer principios del rango constitucional como la presunción de inocencia e in dubio pro reo.*

*Así las cosas, con fundamento en las pruebas recaudadas, esta falla dura no puede afirmar con absoluta certeza que el señor **Persona 1B**, Haya infringido los postulados del artículo 74 del código nacional de tránsito, generando la ocurrencia del accidente en que resultó lesionada una menor de tres años de edad. (...)La prueba estipulada restante, aporta el siguiente panorama:*

*De acuerdo a la certificación expedida el 12 de octubre de 2018 por la inspectora de policía de tránsito del municipio de su pía, la velocidad permitida para transitar en la carrera sexta entre calles 33 y 34, es de 30 km/h. (...)*

*Sin perjuicio de lo anteriormente analizado, es preciso abordar el tema de la velocidad a la que se desplazaba del vehículo de placas Placa 1B involucrado en el accidente de tránsito, como quiera se ha insistido como tesis del titular de la acción penal y acompañado por el apoderado judicial de la víctima, que la causa del accidente fue el exceso de la velocidad permitida en el sector, toda vez que el señor Persona 1B, conducía en un rango de velocidad entre 33 km/h y 38 km/h, siendo legítimo, 30 km/h, rango de velocidad que fue determinado por el Perito Físico adscrito al Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses a través de su experticia que fue introducida en el juicio oral, una vez el doctor Doctor 1B rindió su declaración.*

*De igual manera, por parte de la defensa se presentó un dictamen, también elaborado por Perito Físico Perito 2B quien declaró en la vista pública, incorporando el concepto físico como evidencia No. 3. En dicho dictamen se estableció un rango de velocidad entre 25,30 km/h y 35,66 km/h.<sup>16</sup>*

*Nótese que ambos dictámenes y en San diferencia del rango, tanto en su extremo inferior, como en el superior; pese a ello, esta célula judicial no podría deslegitimar o tachar alguno de ellos pues ciertamente*

---

<sup>16</sup> subrayado fuera del documento original

*fueron elaborados por profesionales idóneos con conocimientos en la materia y con alto grado de experiencia y preparación.*

*Contrario a lo manifestado por el apoderado judicial de la víctima, no deviene acertado y razonable estimar que el perito traído por la defensa no merece credibilidad en la experticia rendida, por estar subordinado y remunerado, opuesto a lo que ocurre con el perito del Instituto de medicina legal y ciencias forenses, que resulta ecuánime y alejado de cualquier interés. Éste sentir del profesional del derecho no podría tener eco en esta célula de la judicatura, ello sería tanto como desnaturalizar el principio de igualdad de armas que debe imperar en el sistema procesal penal y estimar entonces que sólo siembra certeza en el funcionario la actividad del ente fiscal que trabaja en asocio con entidades oficiales, dejando a la defensa desprovisto de armas para ejercer un adecuado rol.*

*Y es que no sólo de la de ponencia de los profesionales, sino de los dictámenes que fueron introducidos, se aprecia por parte de esta falladora, que ambos contienen los temas desarrollados durante la experticia, el método, procedimiento, fórmulas matemáticas, conclusiones, es decir, fueron diseñados siguiendo los protocolos establecidos y se realizaron tomando como base el informe de accidente de tránsito rendido por el inspector de policía, con el correspondiente bosquejo topográfico y fijaciones fotográficas; incluso, el dictamen elaborado por el perito de la defensa se aprecia muy completo detallado e ilustrativo. Ahora bien, las diferencias entre los valores arrojados, según la declaración del Perito 2B, puede entenderle a esta instancia, originada en la carencia de información con la que contó el informe de accidente de tránsito, en cuanto a las medidas de acotación que impidieron establecer la forma de frenado, es decir secuencial o simultánea, pues de haberse establecido, se hubiese podido cerrar el rango de velocidad a la que transitaba el automotor, a efecto de dar una velocidad más exacta.*

*Con todo, a esta altura de las circunstancias son invariables y por tanto no hay lugar a discernir entre uno y otro, máxime cuando los valores tampoco marcan una diferencia sustancial. (...) Así las cosas, no aparece demostración alguna de qué el acusado haya violado alguna norma de tránsito que derivar en el accidente que ocasionó lesiones personales que aquí se le atribuyen; brilla por su ausencia prueba de un actuar que violente la norma penal atribuible al acusado, además de haberse probado que el actual imprudente de la víctima menor incidió exclusivamente del resultado.*

*Se absorberá entonces al señor Persona 1B de los cargos contenidos en la acusación, ya que no aparece demostrado en el debate probatorio que el actuar este haya generado las lesiones sufridas por la ofendida en este asunto (...) Por lo anteriormente expuesto, el JUZGADO PRIMERO PROMISCOU MUNICIPAL DE RIOSUCIO, CALDAS, administrando justicia en nombre de la República de Colombia y por autoridad de la ley,*

## **RESUELVE**

**PRIMERO: ABSOLVER** al señor **Persona 1B**, de condiciones civiles y personales conocidas en el proceso, del cargo que le fuera formulado por la Fiscalía única Local de Supía, Caldas, por el delito de

*LESIONES PERSONALES, a título de culpa, conforme lo anotado en la parte considera activa de esta providencia.*

**SEGUNDO: LEVANTAR** las medidas cautelares que pesa contra el vehículo aquí involucrado, incluyendo el vehículo campero marca reservado, Color verde, placa Placa 1B, cuya entrega provisional transmuta a definitiva, oficiándose para ello ante los organismos de tránsito competentes, a efectos de permitir su libre disposición o enajenación.

**TERCERO:** tal y como está regulado en el artículo 542 del C.P.P., la presente decisión se notifica por escrito y en su contra procede el recurso de apelación, el que deberá interponerse y sustentarse por escrito dentro de los cinco (5) días siguientes a su notificación.

**NOTIFÍQUESE Y CÚMPLASE**

**JUEZ 1B**

---

#### □ **2B. CONCEPTO PERICIAL INFORMAL**

En este caso pese a que no se logró obtener acceso al expediente completo del caso, es viable realizar el análisis de aplicabilidad de modelos físicos en los siguientes términos:

1. A partir de los datos obtenidos por este Perito, se evidencia que efectivamente hubo dos informes periciales, ambos constituidos a partir de modelo de trabajo simple por fricción para cálculo de velocidad  $v_0 = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$ .
2. Ambos peritos partieron del mismo modelo físico y debieron usar los mismos datos en cuanto a las constantes ( $g$  y  $d_f$ ), sin embargo llegaron a resultados sustancialmente distintos. Esto se podría explicar en que hubieran escogido un valor de coeficiente de fricción  $\mu$  diferente.
3. Uno de los grandes problemas que se puede identificar en el modelo físico empleado por los colegas Peritos es que la selección del coeficiente de fricción  $\mu$  pese a estar definido en rangos determinados por estudios sólidos, permite un alto grado de discrecionalidad a la hora de decidir que valor usar. Esto tiene como problema que los resultados puedan modificarse sustancialmente.
4. Es importante anotar que cuando la discrepancia es tan grande, a tal punto de que existe una imposibilidad por cuenta del Juez de tomar una decisión fundada en el conocimiento y finalmente el peritaje cumple un rol contrario al que le exige su naturaleza, el cual es ofrecer luz al operador judicial a la hora de decidir.

5. Cuando esto ocurre, existe la posibilidad de que por cuenta del Juez se solicite a un tercer Perito de confianza conceptuar al respecto, solicitando específicamente que en caso de ser posible lo haga con un modelo físico distinto.
6. En casos como este, salta a la vista que algunas decisiones judiciales se terminan tomando no de manera informada (atribuyendo o absolviendo de responsabilidad a una persona en virtud del conocimiento que proporciona la prueba pericial), sino que por el contrario, en virtud de que la prueba pericial es contradictoria y confusa, se concluye que la presunción de inocencia sigue impoluta (lo cual está completamente dentro de la norma), pero aleja a la prueba pericial de ser útil dentro del proceso.

### **3.2 CASOS EN EL ÁMBITO CIVIL**

~ **CASO DE ESTUDIO C: Rad. 17001-31-03-003-2020-00185-00, responsabilidad civil extracontractual, homicidio culposo.**

□ **1C. DECISIÓN JUDICIAL**

#### **RESUMEN DEL CASO C**

*“Un accidente de tránsito de gravedad con muertos, tipo choque con objeto fijo vehículo estacionado, hechos ocurridos el día 31 de julio de 2018 a eso de las 5:00 horas, en la Vía Club Campestre - La trinidad km 1 + 300 metros, sector peaje Pavas jurisdicción del municipio de Manizales; en el evento de tránsito resultaron involucrados dos (02) vehículos de los cuales el conductor de la motocicleta fallece en el lugar debido a la gravedad de las lesiones.” (Informe Investigador de laboratorio, reconstrucción de accidente de tránsito, pgs. 2 y 3)*

---

*Juzgado Tercero Civil del Circuito de Manizales  
Radicado No. 17001-31-03-003-2020-00185-00  
Verbal – Responsabilidad Civil Extracontractual*

**REPÚBLICA DE COLOMBIA**



**JUZGADO TERCERO CIVIL DEL CIRCUITO**

Manizales, noviembre veintiuno (21) de dos mil veintidós (2022)

## **Referencia:**

Proceso: VERBAL – RESPONSABILIDAD CIVIL EXTRACONTRACTUAL

Demandantes: PARTE 1C

Demandados: **PARTE 2C**

Radicado 17001-31-03-003-2020-00185-00

(...)

### **II. ANTECEDENTES**

**2.1.** *Aproximadamente a las 5:17 a.m. del 31 de julio de 2018, el señor PERSONA 1C, después de salir de su casa, en el municipio de Chinchiná, hacia su trabajo en la empresa RESERVADA, de la ciudad de Manizales, quien conducía la motocicleta de placa PLACA 1C, al pasar el peaje del sector denominado “Las Pavas”, en el tramo vial con sentido “club campestre – La Trinidad, Km 1+300” chocó con la parte posterior (vértice izquierdo) del tractocamión de placa PLACA 2C, que se encontraba parqueado sobre el carril derecho de la calzada, en el mismo sentido vehicular que llevaba el motociclista, muriendo éste al instante.*

*Según la investigación del accidente de tránsito que cursa en la Fiscalía Trece Seccional de la ciudad de Manizales, el tractocamión de placas PLACA 2C se encontraba parqueado en sitio prohibido, por lo cual los agentes de tránsito, primeros respondientes, Subintendente PRIMER RESPONDIENTE 1C y el PRIMER RESPONDIENTE 2C, realizaron el respectivo comparendo al conductor del camión, señor PERSONA 2C, y levantaron el informe policial de accidentes de tránsito.*

*Las hipótesis del accidente de tránsito plasmadas en informe policial de accidentes de tránsito (croquis o fijación topográfica) son:*

*“a) Vehículo 1. Tractocamión. Hipótesis Nro **141** de la resolución 0011268 de 2012, expedida por el Ministerio de Transporte de Colombia, que significa: VEHÍCULO MAL ESTACIONADO.*

*b) Vehículo 2. Motocicleta. Hipótesis Nro **138** de la resolución 0011268 de 2012, expedida por el Ministerio de Transporte de Colombia, que significa: FALTA DE PRECAUCIÓN POR NIEBLA, LLUVIA O HUMO”. (...)*

### **III. CONSIDERACIONES**

**3.1. Control de legalidad:** *al examinar las piezas procesales que integran el plenario se avizora que el proceso se inició conforme al trámite del proceso verbal regido por el Código General del Proceso. Es menester señalar que no existe irregularidades que invaliden hasta el momento el trámite del presente*

*asunto y además el mismo se resolverá dentro del plazo contemplado en el párrafo del artículo 121 del Código General del Proceso.*

### *3.2. Fijación del problema jurídico.*

*Estando las cosas tal y como se las ha venido planteando corresponde determinar. ¿Debe o no declararse a los demandados responsables extracontractualmente por los perjuicios materiales en la modalidad de daño emergente y lucro cesante y los perjuicios morales reclamados por las demandantes con ocasión del accidente de tránsito ocurrido en julio 31 de 2018, en el que el señor PERSONA 1C perdió la vida?*

*Entonces, para responder a este interrogante esta judicatura analizará inicialmente lo concerniente a la legitimación en la causa, que ha sido puesta en tela de juicio por parte de la aseguradora en concomitancia con la naturaleza jurídica de la pretensión; seguidamente se analizarán los elementos axiológicos de la acción y serán confrontados con la prueba militante en el plenario.*

*(...)*

### *3.5. Responsabilidad por actividad peligrosa.*

*Una actividad se considera peligrosa cuando es multiplicadora de energía, cuando encierra una gran posibilidad de causar daño, dados los instrumentos empleados, y cuando sus efectos son inciertos; esas actividades pueden ejercerse mediante cosas o sin ellas, y habrá cosas que son peligrosas en sí mismas y otras cuya peligrosidad procede de su utilización.*

*Jurisprudencialmente se ha sostenido que conforme a la disposición del artículo 2356 del Código Civil existe una presunción de responsabilidad en contra del agente respectivo, en los casos de daños causados por ciertas actividades que implican peligros, inevitablemente anexos a ellas, responsabilidad de la que solo se exonera si demuestra caso fortuito, fuerza mayor o intervención de elementos extraños (culpa exclusiva de la víctima o de un tercero), y al respecto en forma clara la H. Corte expuso:*

*"(...) si es postulado de valor axiomático el que el orden civil que liga a los seres humanos en sociedad, según lo señala Domat en afortunada síntesis, no los obliga solamente a no perjudicar a nadie mediante sus propias acciones, sino también a actuar con todo lo que se posee de modo tal que nadie tampoco pueda resultar víctima de un daño que no está obligado en derecho a soportar, forzoso es admitir que actividades que por su virtualidad especial para engendrar daños participan del género que, por vía de ilustrativos ejemplos, identifica el art. 2356 del Código Civil, implican una obligación legal de resultado consistente en vigilar esa actividad e impedir que ella por su propio dinamismo o debido a circunstancias anormales que la rodearon en un momento dado, escape al control de quien de la aludida actividad se sirve o reporta beneficio, luego si en la realización de un daño se demuestra que tuvo influencia causal caracterizada un hecho de la índole de los que viene haciéndose mérito en estas consideraciones, en términos de ley ello es suficiente para tener por probada, por vía de una presunción que establece aquella disposición, la infracción de la obligación determinada de guarda recién aludida (...)." I C.S.J., Casación Civil, Sentencia de febrero 22 de 1995, Mag. Pon. Carlos Esteban Jaramillo S. Jurisprudencia Civil y Comercial, 1er Semestre 1995.*

*Nota: la presente providencia se notifica en estado No. 178 del 22/11/2022*

### *3.6. Presupuestos de la responsabilidad aquiliana.*

*Para efectos de la configuración de esta clase de responsabilidad es menester probar los tres clásicos elementos: daño padecido, culpa del autor del daño y relación de causalidad entre ésta y aquel, por tanto, conforme al artículo 167 del Código General del Proceso el damnificado que pretende que el autor del daño sea condenado al pago de los perjuicios ocasionados tiene la carga procesal de demostrar plenamente cada uno de esos elementos, salvo en el caso de estar comprometida una actividad peligrosa donde la carga de la prueba se invierte a la parte demandada.*

### *3.7. El daño.*

*Es el elemento determinante de la resarcibilidad en favor de la víctima, que opera cuando ésta fallece, sufre incapacidad física o mental, o inactividad productiva, que redunde y afecta a la víctima y a aquellas personas que dependían económicamente de ella. Examinado el material probatorio arrojado al proceso, se encuentra que este primer aspecto se halla plenamente acreditado con los siguientes elementos de juicio:*

*La prueba documental aportada con el escrito incoatorio, consistente en especial: el informe policial del accidente de tránsito, el informe pericial de necropsia, el registro fotográfico, y el registro de defunción que obra dentro de la copia del expediente digital radicado con el No. 170016000060201801677, da cuenta del motivo por el cual dio origen a este proceso y es el fallecimiento del de señor PERSONA 1C acaecido el 31 de julio de 2018 debido a un trauma craneoencefálico.*

*Resulta incuestionable que la colisión del vehículo y los golpes que sufrió aquel ocasionaron su deceso son circunstancias más que suficientes para corroborar la estructuración de este presupuesto axiológico de la acción, pues resulta incuestionable que la pérdida de un ser querido por parte de las demandantes, ha habilitado la posibilidad de que reclamen los perjuicios materiales e inmateriales que se les ha causado, los cuales están representados en su detrimento económico y el impacto emocional que ha sido ocasionado por dicho siniestro.*

*Debe tenerse en cuenta que dichos documentos a los cuales se les otorga valor probatorio no han sido tachados de falsos, o cuyo contenido no ha sido puesto en tela de juicio. De esta manera queda acreditado este presupuesto axiológico de la acción aquiliana.*

### *3.8. Culpa del autor en actividad peligrosa.*

*Por regla general la culpa es aquella falta sea voluntaria o no, que causa un daño o perjuicio a una persona, como elemento configurativo de la responsabilidad se ha dicho que es la conducta contraria a la que debiera haberse observado normalmente en el caso, ya por torpeza, ignorancia o imprevisión. Son sujetos de esta tanto las personas naturales como jurídicas, y, por ende, imputables de la correspondiente responsabilidad que su conducta pueda causar.*

*Sin embargo, vale advertir que la Sala de Casación Civil de la Corte Suprema de Justicia, ha determinado que en tratándose del régimen de responsabilidad originado en actividades peligrosas, ha advertido que en estos casos la culpa no es un elemento esencial para que la misma se estructure. Sobre este punto, nuestra más alta Corporación ha puntualizado:*

*“(…) El régimen de responsabilidad por las actividades peligrosas es singular y está sujeto a directrices específicas en su etiología, ratio y fundamento. Por su virtud, el fundamento y criterio de imputación de la*

*responsabilidad es el riesgo que el ejercicio de una actividad peligrosa comporta por el peligro potencial e inminente de causar un daño a los bienes e intereses tutelados por el ordenamiento. La culpa no es elemento necesario para estructurar la responsabilidad por actividades peligrosas ni para su exoneración; no es menester su demostración, ni tampoco se presume; el damnificado tiene la carga probatoria exclusivamente de la actividad peligrosa, el daño y la relación de causalidad; y, el autor de la lesión, la del elemento extraño, o sea, la fuerza mayor o caso fortuito, la participación de un tercero o de la víctima que al actuar como causa única o exclusiva del quebranto, desde luego, rompe el nexo causal y determina que no le es causalmente atribuible, esto es, que no es autor. En contraste, siendo causa concurrente, pervive el deber jurídico de reparar en la medida de su contribución al daño. Desde este punto de vista, tal especie de responsabilidad, por regla general, admite la causa extraña, esto la probanza de un hecho causal ajeno como la fuerza mayor o el caso fortuito, la intervención exclusiva de un tercero o de la víctima, sin perjuicio de las previsiones normativas; por ejemplo, en el transporte aéreo, la fuerza mayor no es susceptible de desvanecerla (art. 1880 del Código de Comercio), más si el hecho exclusivo de un tercero o de la víctima (Cas. Cív. de 14 de abril de 2008, radicación 2300131030022001-00082-01) (...)” (se destaca).*

*“En resumen, la jurisprudencia de la Corte en torno de la responsabilidad civil por actividades peligrosas, ha estado orientada por la necesidad de reaccionar de una manera adecuada “(...) ante los daños en condiciones de simetría entre el autor y la víctima, procurando una solución normativa, justa y equitativa (...).*

*En esta especie litigiosa, la parte actora sostiene que, según se desprende de las diferentes probanzas que obran en el plenario, que el vehículo de placas PLACA 2C se encontraba estacionado en un sitio totalmente prohibido, donde a pesar de la inactividad del vehículo, el peligro que causaba era tal que provocó la muerte del señor PERSONA 1C.*

*Al efecto, alega que la ley es clara en determinar que en el lugar donde se encontraba parqueado el tractocamión no podía estacionarse ningún vehículo, al ser una autopista y vía arteria, salvo quizás alguna emergencia o imprevisto, ante lo cual tenía que tener las luces de parqueo encendidas y orillarse al lado derecho de la vía asegurándose que todos los demás actores viales lo pudieran observar con claridad, sin embargo, el conductor ninguna de esas precauciones se tomó.*

*Nota: la presente providencia se notifica en estado No. 178 del 22/11/2022*

*Es decir, que el camión no tenía las luces de parqueo encendidas, siendo además obligatorio por la hora de ocurrencia de los hechos, en la cual todavía reinaba la oscuridad, y fuera de eso, ni siquiera se encontraba orillado a la derecha por fuera de la calzada.*

*Y aduce que ante la Fiscalía General de la Nación el conductor del tracto camión indicó que se parqueó en dicho lugar para descansar, lo cual agrava la situación descrita toda vez que ese no era un lugar adecuado para tal fin.*

*Entonces, de las razones que fueron esgrimidas por los demandantes, se tiene que el motivo que ha originado este juicio es el lamentable accidente de tránsito ocurrido el cual encaja perfectamente en la hipótesis prevista en el artículo 2° del código Nacional de Tránsito. Ley 769 del 2002, el cual prevé: ‘Accidente de tránsito como: evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en*



*movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él, e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o las vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho”.*

*Aunado a ello, en el plenario se ha acreditado con la prueba militante en el plenario, y en especial el video del lugar del accidente, lo siguiente:*

*a.- Que se ha producido un daño. En el caso que nos ocupa, en el punto anterior se especificó este aspecto, a cuyas reflexiones esta judicatura se remite.*

*b.- Que el día en que ocurrió el siniestro, el tractocamión que provocó el accidente era conducido por PERSONA 2C.*

*c.- Que según se puede observar en el video allegado al plenario, al momento de ocurrir el accidente, las condiciones de visibilidad eran precarias, como quiera que aún era de noche, aunado al hecho de que se presentaba una llovizna leve.*

*d.- Que de acuerdo al video y el álbum fotográfico del accidente se puede avizorar que el vehículo estacionado correspondía a un vehículo de grandes proporciones, de tal manera que aun habiéndose orillado al filo de la carretera, ocupaba un espacio de la carretera equivalente a 2,50 metros de ancho.*

*e.- Que el conductor al momento de estacionar dicho vehículo se orilló a la derecha de la carretera, a una distancia de 10 metros de la salida correspondiente a la circulación de motocicletas.*

*f.- Que el señor PERSONA 2C no tuvo en cuenta que las motocicletas que transitan por ese peaje no hacen el pare, pues no están obligadas a pagar el impuesto de peaje.*

*g.- Que según el video aportado, se avizora que en el sector estaba lloviendo levemente.*

*h.- Que dadas las condiciones del clima, la visibilidad no era la adecuada. Aspecto que lo corroboró en su declaración PERSONA 2C, pues si bien indicó que presentaba una leve brisita (sic), equivalente a una lluvia, después de confrontar las fotografías del álbum fotográfico precisó que esa lluvia junto con las luces que iluminaban el peaje podía encandilar a los conductores.*

*i.- Que inexplicablemente, el conductor al momento de estacionarse lo hizo para descansar a partir de las 10 de la noche del día anterior, como quiera que una de las empleadas del peaje le indicó el lugar donde podía estacionar; sin embargo durante más de 7 horas no encendió las luces estacionarias, ni puso alguna señal para dar a conocer a los conductores que transitaban en dicha carretera que su presencia podría constituir un obstáculo peligroso, dadas las condiciones de la zona y la poca visibilidad, pese a que en su declaración indicó que todas las luces del camión funcionaban perfectamente y también contaba en su equipo con tres conos de 80 centímetros.*

*j.- Que debido a esa omisión, el señor PERSONA 1C, quien venía conduciendo por el carril de circulación de motocicletas y con una velocidad prudente, terminó colisionando con el tractocamión, pues no pudo percatarse de su presencia, lo que le ocasionó la muerte debido a un trauma craneoencefálico que fue diagnosticado por el dictamen de necropsia practicado por medicina legal.*

*k.- De lo ocurrido en el lugar del accidente se puede constatar que el conductor del tractocamión, no cumplió con las recomendaciones previstas en el artículo 77 del Código Nacional de Tránsito, en el sentido de colocar señales luminosas de peligro y luces de estacionamiento, pese a que en el lugar donde se estacionó no estaba prohibido el estacionarse. Y en el evento de que estuviere varado o presentara alguna*

*avería como lo informó el conductor en su declaración, tampoco siguió los lineamientos previstos en el artículo 79 ibídem, pues la norma indica que en caso de reparaciones en la vía pública deberán colocarse señales visibles y en los perímetros rurales fuera de la zona transitable de los vehículos colocando señales de peligro a distancia entre 50 y 100 metros adelante y atrás del vehículo.*

*Ahora bien, cuando el daño se produce como consecuencia de una actividad peligrosa, como lo es la conducción de vehículos automotores, en aplicación de lo normado en el artículo 2356 del Código Civil, basta probar que el hecho dañoso ocurrió como consecuencia directa y necesaria del desarrollo de la actividad peligrosa. Se trata de una responsabilidad especial en la que se exime a la víctima de presentar la prueba de la incuria o imprudencia de la persona a la que demanda la reparación.*

*De allí que en sentir de esta judicatura el citado presupuesto axiológico se encuentra fundamentado por ahora para comprometer a los demandados en la respectiva obligación de reparar los daños, como quiera que en esta clase de asuntos lo que se castiga es el riesgo de ocasionar perjuicios por el ejercicio de una actividad peligrosa que en este evento litigioso ejercían los demandados como es la conducción de automotores.*

### *3.9. Nexo de causalidad.*

**3.9.1.** *Consiste en que debe existir necesariamente relación entre la actividad de la conducción como actividad peligrosa y el daño, lo cual debe ser probado por la parte actora, como que puede ocurrir que aun habiendo culpa no se cause daño, amén de que este no puede ser eventual sino real.*

*En este caso, existe plena causalidad entre las lesiones que sufrió el señor PERSONA 1C y la actuación negligente en la que incurrió el conductor PERSONA 2C, quien desconoció abiertamente las recomendaciones previstas en el Código Nacional de Tránsito cuando conducía el vehículo tractocamión de placas PLACA 2C al momento de estacionarse en el sitio de la colisión, pues así sea necio reiterarlo, PERSONA 2C se pasó por alto los parámetros previstos en la normatividad vigente para ese tipo de situaciones a los cuales se hizo mención anteriormente arriba, y que de haber acatado se hubiera podido evitar el accidente que hoy compromete la atención de esta judicatura, amén que el vehículo tractocamión estaba estacionado en una zona restringida, y no puso alguna señal que indicara a los vehículos que pudiesen transitar indicando su presencia y el peligro que este representaba, pues debido a su gran tamaño estaba invadiendo una parte de la carretera, obstaculizando de esta manera el tráfico vehicular normal del carril derecho.*

*Ahora bien, pese a lo anterior, debe tenerse que el régimen probatorio y de defensa en este caso es especial, tal como lo advierte la Corte en la decisión renglones arriba referida (febrero 22 de 1995), en los siguientes términos:*

*"(...) La causalidad basta para tener por establecida la culpa en aquellos casos en que, atendidas la naturaleza propia de la actividad y las circunstancias precisas en que el hecho dañoso se realizó, la razón natural permite imputar este último a la incuria o imprudencia de la persona de quien se demanda la reparación, e inútil será por lo tanto que este último, guardián de la actividad y demandado en el proceso,*

*intente establecer que observó la diligencia debida; su defensa, entonces, no puede plantearse con éxito en el terreno de la culpabilidad sino en el de la causalidad, rindiendo la prueba de la causa extraña del perjuicio, originada en el caso fortuito o en la fuerza mayor, en el hecho de la víctima o en el hecho de un tercero (...)"*.

*Bajo esta perspectiva, el autor del daño sólo puede exonerarse de su responsabilidad civil extracontractual cuando demuestre que el perjuicio se produjo por caso fortuito, fuerza mayor, o la culpa exclusiva de la víctima o de un tercero.*

*De allí que, en el caso sub examine, se tiene que la sociedad PARTE 2 alegaron como eximente de culpabilidad los siguientes medios defensivo: inexistencia de nexo de causalidad, culpa exclusiva de la víctima y falta al deber objetivo de cuidado de esta.*

*Al efecto dichas excepciones se encaminan a cuestionar la responsabilidad que le endilgan las demandantes, como quiera que la víctima de manera imprudente condujo su motocicleta aun teniendo espacio y visibilidad para observar la presencia del vehículo tractocamión sin realizar alguna maniobra evasiva para evitar el impacto. E insisten que el señor PERSONA 1C tenía visibilidad suficiente de al menos 40 metros, por lo cual estiman que no existe violación al deber objetivo de cuidado.*

*Al efecto, alegan que después de examinar la reconstrucción del accidente de tránsito, constataron que el lugar contaba con buena visibilidad artificial; el tractocamión era visible en el lugar donde se encontraba estacionado; el punto de percepción posible para un motociclista en su carril era mínimo de 40 metros; dada esa distancia era viable que el conductor de la motocicleta pudiese reaccionar con antelación, ante la presencia en la vía de un tractocamión.*

*Ante esa situación insisten que el siniestro fue ocasionado por culpa exclusiva de la víctima, debido a una falta al deber objetivo de cuidado de esta, a quien califican de imprudente al no acatar los obstáculos que se pueden presentar en la vía al momento de ejercer una actividad peligrosa como lo es conducir una motocicleta.*

*De igual manera, el mandatario judicial de PARTE 2C al contestar la demanda formuló como eximentes de responsabilidad las que denominó: “CULPA o HECHO EXCLUSIVO DE LA VÍCTIMA, INEXISTENCIA DE RESPONSABILIDAD POR AUSENCIA DE PRUEBA DEL NEXO CAUSAL, NEUTRALIZACIÓN DE PRESUNCIONES, INEXISTENCIA DE CULPA, ACTUACION DILIGENTE Y CUIDADOSA, IMPUTACION IMPOSIBLE y AUSENCIA DE PRUEBA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURANTES DE LA RESPONSABILIDAD CIVIL”.*

*Los cuales, se sustentan en similares argumentos esgrimidos por los demás demandados en el sentido de considerar que no existen elementos de juicio suficientes que permitan afirmar que PERSONA 2C hubiese sido el responsable del accidente, pues las condiciones de visibilidad del sector eran las adecuadas, como quiera que la zona donde estaba estacionado el tractocamión era iluminada; además, refiere que aparentemente no estaba lloviendo, y por ello, estima que las condiciones eran las adecuadas para que la*

víctima pudiese percatarse con antelación suficiente sobre el escenario; no obstante, no maniobró oportunamente provocando el accidente que le produjo las lesiones que lo llevaron a su deceso.

Para sustentar dichas afirmaciones los demandados trajeron a colación el dictamen pericial presentado por la Unidad de Criminalista y Reconstrucción de Eventos de Tránsito donde se exponen las siguientes conclusiones:

De entrada, su estudio parte del examen del video que obra en el archivo 10 del expediente digital y una reconstrucción que efectuaron en el año 2021. Según su análisis, los peritos nos dan a conocer que:

A partir del análisis de tiempos, dentro video de las cámaras de seguridad del peaje, y tomando como punto de referencia la estructura de concreto del mismo, la distancia recorrida por la motocicleta, desde ese punto, hasta donde se encontraba estacionado el tractocamión, era de aproximadamente 63 metros, se puede estimar que la velocidad promedio que desarrollaba la motocicleta al momento del impacto esta entre 37 y 44 km/h.

De acuerdo al análisis que efectuaron, describen la dinámica del accidente así:

Un instante antes del accidente, el vehículo No 1 (tractocamión) se encontraba detenido, con su zona posterior a una distancia de 19 metros aproximadamente desde el final del carril de salida de la motocicleta, en sentido Club Campestre – La Trinidad, cuando el vehículo No 2 (motocicleta), sale del carril exclusivo para motocicletas en el peaje y colisiona con el vértice trasero izquierdo del tractocamión.

Y las conclusiones a las que arriban los auxiliares de la justicia son las siguientes:

El peaje de Pavas en sentido Club Campestre – La Trinidad, cuenta con dos carriles para vehículos y uno exclusivo para motocicletas a la derecha, este último desaparece metros más adelante sobre el separador virtual, convirtiéndose en una calzada de dos carriles. De acuerdo al informe realizado por la ANI, el límite de velocidad del sector es de 30 km/h.

El vehículo No 1 (tractocamión) se encontraba detenido con su zona posterior a una distancia de 19 metros aproximadamente desde el final del carril de salida de la motocicleta, en sentido Club Campestre – La Trinidad.

De acuerdo al análisis del video de las cámaras de seguridad del peaje Pavas, se puede observar que previo al paso del vehículo No 2 (motocicleta) por el peaje, otra motocicleta realiza el mismo recorrido pasando por un lado del tractocamión. De igual forma en el instante en el que pasa la motocicleta de placas PLACA 1C, no se encuentran otros vehículos paralelos a ella atravesando el peaje.

Se estimó que la velocidad promedio que desarrollaba la motocicleta al momento del impacto se encontraba entre 37 y 40 km/h.

El área de impacto o lugar de la vía en la cual ocurre la colisión, se encuentra a 9,7 metros del separador central, es decir, éste es el espacio disponible para que los vehículos que salen del peaje y continuarán su trayecto.

De acuerdo a las pruebas de visibilidad realizadas los peritos, se puede establecer que en la trayectoria que llevaba la motocicleta, se puede percibir el tractocamión estacionado, desde una distancia de 60 metros aproximadamente. Por su parte, las demandantes allegaron el dictamen pericial cuyas conclusiones fueron:

El hecho de tránsito tuvo lugar entre un tractocamión y una motocicleta. El tractocamión en reposo, estacionado en zona prohibida, sin luces direccionales, estacionarias, sin material reflectivo reglamentario.

El conductor de la motocicleta colisionó contra el tractocamión, golpeando la parte posterior izquierda del vehículo, por lo que sufrió un golpe contundente. El conductor perdió la vida en el lugar.

Las condiciones de visibilidad eran muy limitadas, tal como se ha venido explicando, en el presente informe, por aspectos medioambientales como la lluvia, el casco empañado, la difracción de la luz en el visor, el mal contraste que generó el color del tráiler (azul) con el fondo negro de la oscuridad de la noche.

La cara posterior del tráiler del tractocamión se encontraba en la umbra (a la sombra) del foco de luz más cercano.

Se descartó un exceso de velocidad de la motocicleta, ya que la velocidad de desplazamiento era aproximadamente de 33 Km/h y la velocidad permitida en el sector era de 40 Km/h.

La única posibilidad de que conductor de la moto pudiera ver el tractocamión con las características físicas del entorno, es que hubiera dispositivos reflectivos o luminosos. No había unos, ni los otros.<sup>17</sup>

Mencionan que había dos deberes que le correspondían al conductor del tractocamión, que eran:

-No estacionar en ese lugar, ya que no es permitido. En caso de haber asumido ese alto riesgo, tomar todas las precauciones, para evitar poner en riesgo su propia seguridad y la de los demás actores viales.

-Poner dispositivos reflectivos para que los demás conductores pudieran advertir la presencia del vehículo estacionado. En caso extremo de no tenerlos, por lo menos, colocar las luces de parqueo, estacionarias o direccionales que indiquen que está en ese lugar ocupando ese espacio.

Por lo tanto, determinó que el accidente de tránsito si era evitable si se hubiesen dado cualquiera de las siguientes situaciones:

-Si el tractocamión no hubiera estado estacionado en ese sitio no permitido.

-El problema fundamental surgió al parecer, en la falta de visibilidad. El conductor de tractocamión pudo proporcionar la iluminación mediante dispositivos reflectivos o luces de parqueo. El accidente se hubiera podido evitar si el conductor del camión hubiera puesto los dispositivos reglamentarios para parquearse en la noche

**3.9.2.** *Vistas las cosas de esta manera, y después de haber escuchado la sustentación de los expertos y confrontar sus afirmaciones con la exhibición del video, resulta evidente que las conclusiones del dictamen allegado por PARTE 2C, no son de recibo para esta judicatura, como quiera que para arribar a las mismas no tuvieron en cuenta aspectos relevantes como la lluvia, el piso mojado, las condiciones del casco, el hecho de que el conductor de la motocicleta estaba usándolo, que la lluvia efectivamente era un factor que impedía su visibilidad o que salía de un carril que no contaba con la visibilidad suficiente para poder maniobrar con tiempo la motocicleta y evitar colisionar con el tractocamión; ni siquiera hace*

---

<sup>17</sup> subrayado fuera del texto original

*un pronunciamiento en el sentido de si el motociclista incurrió en alguna infracción de tránsito que le sea reprochable para causar el accidente; solo hace mención muy tangencial de un eventual exceso del límite de velocidad que fue desvirtuado con una fotografía que aparece en el mismo dictamen.*

*De otra parte, dicho dictamen no tiene en cuenta la omisión en la que incurrió PERSONA 2C al no haber acatado las recomendaciones de tránsito para estacionarse en una carretera en horas de la noche y en una zona rural, de conformidad con el artículo 79 del Código Nacional de Tránsito, pues la parte solicitante omitió concienzudamente hacer ese tipo de preguntas que fueron absueltas por las que le hizo el suscrito, habida cuenta que las respuestas que se hubiesen obtenido no serían favorables a sus intereses. Por ello, esta judicatura comparte las conclusiones del dictamen presentado por la parte actora que sí tuvo en cuenta más variables y además se aproxima a la realidad que exhibe el video del*

*accidente, el cual es contundente como prueba para acreditar de manera fehaciente e inequívoca que el nexo de causalidad que existe entre la colisión en la que perdió la vida PERSONA 1C fue ocasionado por las omisiones que a título de culpa grave incurrió PERSONA 2C por estacionarse en una zona en la que evidentemente estaba obstaculizando el flujo vehicular y por no haber colocado las señales de tránsito en las que advertía de la situación en la que se encontraba ese vehículo automotor, siendo esta una obligación legal que inexplicablemente el precitado conductor del tractocamión, quien pese a su experiencia, pasó por alto y que no tiene justificación alguna para sustraerse del acatamiento de la misma, ni siquiera por el hecho de que otros vehículos hayan transitado al lado del tractocamión y no hayan tenido algún otro percance ese día en concreto.*

*Por lo tanto, se insiste por parte de esta judicatura que, de acuerdo a la prueba militante en el plenario, se puede inferir que no le asiste responsabilidad al señor PERSONA 2C en la ocurrencia del accidente, pese a haber estado ejerciendo una actividad peligrosa como quiera que no se logró demostrar que venía en exceso de velocidad, o que no tenía las luces encendidas, o que incurrió en una maniobra peligrosa, amén que al momento de transitar por la vía de circulación de motocicletas no tenía la visibilidad suficiente para prever que estaba estacionado un tractocamión en la misma, el cual además obstaculizada su visibilidad dada la forma de la carretera que se angosta a manera de un “cuello de botella”.*

*Es por ello que las circunstancias planteadas por los demandados como eximentes de responsabilidad están llamadas al fracaso, y por ende, se descarta la posibilidad de exonerarlos de responsabilidad o de regular las indemnizaciones a título de compensación de culpas, como quiera que si bien es cierto en el accidente hubo concurrencia de actividades peligrosas, sin embargo, de manera ineludible se infiere que fue la conducta negligente y omisiva del conductor del tractocamión la que provocó el siniestro, sin que esa circunstancia sea reprochable a la víctima.*

*De allí que, en sentir de esta judicatura, siguiendo los lineamientos jurisprudenciales a los cuales se hizo mención, resulta inequívoco que tuvo incidencia en el acaecimiento del siniestro las infracciones a las normas de tránsito en la que incurrió el conductor de vehículo de propiedad de los demandados. (...)*

*En consecuencia, habrá de acogerse parcialmente las pretensiones de la demanda en la forma como se ha venido pregonando a lo largo de este fallo y se condenará en costas a los demandados y la llamada en garantía y además se harán los demás pronunciamientos consecuenciales.*

En mérito de lo anteriormente expuesto, el Juzgado Tercero Civil del Circuito de Manizales, administrando justicia en nombre de la República de Colombia y por autoridad de la Ley,

#### **IV. RESUELVE**

**PRIMERO: DECLARAR NO PROBADAS** la objeción al juramento estimatorio y las excepciones de mérito formuladas por PARTE 2C, denominadas “**CARENCIA DE LEGITIMACION MATERIAL**” EN LA CAUSA POR PASIVA DE PARTE 2C, CULPA O HECHO EXCLUSIVO DE LA VÍCTIMA, INEXISTENCIA DE RESPONSABILIDAD POR AUSENCIA DE PRUEBA DEL NEXO CAUSAL, NEUTRALIZACIÓN DE PRESUNCIONES – APLICACIÓN DEL RÉGIMEN SUBJETIVO DE RESPONSABILIDAD AL PRESENTE PROCESO, INEXISTENCIA DE CULPA, ACTUACION DILIGENTE Y CUIDADOSA, AUSENCIA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURANTES DE LA RESPONSABILIDAD CIVIL, IMPUTACION IMPOSIBLE, PRESCRIPCION, CADUCIDAD, COMPENSACIÓN, LA GENERICA, COMPENSACION DE CULPAS, INEXISTENCIA DE SOLIDARIDAD EN EL MARCO DEL CONTRATO DE SEGURO, LIMITE DEL VALOR ASEGURADO, SUBLIMITE POR EVENTO, AGOTAMIENTO PREVIO DE LA POLIZA DE RESPONSABILIDAD EXTRACONTRACTUAL OBLIGATORIA DEL VEHÍCULO CON PLACAS VEHÍCULO 2C” por las razones de orden jurídico y legal vertidas en el curso de este fallo.

**SEGUNDO: DECLARAR NO PROBADAS** las excepciones de mérito formuladas por PARTE 2C “**INEXISTENCIA DE NEXO DE CAUSALIDAD, CULPA EXCLUSIVA DE LA VICTIMA, FALTA AL DEBER OBJETIVO DE CUIDADO DEL SEÑOR, INEXISTENCIA DE CULPA POR PARTE DEL VEHÍCULO PLACA 2C**”.

**TERCERO: DECLARAR a PARTE 2C** responsables por los perjuicios de carácter patrimonial y extrapatrimonial sufridos por las demandantes a raíz del accidente de tránsito ocurrido el día 31 de julio de 2018 en el que falleció PERSONA 1C.

**CUARTO: CONDENAR a PARTE 2C** al pago de las siguientes sumas de dinero las cuales quedarán así: (...) **Parágrafo:** Ordénese a PARTE 2C, que cancele a favor de las demandantes **PARTE 1C** las cantidades que correspondan a la cobertura de la Póliza Integral Logística 1001966 hasta el monto máximo permitido, sin perjuicio de los deducibles a que haya lugar.

**QUINTO: CONDENAR** en costas a los demandados a favor de las demandantes **PARTE 1C**.

**SEXTO:** Cumplido lo anterior, archívese el presente asunto previas las anotaciones en el radicador del despacho.

JUEZ 1C

Firmado Por:

Civil 003 Manizales - Caldas

## □ 2C. CONCEPTO PERICIAL

---

**FECHA:** Viernes 04/02/2022

### **Informe Pericial De Reconstrucción Analítica De Accidente De Tránsito (Raat)**

#### **ABREVIATURAS**

**AT** Accidente de tránsito

**RAAT** Reconstrucción analítica de accidente de tránsito

**V1** Vehículo No 1 - Tractocamión, según el IPAT

**V2** Vehículo No 2 - Motocicleta, según el IPAT

#### **PRELIMINARES DE LEY**

De conformidad con lo estipulado en el artículo 226 de la ley 1564 de 2012 C.G.P, me permito rendir el siguiente informe, bajo la gravedad de juramento, precisando que mi opinión es independiente y corresponde a mi real convicción profesional. Declaro igualmente que los exámenes, métodos, experimentos e investigaciones efectuados NO son diferentes respecto de los que he utilizado en peritajes rendidos en anteriores procesos y que versan sobre las mismas materias.

#### **DESTINO DEL INFORME**

**Solicitante:** APODERADO 2C

**Fecha de solicitud:** 17/01/2022

**Víctima:** PERSONA 2C

**Dirección del solicitante:** PRIVADO

#### **OBJETIVO DEL INFORME**

Realizar reconstrucción analítica de accidente de tránsito del hecho de tránsito que tuvo lugar el lunes 31 de julio del 2018, siendo aproximadamente las 05:15 horas, en la vía Club Campestre - La trinidad Km 1 + 300 m, sector peaje las Pavas jurisdicción del municipio de Manizales, donde resultaron involucrados dos (02) vehículos de los cuales el conductor de la motocicleta fallece en el lugar debido a la gravedad de las heridas sufridas.



## **DOCUMENTOS EMP Y EF ALLEGADOS POR LA PARTE SOLICITANTE PARA EL ANÁLISIS.**

Para la realización de este informe, se emplearon los siguientes documentos que fueron entregados en formato digital mediante memoria usb y se encontraban con los siguientes nombres: (...)

### **SITUACIÓN FÁCTICA OBJETO DE ANÁLISIS**

De acuerdo a la información contenida en el informe Policial de Accidente de Tránsito IPAT suscrito por el PRIMER RESPONDIENTE 2C, se trata de

*“Un accidente de tránsito de gravedad con muertos, tipo choque con objeto fijo vehículo estacionado, hechos ocurridos el día 31 de julio de 2018 a eso de las 5:00 horas, en la Vía Club Campestre - La trinidad km 1 + 300 metros, sector peaje Pavas jurisdicción del municipio de Manizales; en el evento de tránsito resultaron involucrados dos (02) vehículos de los cuales el conductor de la motocicleta fallece en el lugar debido a la gravedad de las lesiones.”* (Informe Investigador de laboratorio, reconstrucción de accidente de tránsito, pgs. 2 y 3)

### **HIPÓTESIS OFICIAL DEL AT - IPAT**

**141** Vehículo mal estacionado - Parquear un vehículo parcial o totalmente paralelo o atravesado sobre la calzada.

**138** Falta de precaución por niebla, lluvia o humo - Conducir en estas circunstancias sin disminuir la velocidad y/o sin utilizar luces.

### **SOBRE EL LUGAR DEL AT**

**Dirección:** Vía Club Campestre - La trinidad km 1 + 300 metros, sector peaje Pavas jurisdicción del municipio de Manizales

**Georreferenciación:**

**GPS:** 5°01'38" N 75°35'13" W

**Elevación:** 1220 msnm

### **LÍMITE DE VELOCIDAD PERMITIDO**

Según los EMP y EF analizados hay dos fuentes de la cual se puede tomar este valor.

El primero es la

“Respuesta Traslado solicitud de información Dirección de Tránsito y Transporte Seccional Manizales S-2018-048858. Radicado ANI No. 20184091309032 - Contrato de Concesión No. 0113 de 1997. Proyecto “Desarrollo vial Armenia - Pereira - Manizales””(Respuesta ANI)

En la cual, frente a la cual refieren:

“Con relación a las características de la vía, señales de tránsito y límites de velocidad existentes en la vía club Campestre - La trinidad **Km 1 + 300** Sector Peaje Pavas, para el 31 de julio de 2018; (...)” (Respuesta ANI, negrilla y subrayado fuera del texto original)

Concluyendo al final

“Los límites de velocidad establecidos en este sector dada la cercanía al peaje de pavas, **k1+200**, la velocidad permitida máxima es de 30 km/h” (Respuesta ANI, negrilla y subrayado fuera del texto original)

Se debe tener presente que el lugar de ocurrencia del AT según el IPAT es en el Club Campestre la Trinidad Km 1+300, pero la respuesta proporcionada por la ANI habla sobre el límite de velocidad en el K1+200, punto que queda a 100 m del lugar del hecho de tránsito, por lo cual no sería adecuado usar este límite de velocidad, ya que, resulta distinto al del lugar de interés.

El segundo es el límite de velocidad presente a 10m aproximadamente del lugar de ocurrencia del AT que es de 40 Km/h y se evidencia en el álbum fotográfico del día del AT.



Fig. 9A. Caso 2C Informe de investigador de campo - FPJ - 11

Debido a la cercanía, este es el límite de velocidad que se empleará en adelante, como límite de velocidad permitido.

**Límite de velocidad permitido:** 40 km/h

### **SOBRE LA VÍA**

CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA	Datos del IPAT sobre el lugar del AT
Geométricas	Recta, plano
Utilización	Un sentido
Calzadas	Dos
Carriles	Dos
Superficie de rodadura	Asfalto
Estado	Bueno
Condiciones	Húmeda
Iluminación artificial	Con
Controles de tránsito	No reportado
Señales Verticales	Velocidad Máxima
Señales Horizontales	No reportado
Linea central amarilla	No reportado
Linea de carril blanca	No reportado
Línea de borde blanca	Si
Línea de borde amarilla	Si
Reductor de velocidad	Resalto
Delineador de piso	No reportado
Visibilidad	Normal

## **SOBRE LOS VEHÍCULOS INVOLUCRADO**

### **VEHÍCULO 2:**



Fig. 10. Caso 2C. Informe de investigador de campo - FPJ - 11

### **VEHÍCULO 1:**



Fig. 16. Caso 2C. Informe investigador de campo  
- FPJ - 11 - daño lateral derecho motocicleta

## **SOBRE LAS PERSONAS INVOLUCRADAS EN EL AT**

**Nombre persona 1:** PERSONA 2C **Gravedad de las lesiones:** Ileso

**Rol:** conductor del tractocamión

No se relaciona imagen de la persona.

**Nombre persona 2:** PERSONA 2C  
**Gravedad de las lesiones:** Fallecido.  
**Rol:** conductor de la motocicleta.



Fig. 11. Caso 2C. Tomado de Informe de investigador de campo - FPJ  
- 11

### **SOBRE LAS HUELLAS REPORTADAS EN EL LUGAR DEL AT**

**Huellas de frenado:** Son las huellas del resultado de la interacción entre la llanta y el manto asfáltico, debido a la acción de frenado, en el cual espontáneamente o de forma gradual se bloquean las llantas con el propósito de detener la marcha del vehículo.

No hubo reporte de huellas de frenado

**Huellas de arrastre metálico:** Son huellas que quedan en el manto asfáltico, cuando hay fricción entre una superficie dura y la vía, por ejemplo la fricción causada por el manubrio de una moto contra el asfalto.

No hubo reporte de huellas de arrastre metálico

**Lago de aceite o alguna sustancia externa:** Se pretende evidenciar la presencia o no de sustancias ajenas a la vía que pudieran propiciar la ocurrencia del AT.

**Huellas de arrastre biológico:** Son huellas resultado de la interacción mediante el mecanismo de fricción, entre alguna parte del cuerpo de la persona con el manto asfáltico o alguna superficie sólida.

No hay reporte de arrastre biológico

**Lagos hemáticos:** Son pozos de sangre o algún tipo de fluido biológico de la persona, en el lugar del AT y asociable al mismo.

Aunque en el croquis del IPAT no hay reporte, en las fotografías se evidencia que hay un lago hemático a la altura de la cabeza de la víctima, es decir en la coordenada (X = 8.99 ; Y = 8.2)



*Tomada informe investigador de campo - FPJ - 11*

Fig. 12 Caso 2C

**¿Vía seca, húmeda, mojada o con hielo?** Vía húmeda producto de la lluvia constante, antes, al momento del AT, y tiempo después, según lo evidenciado en el video 20180731051600-20180731052000 de la cámara de seguridad del peaje y los documentos del proceso adelantado por la fiscalía.

Según el IPAT, la vía estaba húmeda. Evidencia de ello es que la luz se refleja con intensidad en el manto asfalto, este fenómeno óptico se presenta cuando la vía no está seca.

Adicionalmente, según el *INFORME PERICIAL DE NECROPCIA N°. 2018010117001000238*, en el apartado de prendas de vestir se evidencia una prenda tipo *OVEROL IMPERMEABLE COLOR AMARILLO COLOCADO DE MANERA USUAL*, que por su naturaleza, podría indicar que en efecto estaba lloviendo o había llovido.



Fig. 13. Caso 2C. Tomada de video  
MZL-20180731051600-20180731052000

## **DAÑOS Y LESIONES SUFRIDOS POR LAS PERSONAS INVOLUCRADAS**

**Nombre persona 1:** PERSONA 2C

**Gravedad de las lesiones:** Ileso.

**Nombre persona 2:** PERSONA 2C

**Gravedad de las lesiones:** Fallecido.

**Principales hallazgos de necropsia:**

*“Se trata del cadáver de un hombre adulto quien presenta los siguientes hallazgos macroscópicos de necropsia:*

- 1. Al examen externo signos de trauma de tejidos blandos en cara, rodilla derecha, otorragia derecha*
- 2. Al examen interno signos de trauma en cráneo: a nivel de los temporales, occipital, esfenoides, fractura en bisagra del cráneo que pasa por los peñascos, la silla turca. Edema cerebral generalizado, hemorragia subaracnoidea generalizada y del cerebelo*
- 3. Fractura de clavícula izquierda en su tercio medio y fractura de arcos costales anteriores derechos 6 y 7. (...)*

### **ANÁLISIS Y OPINION PERICIAL**

**CONCLUSIÓN PERICIAL:** (...) Al examen de necropsia de encuentras signos de trauma craneoencefálico severo, se concluye que fallece de manera violenta por un trauma contundente craneoencefálico producido por hechos de tránsito.

**Causa básica de muerte:** Trauma craneoencefálico severo

**Manera de muerte:** Violenta en accidente de tránsito”(Informe pericial de Necropsia N°.2018010117001000238)

### **DAÑOS MATERIALES EN LOS VEHÍCULOS**

#### **VEHÍCULO No 2:**



Fig. 14. Caso 2C. Tomado del informe pericial a vehículo automotor

#### **VEHÍCULO No 1:**

Motocicleta marca **Bajaj**, línea **Bóxer 100**, Color **Negro**, modelo **2013**.

**Daños:** “Fractura carenaje, abolladuras tanque combustible, desalojo manigueta derecha, desplazamiento defensa y otros”(PRIMER RESPONDIENTE)





Fig. 15. Caso 2C. Informe investigador de campo - FPJ - 11 - daño frontal motocicleta



Fig. 16. Caso 2C. Informe investigador de campo - FPJ - 11 - daño lateral derecho motocicleta

### **SOBRE EL HECHO DE TRÁNSITO**

Para empezar el análisis, hay que tener en cuenta lo reportado por el primer respondiente en IPAT sobre la hipótesis del AT.

**141** Vehículo mal estacionado - Parquear un vehículo parcial o totalmente paralelo o atravesado sobre la calzada. Atribuido al Tractocamión (no lo dice explícitamente, pero se infiere por las características del AT)

**138** Falta de precaución por niebla, lluvia o humo - Conducir en estas circunstancias sin disminuir la velocidad y/o sin utilizar luces. Atribuido a la motocicleta (no lo dice explícitamente, pero se infiere por las características del AT)

Para abordar el desarrollo analítico siguiente, se seguirá la siguiente hoja de ruta:

- 1) Todo AT tiene 3 momentos. Antes, durante y después. Se analizará cada uno con el propósito de sacar elementos relevantes desde el punto de vista técnico científico.
- 2) Análisis de velocidad. ¿Es posible calcular la velocidad promedio de desplazamiento del motociclista al momento del AT?
- 3) La visibilidad. Es un elemento que cambia en función de variables como:

#### **Elementos del entorno.**

- Si es de día o de noche.
- Si tiene una fuente de luz artificial. Ubicación espacial de los objetos en términos de la umbra, penumbra y la antumbra.
- La luz estaba delante o atrás del observador (conductor de la motocicleta)
- Si está nublado o está despejado.
- Si está lloviendo o no.

### **Elementos de alerta en la vía para vehículos en marcha o en reposo.**

- Sonido como alerta. ¿El motor del tractocamión estaba encendido al momento del At? El sonido del motor del vehículo en sí mismo podría haber servido de alerta.

- Alertas visuales. Luces direccionales o estacionarias.

- Uso de dispositivos reflectivos como conos y cintas.

Uso de casco y visibilidad. Temperatura interna y externa del casco. ¿Porqué se empaña un casco?

Lluvia sobre la visera del casco refracción y difracción de la luz, puede limitar la visibilidad

### **Apuntes sobre el color**

Isaac Newton (1641 - 1727), en 1666 tuvo las primeras evidencias de que los colores no existen. Solamente la percepción que tenemos de ellos.

¿Es posible que el conductor de la motocicleta no hubiera percibido el tractocamión de esas dimensiones parqueado en las condiciones físicas concretas del caso? Ilusión óptica - color oscuro (azul) sobrepuesto a un fondo oscuro (ausencia de luz).

Espectro electromagnético, ubicación del color de la carrocería del trailer

¿Cuál es la importancia del color amarillo y rojo de los elementos reflectivos en las señales de alerta como señales de tránsito, luces de parqueo o luces de freno?

### **Óptica geométrica**

En el lugar habían 2 cámaras de seguridad, una observando la vía Manizales - Pereira y la otra en sentido Pereira -Manizales, ambas registrando simultáneamente dos perspectivas distintas de un área similar

¿Porqué en una se observa como si la lluvia ya hubiera cesado y en la otra se ve claramente que está lloviendo?

Tamaño de partícula.

Distancia focal y foco de una cámara.

Resolución y sensibilidad de un instrumento óptico como una cámara.

Ángulo de enfoque

Distancia de enfoque

Altura de enfoque

# EXPLICACIÓN DE LOS EXÁMENES, MÉTODOS, EXPERIMENTOS E INVESTIGACIONES EFECTUADAS

## CONCEPTOS TEÓRICOS RELEVANTES

### VELOCIDAD.

Desde el punto de vista de la física, la velocidad es el cambio de posición de un lugar respecto al tiempo, por lo que la velocidad tiene unidades de distancia en metros (m) sobre tiempo en segundos(s), que también se pueden convertir a kilómetros por hora Km/h.

$$V = \frac{x}{t}, \text{ con unidades de } \frac{m}{s} \text{ o } \frac{Km}{h}$$

Siendo: **V** la velocidad, **x** la distancia y **t** el tiempo.

Esto implica que, si cuento con los valores de las distancia y tiempo para un problema concreto, se puede calcular la velocidad promedio a la que se desplazaba el vehículo.

### ENERGÍA.

La energía cinética de una partícula elemental de masa  $m$  animada de una velocidad  $v$  se

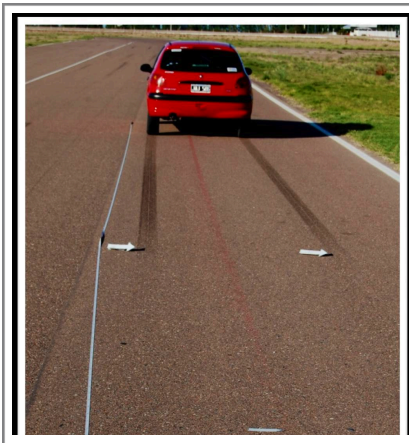


Fig. 17. Caso 2C. Tomado de Universidad de Aconcagua



Fig.18. Caso 2C. Tomado de carroya.com

define por la expresión:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \text{ Ec. (54)}$$

Siendo: **E** la energía, **m** la masa del vehículo con el conductor y **v**, la velocidad promedio de desplazamiento. (*Accidentes de tránsito, investigación y reconstrucción. Anibal O. García*)

## EL FENÓMENO DE FRENADO

Un automóvil en movimiento a cierta velocidad, desacelera (frena) hasta alcanzar una velocidad menor, y en general mayor o igual a cero, como consecuencia de la aplicación de un fuerza horizontal longitudinal.

El **coeficiente** de rozamiento o **coeficiente de fricción** vincula la oposición al deslizamiento que ofrecen las superficies de dos cuerpos en contacto según la intensidad del apoyo mutuo que experimentan. Es un **coeficiente** adimensional. Usualmente se representa con la letra griega  $\mu$  (mi).

## COEFICIENTE DE FRICCIÓN ODESACELERACIÓN

DESCRIPCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA CARRETERA	SECA				HÚMEDA			
	Menos de 50 Km/h		Más de 50 Km/h		Menos de 50 Km/h		Más de 50 Km/h	
Asfalto o alquitrán	De	A	De	A	De	A	De	A
Nuevo, liso	0.80	1.20	0.65	1.00	0.50	0.80	0.45	0.75
Usado	0.60	0.80	0.55	0.70	0.45	0.70	0.40	0.65
Pulimentado por el tránsito	0.55	0.75	0.45	0.65	0.45	0.65	0.40	0.60
Con exceso de alquitrán	0.50	0.60	0.35	0.60	0.30	0.60	0.25	0.55

$$\mu_i = \frac{F}{kmg}$$

Donde  $\mu_i$  es el coeficiente de fricción (adimensional); **F** es la fuerza en Newton [N]; **k** es la constante elástica [N/m]; **m** es la masa [Kg] y **g** es la constante de aceleración de la gravedad. [9.81 m/s<sup>2</sup>]. (*Accidentes de tránsito, investigación y reconstrucción. Anibal O. García*)

Tab.3. Coeficientes de fricción<sup>18</sup>

<sup>18</sup> La fuente original de la tabla es : Fuente: Charles Y. Warner, Gregory C. Smith, Michael B. James and Geoff J. Germane Friction applications in accident reconstruction/SAE 830612

## VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN FUNCIÓN DE LA LLUVIA

El coeficiente de fricción es un valor numérico adimensional que varía (incrementa o se reduce) en función de las superficies que estén en contacto.

En la RAAT la variación de coeficiente de fricción del vehículo es determinante a la hora de explicar la manera como ha ocurrido el siniestro vial, la razón es porque a mayor coeficiente de fricción, el conductor tiene una mayor capacidad de frenar el vehículo y a menor coeficiente de fricción esta capacidad se reduce, lo que a su vez implica que requiere una mayor distancia para detener el vehículo completamente.

Si el manto asfáltico está seco, el vehículo frena mejor y más rápido. Si está mojado, la capacidad de frenar se reduce sustancialmente. A continuación se presentan las cifras.

### VISIBILIDAD.

Mayor o menor distancia a que, según las condiciones atmosféricas, pueden reconocerse o verse los objetos.(RAE)

### FUENTE DE LUZ

La luz es una onda electromagnética que se propaga en el vacío, su unidad fundamental es el fotón. Una fuente de luz es de donde se emiten grandes cantidades de fotones en múltiples direcciones a lo largo del espacio.

Cuando la luz choca con un objeto opaco pueden pasar varias situaciones entre las cuales están:

La **umbra**, la **penumbra** y la **antumbra** que son tres partes distintas de una sombra, creadas por cualquier fuente de luz.

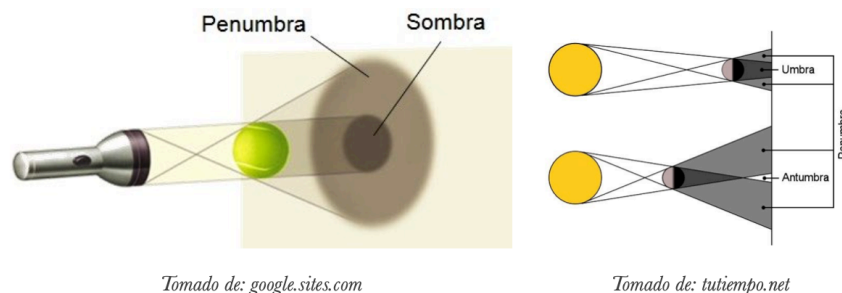


Fig. 19. Caso 2C.

**La umbra:** Es la región que está en la sombra por completo. Es decir que no recibe ningún fotón proveniente de la fuente de luz

**La antumbra:** Es la región desde la que el cuerpo que oculta la luz aparece totalmente contenido alrededor de un disco de luz proveniente de la fuente de luz. Un observador situado en la antumbra experimenta un eclipse anular en el cual un brillante anillo es visto alrededor del cuerpo que eclipsa.

**La penumbra:** Es la región que recibe solamente una parte de los fotones, por lo cual se habla de una sombra parcial o iluminación débil.

### IMPORTANCIA DE LOS DISPOSITIVOS LUMINOSOS LUCES ESTACIONARIAS, DIRECCIONALES.



Fig. 20. Caso 2C.Tomada de video-20180731051600-20180731052000

## IMPORTANCIA DE LOS CONOS, CINTAS Y DISPOSITIVOS REFLECTIVOS.



*Tomado de la web*



*Tomado de la web*

Fig.23. Caso 2C.

### **Absorción y reflexión de la luz.**

Isaac Newton (1641 - 1727), en 1666 tuvo las primeras evidencias de que los colores no existen. Solamente la percepción que tenemos de ellos.

En ese orden de ideas, lo que realmente existe es la luz blanca. La luz blanca puede descomponerse en luces monocromáticas, siempre que atraviese algún obstáculo que haga que las diferentes ondas que componen la luz blanca viajen a velocidades diferentes, como por ejemplo un prisma transparente o el ojo humano.

Cuando se tiene una fuente de luz, como puede serlo una lámpara, lo que realmente sucede es que artificialmente se envían ondas que al chocar con los objetos, viajan a diferentes velocidades y de esta forma nace la percepción del color, debido a que el ojo humano se comporta como un prisma.

Si se tiene una fuente de luz como un bombillo y se tiene un objeto que se pretende iluminar, teóricamente lo que ocurre es que ese material **absorbe** todas las longitudes de onda del espectro visible excepto el color que percibe el ojo humano.

La longitud de onda que **refleja** es la que llega al ojo humano y nos permite decir *el trailer del tractocamión de este accidente de tránsito es azul oscuro*, como se observa en la siguiente imagen.

En todo caso se puede observar que la capacidad de reflejar y hacerse visible de un material de color azul es significativamente menor que la de un material de color amarillo o rojo, esa es la razón por la cual las señales de tránsito son de color amarillo (las de alerta) y las luces de freno de los vehículos son de color rojo.

La necesidad de que en todo momento sean visibles los vehículos para los demás actores viales es una necesidad primaria en la vía.

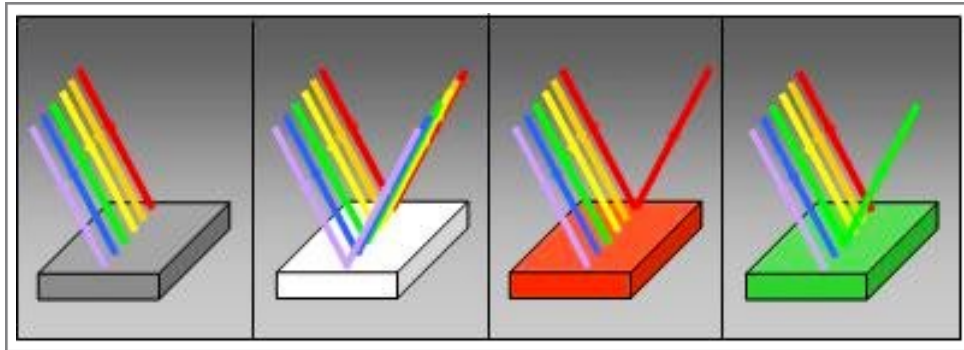


Fig. 22. Caso 2C. Tomado de absorción y reflexión óptica

Si el objeto **absorbe** todos los colores del espectro, parece ser negro. Si por el contrario **refleja** todos los colores, parece ser blanco.

**La esencia del color amarillo tráfico.**

El amarillo tráfico es un color ligeramente anaranjado, Su tonalidad está estandarizada internacionalmente como RAL 1023.

Se considera que es un color que tiene gran visibilidad a la distancia y en la oscuridad nocturna. Los científicos lo describen como sigue: "La visión periférica lateral para la detección de los amarillos es 1,24 veces mayor que para rojo".



Tomado de la web



Tomado de la web

Fig. 21. Caso 2C.



Es por esto que se escogió este color para los buses escolares de Nueva York desde 1939, y posteriormente en taxis y diversas señalizaciones de tránsito.

Así las cosas es importante entender la razón por la cual las poner materiales reflectivos es fundamental para poder prever un obstáculo (como un tractocamión detenido en la vía).

Actualmente existen todo tipo de materiales **reflectivos** para poder indicar la presencia de obstáculos en la vía.

## **SOBRE POSICIÓN DE OBJETOS OSCUROS - ILUSIÓN ÓPTICA DE**

### **Contraste:**

Relación entre iluminación máxima y mínima de un objeto

Cuando hay dos objetos, uno con un color claro y el otro oscuro, el contraste es bueno y se realza el color de ambos, permitiendo diferenciar entre los dos. Si ambos son claros, la imagen se pierde en contraste con la otra, de igual manera que cuando ambas son oscuras.



Alto Contraste - Medio contraste - Bajo contraste

Fig. 24. Caso 2C.

Tengo el fondo negro de la imagen de la izquierda y el recuadro azul de fondo blanco de la derecha y ambos se ven bien individualmente. Cuando se sobreponen, el color más oscuro tiende a opacar al color menos oscuro (azul) y da la sensación de que se ve menos o dependiendo del tono de azul podría eventualmente “camuflarse” imposibilitando verlo.

A partir de lo anteriormente expuesto es probable que debido al color no reflectivo y relativamente oscuro del trailer del tracto camión, aunado a otros factores, se hubiera presentado un fenómeno óptico de bajo contraste entre el trailer azul y el fondo negro de la madrugada, lo cual desde el punto de vista del observador

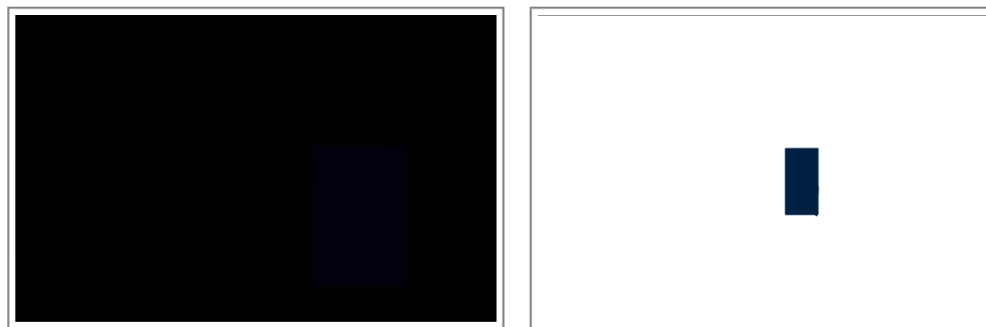


Imagen 1

Imagen 2

Fig. 25. Caso 2C.

(conductor de la motocicleta) hubiera imposibilitado identificar el tractocami3n. Esta situaci3n es completamente probable, ya que, no depende de las dimensiones de veh3culo (como para preguntarse porqu3 el conductor de la motocicleta no vio un veh3culo tan grande como el tractocami3n) sino, las caracter3sticas de la visibilidad sustentadas en la diferencia de color y representadas en un bajo contraste.

## ESPECTRO ELECTROMAGN3TICO UBICACI3N DEL AZUL, AMARILLO Y ROJO

**Rojo:**  $7 \times 10^{-9}m$  \_\_\_\_\_ 700 nm Aproximadamente

**Naranja:**  $7 \times 10^{-9}m$  \_\_\_\_\_ 615 nm Aproximadamente

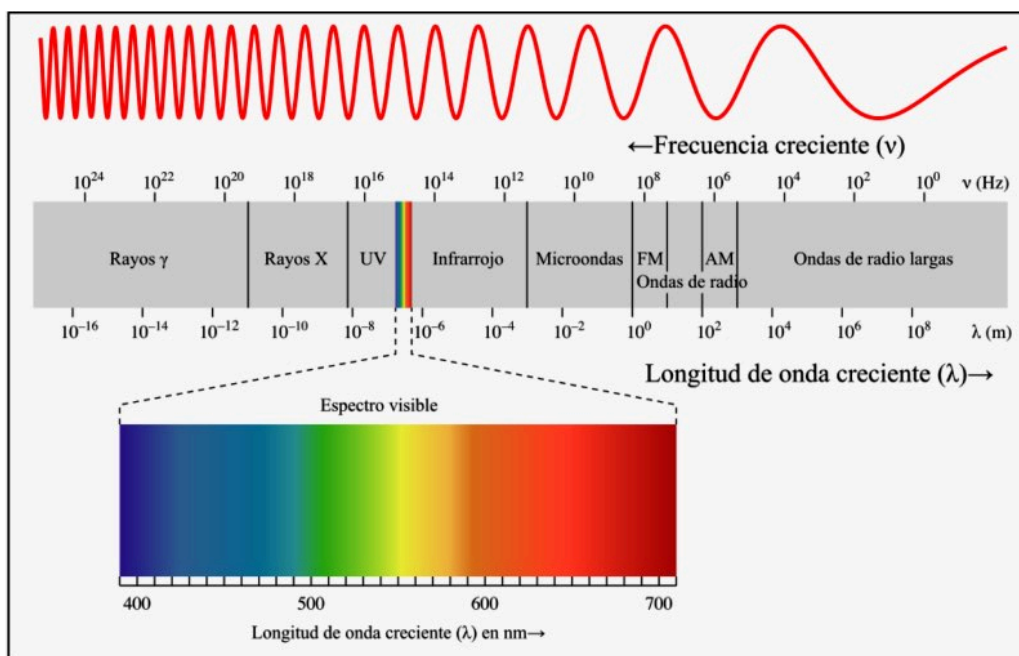


Fig. 26. Caso 2C. Espectro electromagn3tico - rango visible por el ojo humano - frecuencia en nan3metros - tomado kindpng.com

**Amarillo:**  $5.7 \times 10^{-9}m$  \_\_\_\_\_ 570 nm Aproximadamente

**Azul:**  $4 \times 10^{-9}m$  \_\_\_\_\_ **400 nm** \_Aproximadamente - es la menor longitud de onda.

A partir de lo anterior se evidencia que el color azul es el que tiene una longitud de onda menor de todos los colores mencionados. Esto implica que la probabilidad de verlo en una zona oscura es mucho menor que lo que sería un rojo, naranja o amarillo.

## DISTANCIA FOCAL Y FOCO

Este AT tiene una particularidad y es que parte de la discusión debe plantearse las siguientes premisas:

- 1) En el lugar habían dos cámaras apuntando desde distintas perspectivas (Una en sentido Manizales - Pereira y la otra Pereira Manizales).
- 2) Ambas estaban activas simultáneamente grabando. En el registro de una, se tiene la sensación de que ya no estaba lloviendo, en la otra se ve perfectamente que estaba lloviendo al momento del AT. ¿Porqué pasa eso?

Para poder abordar este tema, se debe definir:

**Distancia focal:**

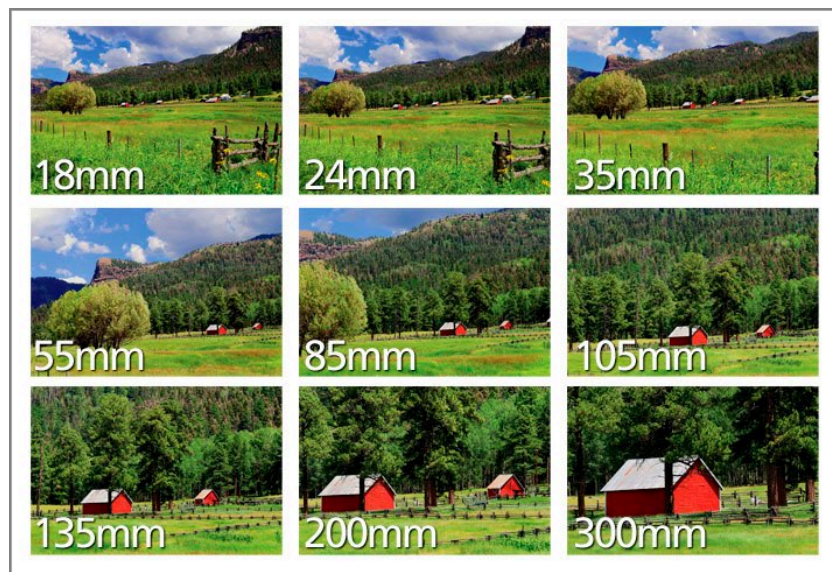
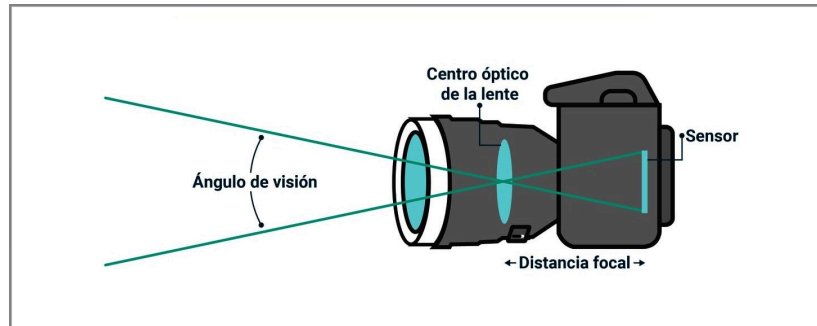


Fig. 27B. Caso 2C. Distancia focal vs capacidad de captar objetos - Nikon.com

La distancia focal o longitud focal de un lente es la distancia entre el centro óptico de la lente y el foco.

Este concepto explica la razón por la que una cámara puede captar una información del entorno y la otra no. Pese a que se desconocen las especificaciones técnicas de las cámaras, la probabilidad de que estuvieran configuradas



*Fig. 28. Caso 2C. Ilustración distancia focal de una cámara - Tomada de la web*

exactamente igual es baja, porque no solamente depende de la distancia focal, sino del ángulo de inclinación, la altura de instalación etc.



*Altura cámara 1  
Ubicación: 5°01'39" N  
75°35'12" W  
Costado donde estaba el  
tractocamión*



*Altura Cámara 2  
Ubicación: 05°01'37" N 75°35'14" W  
Costado contrario a la ubicación del  
tractocamión*

*Fig. 29. Caso 2C.*

La imagen anterior da cuenta de cómo variando un solo parámetro físico como la distancia focal es posible modificar la imagen (en este caso a medida que se aumenta la distancia focal, se acerca más la imagen). Una explicación sencilla sería que la distancia focal en una cámara era adecuada para captar un objeto del tamaño de partícula de las gotas de agua, mientras que en la otra no.

### **Punto focal de las cámaras**

Es el lugar o como su nombre lo dice el punto en el que los rayos paralelos al eje óptico de una lente ideal convergen. En palabras sencillas quiere decir que el punto focal es el punto en el que el foco de una cámara es el más nítido posible.



Fig. 27A. Caso 2C. Lugar del AT - ubicación de las cámaras

Con los datos de altura para la cámara 1: de  $3.42\text{m} \pm 0.01\text{m}$  y para la cámara 2: de  $3.35\text{m} \pm 0.01\text{m}$  se puede inferir que, para que las cámaras pudieran tener el mismo punto de foco, debieron tener una distancia focal distinta, ya que la altura y el ángulo son diferentes, más cuando se trata de cámaras giratorias y graduables a distancia. La relevancia de este dato está en que, es una explicación al hecho de porqué una cámara pudo registrar la lluvia y la otra no.

### **Empañamiento del casco por condensación interna**

Cuando llueve o baja la temperatura los vidrios de los vehículos se empañan y se hace necesario encender la calefacción y el desempañante para recuperar la

visibilidad perdida. Esto ocurre porque la temperatura externa del vehículo es más baja que las temperatura local dentro del vehículo, debido a que el calor corporal de los ocupantes eleva la temperatura dentro del carro y el vapor de agua al entrar en contacto con las ventanas que están a una temperatura más baja, se condensa. Este fenómeno ocurre también con el casco de una moto.



*Tomado de la web*



*Tomado de la web Fireparts*



*Casco de moto de la víctima - Informe de investigador de campo FPJ-11*

**Fig. Caso 2C. 30 Cascos empañados**

Cuando llueve y baja la temperatura el vaho de la respiración del motociclista hace que la visera del casco sufra el mismo efecto que los vidrios de un vehículo. El vapor de aire que sale de sus pulmones al respirar se convierte en micro gotas de agua que obstruyen la visibilidad.

### **Empañamiento del casco por lluvia que obstruye la visión desde afuera de la visera**

Al caer la lluvia sobre un casco en movimiento se obstaculiza la visión, porque las gotas externas de agua generan un efecto de refracción. La luz que entra por la

visera se disipa en múltiples direcciones llegando incluso a encandilar al motociclista, o por lo menos a limitar considerablemente su visibilidad.



Fig. 31. Caso 2C. Difracción de la luz en gotas de agua - tomada de la web

## **RESULTADOS E INTERPRETACIÓN**

Todo AT tiene 3 momentos. Antes, durante y después. Se analizará cada uno con el propósito de sacar elementos relevantes desde el punto de vista técnico científico.

### **ANTES DE AT**

Según la evidencia en video, antes del AT el tractocamión ya se encontraba en el lugar. Se tiene conocimiento de que el motociclista tardó **11s** desde que fue captado por la cámara, hasta el momento de la colisión. También se evidencia que para el momento del AT estaba lloviendo en el sitio, el piso estaba húmedo y el motociclista usaba un impermeable.

### **DURANTE EL AT**

La dinámica probable del accidente se enmarca en:

Hay dos situaciones posibles que pueden explicar la colisión, que son:

1) **Que el motociclista vio el tractocami3n** de manera tardía y debido a la distancia y al coeficiente de fricción, aunque frenó la motocicleta, la distancia de frenado era insuficiente y chocó. Esta situación aunque es viable, se debe descartar, teniendo en cuenta que en el croquis del IPAT no hay registro de huella de frenado que permitiera sustentar esta tesis. Adicionalmente en el video no se evidencia ninguna maniobra evasiva que se adecúe a esta posibilidad.

2) **Que el motociclista no vio el tractocami3n**, independientemente de las causas. Esta es una tesis que debe analizarse, ya que hay elementos que permiten pensar que la visibilidad del conductor de la motocicleta era deficiente y hubiera podido no observar el obstáculo. De esa manera se debería responder la pregunta:

**¿Es probable, desde el punto de vista de la física, que el conductor de la motocicleta no hubiera visto el tractocami3n que se encontraba estacionado?**

### **Elementos del entorno.**

Analizados los EMP y EF desde el punto de vista de la física, se debe decir que:

**Sí, es posible que el conductor de la motocicleta no hubiera visto el tractocami3n.**

La noche, la lluvia **que limita** la visión, debido a que el casco estaba mojado por la parte externa del visor (la refracción de la luz sobre las gotas de agua que actúan como barreras ópticas) y la situación de que el visor iba empañado debido a que la temperatura externa de la madrugada era sin duda, inferior a la temperatura interna del casco.

Adicionalmente, si bien es cierto había una fuente de luz artificial cercana, también se observa que la posición de la lámpara es superior al trailer, lo que quiere decir que la cara superior del trailer, probablemente estaba bien iluminada, pero la caras laterales **ni la cara posterior del trailer** (que es la cara que el motociclista debía ver de frente) no tendría necesariamente porqué que estar iluminada. La falta de iluminación pudo generar un **mal contraste** entre el tractocami3n y el fondo oscuro de noche, sin dejar de lado el hecho de que las paredes laterales y la pared posterior del trailer probablemente estaba en la **umbra** (a la sombra) del foco de luz.





Fig. 32. Caso 2C. Representación cara posterior no iluminada

Sin la percepción de la existencia del tractocamión en el lugar, el motociclista o cualquier otro actor vial se habría chocado, sin frenar contra este, como probablemente ocurrió en el AT que nos ocupa.

En suma, todos los elementos antes mencionados desde la condición de baja visibilidad pudieron generar el entorno adecuado para que el conductor de la motocicleta no viera el tractocamión. Esto es posible porque la visibilidad en este caso no se enmarca en el tamaño del vehículo, sino en **la seria imposibilidad de verlo.**

*Los objetos pueden ser percibidos por el ojo humano gracias a los colores.*

*Los colores son la descomposición de la luz blanca*

*Si no hay luz blanca, los objetos no pueden llegar a ser percibidos*

***“Ser es ser percibido” (George Berkeley 1685-1753)***

**Sí.** A partir de todo el análisis anterior, el AT tuvo lugar porque el conductor de la motocicleta probablemente no vio al tractocamión. **El conductor de tractocamión debió haber puesto señales luminosas como: luces de parqueo, direccionales, conos, cintas, o cualquier otro dispositivo que permitiera hacer un buen contraste entre el tractocamión y la zona donde se encontraba.**

En todo caso, faltaba luz en el sitio y se podía resolver de dos formas:

- 1) Que se hubiera puesto luces de parqueo, direccionales etc. Encender los dispositivos del tractocamión que emitan luz.

- 2) Que se hubiera puesto algún dispositivo reflectivo, que hubiera tomado la luz de la moto y la hubiera reflejado para que el conductor de la moto se percatara de la presencia del tractocamión en la vía.

**¿Es posible calcular la velocidad promedio de desplazamiento del motociclista al momento del AT?**

**Sí.** Se realiza a continuación.

**Velocidad:**

Aplicando esta lógica al caso concreto se tiene que:

1. Según el reporte de la cámara de seguridad, a las **05:16:48 h (Imagen Momento 1)** del 31/07/2018 aparece la primera imagen del motociclista vinculado al hecho de tránsito, captado por la cámara del peaje de Pavas y después a las **05:16:59 h (Imagen Momento 2)** del mismo 31/07/2018 ocurre el AT, es decir, el AT **11 segundos** después de haber sido captado por la cámara.

2. La distancia entre el punto del **Momento 1** (punto inicial donde fue detectado por la cámara) y **Momento 2** (punto de colisión) es de **100.74m ± 1m**

**Para calcular la velocidad promedio:**

$$V = \frac{x}{t}, \text{ con unidades de } \frac{m}{s} \text{ o } \frac{Km}{h}$$



Fig. 34. Caso 2C. Medida de la distancia entre el punto inicial de registro de la cámara y el punto de colisión.

$$X1 = 101.74\text{m}$$

$$X2 = 99.74\text{m}$$

Siendo:  $V$  la velocidad,  $x$  la distancia y  $t$  el tiempo.

$$V1 = \frac{101.74\text{m}}{11\text{s}} = \mathbf{9.25} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V1 = 3.6 * 9.25 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 33.2 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$\mathbf{V1 = 33.2} \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$V2 = \frac{99.64\text{m}}{11\text{s}} = \mathbf{9.06} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V2 = 3.6 * 9.06 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \mathbf{32.6} \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$\mathbf{V2 = 32.6} \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

La velocidad promedio a la que probablemente se desplazaba el motociclista está en el rango de  $:(32.6 \leq v \leq 33.2) \frac{\text{Km}}{\text{h}}$ .

En ese orden de ideas, teniendo en cuenta el límite de velocidad permitido de  $\mathbf{40} \frac{\text{Km}}{\text{h}}$ , **se debe descartar un eventual exceso de velocidad por cuenta del motociclista**, porque inclusive el límite superior considerado por el margen de error del instrumento de hasta 1m, proporciona como resultado

Velocidad probable de desplazamiento  $\rightarrow 33 \frac{\text{Km}}{\text{h}} < 40 \frac{\text{Km}}{\text{h}} \leftarrow$  Velocidad permitida.

### **DESPUÉS DEL AT**

- Con la luz de la aurora se ve en las fotografías el desarrollo de las labores de primer respondiente registrado en el IPAT.
- Se realiza el análisis del caso por cuenta de varios actores. Aunque debe advertirse que debido a la naturaleza del método científico, para poder recrear y estimar la ocurrencia del hecho de tránsito, se deben contemplar TODAS las variables del momento, entre ellas: la oscuridad, la lluvia, la velocidad, la visibilidad del conductor en el ejercicio de la conducción debido a la lluvia (factor externo del

casco) y a que el caso probablemente estaba empañado (factor interno) en suma, la capacidad real que tenía el conductor de observar el tractocamión estacionado.

### **¿Se puede calcular la energía de la colisión?**

**Sí. Se realiza a continuación.**

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

$m_p$  = masa de la víctima = 85Kg

$m_M$  = masa de la moto = 110 Kg

$m_t$  =  $m_p + m_M$  = 195 Kg

$V$  = velocidad de desplazamiento. Se usará el límite superior para saber el mayor valor de energía al cual pudo desplazarse.

**En el lugar habían 2 cámaras de seguridad, una observando la vía Manizales - Pereira y la otra en sentido Pereira - Manizales, ambas registrando simultáneamente dos perspectivas distintas de un área similar ¿Porqué en una se observa como si la lluvia ya hubiera cesado y en la otra se ve claramente que está lloviendo?**

Es un fenómeno que ocurre debido a la configuración de la cámara, específicamente en el parámetro de la **distancia focal**. Si tiene un valor de distancia focal, la cámara probablemente acercará un objetivo que se pretenda observar, si tiene un valor de distancia focal inversamente proporcional, lo que ocurre es que alejará el objetivo y abarcará mayor área, pero perderá resolución. Si se acerca al punto exacto, la cámara podrá registrar la lluvia, de lo contrario no, que fue lo que probablemente ocurrió en este caso.

## **ANÁLISIS TÉCNICO DE EVITABILIDAD**

A partir de los conceptos anteriormente expuestos, los cálculos y los resultados, se debe responder desde el punto de vista de la física y la técnica, si el accidente era evitable o no, por lo cual se partirá de las siguientes premisas.

- 1) El hecho de tránsito tuvo lugar entre un tractocamión y una motocicleta. El tractocamión en reposo, estacionado en zona prohibida, sin luces direccionales, estacionarias, sin material reflectivo reglamentario.

- 2) El conductor de la motocicleta colisionó contra el tractocamión, golpeando la parte posterior izquierda del vehículo, por lo que sufrió un golpe contundente. El conductor perdió la vida en el lugar.
- 3) Las condiciones de visibilidad eran muy limitadas, tal como se ha venido explicando, en el presente informe, por aspectos medioambientales como la lluvia, el casco empañado, la difracción de la luz en el visor, el mal contraste que generó el color del trailer (azul) con el fondo negro de la oscuridad de la noche.
- 4) La cara posterior del trailer del tractocamión se encontraba en la umbra (a la sombra) del foco de luz mas cercano.
- 5) Se descartó un exceso de velocidad de la motocicleta, ya que la velocidad de desplazamiento era aproximadamente de 33 Km/h y la velocidad permitida en el sector era de 40 Km/h.
- 6) La única posibilidad de que conductor de la moto pudiera ver el tractocamión con las características físicas del entorno, es que hubieran dispositivos reflectivos o luminosos. No había unos ni los otros.

En este orden de ideas, se debe mencionar que hay dos deberes que le correspondían al conductor del tractocamión, que eran:

- a) No estacionar en ese lugar, ya que no es permitido. En caso de haber asumido ese alto riesgo, tomar todas las precauciones, para evitar poner en riesgo su propia seguridad y la de los demás actores viales.
- b) Poner dispositivos reflectivos para que los demás conductores pudieran advertir la presencia del vehículo estacionado. En caso extremo de no tenerlos, por lo menos, colocar las luces de parqueo, estacionarias o direccionales que indiquen que está en ese lugar ocupando ese espacio.
- c)

**El AT sí era evitable.** En cualquiera de las siguientes situaciones:

- a) Si el tractocamión no hubiera estado estacionado en ese sitio no permitido.
- b) El problema fundamental surgió al parecer, en la falta de visibilidad. El conductor de tractocamión pudo proporcionar la iluminación mediante dispositivos reflectivos o luces de parqueo. El AT se hubiera podido evitar si el conductor del camión hubiera puesto los dispositivos reglamentarios para parquearse en la noche.

## CONCLUSIONES

- 1) La velocidad de desplazamiento del motociclista. Se descarta un exceso de velocidad. La velocidad hallada es de entre 32 Km/h y 33 Km /h.
- 2) Es probable que el conductor de la motocicleta no hubiera visto el tractocamión por condiciones asociadas a la falta de visibilidad. Esto debido a la lluvia, un eventual empañamiento del casco, la difracción de la luz en las gotas de agua del visor del casco, el mal contraste entre el color azul de container del tractocamión y el fondo negro de la oscuridad de la madrugada.
- 3) La falta de visibilidad se puede asociar a la no percepción del tractocamión así: Los objetos pueden ser percibidos por el ojo humano gracias a los colores. Los colores son la descomposición de la luz blanca. Si no hay luz blanca, los objetos no pueden llegar a ser percibidos. “Ser es ser percibido - George Berkeley”.
- 4) Por la ausencia de huella de frenado, entre otras cosas, es altamente probable que el conductor de la motocicleta no haya frenado. Lo más probable es que el conductor de la motocicleta se estrelló a la velocidad que iba sin intentar detenerse.
- 5) Se verificó con la segunda cámara de seguridad del peaje y se evidencia que sí estaba lloviendo al momento del AT.
- 6) El estacionamiento en el lugar donde estaba el camión y la ausencia de dispositivos reflectivos y luminosos, determinó la ocurrencia del accidente de tránsito.

### ***FACTOR DETERMINANTE***

En virtud del análisis de los EMP y EF se debe decir que el factor que determinó el accidente de tránsito fue:

**EL ESTACIONAMIENTO DEL TRACTOCAMIÓN EN LUGAR INDEBIDO, SIN SEÑALES REFLECTIVAS REGLAMENTARIAS COMO: CONOS, CINTAS O SEÑALES ÓPTICAS COMO LUCES ESTACIONARIAS O DIRECCIONALES.**

Esto se sustenta en el hecho de que, si el conductor del tractocamión no estaciona en ese lugar prohibido o cumple con poner las señales reglamentarias antes mencionadas, el AT en las condiciones físicas del caso, probablemente no hubiera ocurrido.

---

## **ARGUMENTO C**

En este caso el análisis debe abordarse desde dos ejes principales ambos derivados de las reglas de la sana crítica, uno es desde las leyes de la física (modelos físicos) y desde las reglas de la lógica.

Sobre el primer eje se debe decir que pese a que se analizaron más, los modelos físicos de estudio son dos. El primero para el cálculo de la velocidad de desplazamiento de la motocicleta captada en la cámara (tiempo conocido) en una trayectoria conocida (distancia), por lo cual para el cálculo de la velocidad se determinó que es:

$$\text{Velocidad} = \text{Desplazamiento} / \text{Tiempo}$$

De esta manera se pudo estimar el rango probable de velocidad promedio del motociclista antes de siniestro vial.

El segundo es la visibilidad y los análisis que se realizan respecto de cómo las condiciones climáticas, de entorno y la ausencia de dispositivos luminosos y reflectivos por cuenta del camión pudieron afectar la visibilidad del motociclista y determinar el siniestro. Con esto lo que se pretende es que quede en el entorno la idea de que la variable velocidad no es la única importante en la ocurrencia de un siniestro, por el contrario, para poder completar el rompecabezas se hace necesario el estudio de variables olvidadas como la de la visibilidad, por eso esta labor requiere un estudio completo desde diferentes ámbitos de la física, como en este caso lo puede ser la óptica.

Sobre el segundo eje se debe decir que es determinante, ya que cada argumento que se proponga a manera de premisa o de conclusión debe estar en armonía con la lógica, ya que por mucho que esté sustentado un argumento en fórmulas físicas, si este carece de lógica, el informe pericial puede no ser aceptado por el juez como se pretende.

## CASO DE ESTUDIO D

☞ **CASO DE ESTUDIO D: Rad. 170013103005-2021-00100-00, responsabilidad civil extracontractual, lesiones personales culposas.**

### □ 1D. DECISIÓN JUDICIAL

#### RESUMEN DEL CASO D

*“Siendo las 3:15 P.m. del día 19/10/2019 se presenta una colisión entre dos vehículos Motocicleta (Vehículo N°1) – Camioneta (Vehículo N°2) a la altura del Km 9+700 sector Tres Puertas, Puente La Libertad, en frente del condominio Reserva de los Álamos, diagonal a PRIVADO, en el que se pudo observar por medio de las cámaras de video el momento de la colisión de ambos vehículos. Teniendo en cuenta la información videográfica, donde se observa el desplazamiento de una camioneta gris de platón, la cual realiza un giro hacia la izquierda para incorporarse a la entrada del condominio Reserva de los Álamos. Simultáneamente a la acción de giro aparece una motocicleta al parecer con un acompañante y el conductor, la cual se desplazaba por el carril izquierdo al parecer realizando una maniobra de adelantamiento, momento en el cual colisiona con la camioneta antes mencionada. Se puede observar que es una colisión fuerte y que no hubo tiempo suficiente de reacción para ninguno de los vehículos. Como producto del accidente se observa que la expulsión del conductor y copiloto de la motocicleta, efectuó múltiples golpes en su humanidad de los dos” (Relato de los hechos a partir de los videos de cámaras de seguridad de Conjunto San Bernardo del Viento)*

---

*(...) Hoy jueves 06 octubre del año 2022 El Juzgado Quinto Civil de circuito de Manizales reanuda la audiencia dentro del proceso radicado 2021-100 con el fin de agotar la etapa de juzgamiento dentro de este asunto audiencia que se había suspendido el día de ayer con este receso con el fin de emitir la decisión (...)*

*APODERADO 1D Identificado con cédula de ciudadanía del Consejo superior de la judicatura que para las presentes diligencias actuó en calidad de apoderado de la parte demandante (...)*

*APODERADO 2D (...) de consejo superior de la judicatura y actuó en representación de la parte demandada.*

*(...) Se da inicio a la etapa de juzgamiento dentro de este asunto, república de Colombia Juzgado quinto civil de circuito Manizales Caldas 06 octubre del año 2022 proceso verbal de responsabilidad civil extracontractual demandante, radicado 2021-100 sentencia de primera instancia 126, procede el despacho a dictar sentencia de primera instancia en el proceso verbal referenciando (...)*



## **CASO CONCRETO**

*Se cimentó a demanda en el suceso ocurrido el 19 de octubre de 2019, cuando PARTE 1D este último en calidad de conductor, se desplazaban en motocicleta por el sector de San Bernardo del Viento, vereda la Trinidad vía Manizales – Medellín y colisionaron con el vehículo tipo camioneta de placas VEHICULO 2D aproximadamente a las cuatro (4) de la tarde 4:00 pm presentando lesiones que ameritaron atenciones médicas que aparecen en la historia clínica.*

*Ahora acorde con la normatividad citada y el precedente vertical de la corte Suprema de Justicia debe decirse que le compete a la parte actora acreditada la existencia del hecho el ejercicio de la actividad peligrosa, el nexa causal y el daño no así la culpa de la gente se presume, por su parte el demandado solo se exime de responsabilidad si demuestra la configuración de lo que se ha denominado como causa extraña, que comprende la culpa exclusiva de la víctima el hecho de un tercero, caso fortuito o fuerza mayor.*

*Con los medios de convicción que se recaudaron en el proceso se analizan entonces dichos elementos.*

*Primero el hecho con la pruebas que se recaudaron se estableció: que efectivamente este hecho ocurrió en la fecha indicada tal y como fue consignado en el accidente de tránsito, esta prueba documental practicada y los videos permiten establecer el lugar de ocurrencia en san Bernardo de viento vereda la trinidad vía Manizales – Medellín, cuando la motocicleta que conducía PARTE 2D colisiona con el vehículo tipo camioneta placa VEHICULO 2D presentando pues lesiones que ameritaron todas las atenciones que se documentan en la historia clínica*

*En cuanto al daño es incuestionable pues que las lesiones que sufren producen en quienes las padecen un daño, que no es solo el dolor físico en el proceso de recuperación sino también incluso las secuelas que se derivan de ese hecho agresivo.*

*El elemento culpa como se dijo no es necesario acreditarse por la presunción que opera a favor de las víctimas, sin embargo, en la responsabilidad derivada del ejercicio de actividades peligrosas corresponde a la parte demandante demostrar que además del perjuicio sufrido, los hechos determinantes del ejercicio de la actividad peligrosa, es innegable que son esos hechos necesariamente los que tienen que estar atribuidos a quien funge como demandado pues ahí es donde está el meollo que une el daño con la culpa (...)*

*Es en la atribución de las causas del accidente, toda vez que la parte actora atribuye este hecho a la maniobra imprudente de giro de la conductora, mientras que la demandada considera que el exceso de velocidad a la que transitaba el motociclista fue la causa eficiente del suceso toda vez que transgredió el límite máximo de velocidad de 30 Km/h determinado así por la señal de tránsito reglamentaria que esta ubicada en el sector (...) se cuenta con el informe del accidente de tránsito donde se reportaron todos los datos atinentes al suceso y donde la gente que atendió del caso sobre la hipótesis del mismo consigno que se codificaba al conductor del vehículo numero 1 la motocicleta con código 157 falta de precaución al conducir y sumado a que dejó consignado que la huella de frenado de la motocicleta correspondía a 22,80 m y reiteradamente la jurisprudencia ha sostenido que esta clase informes únicamente contiene una hipótesis de cómo pudo haber ocurrido el hecho pero no constituyen prueba de esa circunstancia, sin embargo tal informe sí permite concluir sumado el material audiovisual a los dictámenes y a los interrogatorios que las víctimas se desplazaban en exceso velocidad contraviniendo el código Nacional de tránsito, el dictamen de la parte actora indica un Rango de entre 61 y 65 km/h mientras que el dictamen de la parte demandada lo ubico entre 65 de 87 km/h lo que implica que en cualquiera de los dos dictámenes era notable el exceso de*

velocidad respecto a la que era permitida en ese sector en efecto las normas del código Nacional tránsito que consagra los deberes de conducta de todos actores del sistema de tránsito en el artículo 55 respecto del comportamiento del conductor pasajero o peatón consagran debe comportarse en forma que no obstaculice, perjudique o ponga en riesgo a las demás y debe conocer y cumplir las normas y señales de tránsito que le sean aplicables así como obedecer las indicaciones que les den las autoridades de tránsito, mas adelante el artículo 74 sobre la obligación de reducir la velocidad para los vehículos dispone, los vehículos deben reducir la velocidad 30 km/h en los siguientes casos en lugares de concentración de personas en zonas residenciales en las zonas escolares cuando se reduzcan las condiciones de visibilidad cuando las señales de tránsito así lo ordenen y en proximidad a una intersección, en particular sobre la obligatoriedad de acatar las señales de tránsito el artículo 109 preceptúa que todos los usuarios de la vía están obligados a obedecer las señales de tránsito de acuerdo con lo previsto en el artículo quinto del código de tránsito luego el artículo 110 clasifica y define las señales de tránsito en estos grupos señales reglamentarias que tienen por objeto indicar a los usuarios de las vías las limitaciones prohibiciones o restricciones sobre su uso y cuya violación constituye falta que se sancionara conforme a las normas del Código de tránsito señales preventivas que tienen por objeto advertir al usuario de la vía la existencia de un peligro y la naturaleza de este y señales informativas que tienen por objetivo indicar las vías y guiar un usuario proporcionando la información que pueda necesitar más adelante el artículo 115 dispone que la reglamentación de las señales corresponde al Ministerio de transporte quien diseñara y definirá las características de las señales de tránsito, uso, ubicación y demás características que se estimen convenientes siendo las señales de obligatorio cumplimiento para todo el territorio nacional por ello a través de la resolución 1885 del 17 de junio del 2015 del Ministerio de transporte procedía la reglamentación y expidió el manual de señalización Vial precisamente la señal reglamentaria SR-30 se emplea para notificar la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos velocidad de operación expresada en múltiplos de 10 y en km/h la limitación de la velocidad de aparecer razonable No necesariamente restrictiva Pues los límites de excesivos perjudican la credibilidad de la señalización la capacidad en la carretera provocan accidentes (...) primer video aportado por la parte actora en el segundo 07 se advierte que previo al giro de la camioneta transita una moto por carril Medellín Manizales este transita y dos segundo después aparece la moto conducida por el demandante PARTE 2D y colisiona con la camioneta lo cual también muestra el video número 2 cuando se observa el tránsito de ambas motos por el mismo carril esta situación indudablemente demuestra que la víctima adelanta el sector permitido para ello con la existencia de la línea central amarilla discontinua pero no tuvo en cuenta que el carril que invadía para su maniobra estaba siendo ocupado por otra motocicleta lo que denota un actuar abiertamente imprudente y violatorio del código de tránsito en el artículo 60 que regula la obligatoriedad de transitar por los carriles dentro de las líneas de demarcación y atravesarlo solo para efectuar maniobras de adelantamiento o de cruce el artículo 73 que regula las prohibiciones especiales para adelantar otro vehículo que corresponden a intersecciones tramos de la vía donde no exista línea separadora central continua o prohibición de adelantamiento curvas o pendientes visibilidad desfavorable proximidades de pasos de peatones intersecciones de vías férreas por la berma o derecha de un vehículo y en general cual la maniobra ofrezca peligro (...) Se contempla como causal de multa adelantar entre dos vehículos automotores que están en sus respectivos carriles en este punto debe preguntarse esta funcionaria si esas infracciones de las normas de tránsito permiten concluir que la culpa del accidente fue exclusiva de la víctima como lo arguye el extremo demandado frente a lo cual se advierte que las infracciones fueron determinantes del daño

*pero no son exclusivas se afirma lo anterior por cuánto desde la parte activa se aduce la responsabilidad de la conductora del vehículo que realizó el giro con base en el dictamen pericial (...) del que se concluye, que de haberse detenido la conductora completamente antes de girar hubiera visto la moto y no había ejecutado la maniobra (...)*

*Distan sobre sus apreciaciones respecto de la conducta según la normatividad que debió ser asumida por la conductora de la camioneta momentos previos al giro determinando el físico PERITO 2 que esta debía detenerse completamente para observar si no viniera ningún vehículo mientras que también físico PERITO 1 sostuvo que la reducción de velocidad entre 13 y 20 km/h y el encendido de la luz direccional para anunciar el giro a la izquierda con más o menos 100 metros de distancia era la actuación debida, vistos estos dictámenes concluye está funcionaria que sirven de gran ayuda para entenderlo corrido desde el punto de vista físico y reconstruir pues todos los hechos relacionados con la colisión sin embargo el análisis del juez debe abarcar no solo lo físico sino desde el punto de vista normativo previsto en el código de tránsito y a la luz de las reglas de la sana crítica Desde esa perspectiva surge entonces una trascendental (...) desde esta perspectiva surge entonces una trascendental pregunta ¿ para un conductor informar a través de la luz direccional y con la reducción de la velocidad le habilita para hacer una maniobra de giro?*

*La respuesta a la luz de la lectura armónica el código Nacional de tránsito es necesariamente negativa partiendo del postulado general del artículo 55 que impone que toda persona que tomó parte en el gráfico como conductor pasajero peatón debe comportarse en forma que no obstaculice, perjudique o ponga en riesgo a los demás y debe conocer y cumplir las normas y señales de tránsito que le sean aplicables (...)*

*(...)*

### **DECISIÓN**

*Por lo expuesto el Juzgado Quinto Civil del circuito de la ciudad de Manizales administrando justicia en el nombre de la república de Colombia y por autoridad de la ley*

*falla:*

**Primero:** *Declarar no probadas las excepciones propuestas por las demandas Parte 2.*

**Segundo:** *Declarar civilmente responsable por el accidente de tránsito ocurrido del 19 de octubre del 2019 en el que resultados lesionados Parte 1 a la demanda Parte 2 como conductora y propietaria de la camioneta de placas Placa 1.*

**Tercero:** *Condenar a la demandada Parte 2 al pago de los perjuicios por los conceptos y cuantía que pasa a indicarse (...)*

□ **2D. CONCEPTO PERICIAL.**

**FECHA:** 28/07/2021

**RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE ACCIDENTE DE TRÁNSITO (RAAT)**

**PRELIMINARES DE LEY**

De conformidad con lo estipulado en el artículo 226 de la ley 1564 de 2012 C.G.P, me permito rendir el siguiente informe, bajo la gravedad de juramento, precisando que mi opinión es independiente y corresponde a mi real convicción profesional. Declaro igualmente que los exámenes, métodos, experimentos e investigaciones efectuados NO son diferentes respecto de los que he utilizado en peritajes rendidos en anteriores procesos y que versan sobre las mismas materias.

**I. DESTINO DEL INFORME**

Solicitante: Dr. APODERADO 1D

CC: – Rio Sucio – Caldas

Fecha de solicitud: 11/07/2021

Víctima: Sr. PARTE 2D Dirección del solicitante:

Teléfono: Privado

**II. OBJETO DEL INFORME**

Realizar reconstrucción analítica de accidente de tránsito e investigación del accidente de tránsito que tuvo lugar el sábado 19 de octubre del 2019, siendo aproximadamente las 16:00 horas, en el kilómetro 9+700 en el sector Tres Puertas, Puente La Libertad.

**III. DOCUMENTOS EMP Y EF ALLEGADOS POR LA PARTE SOLICITANTE PARA EL ANÁLISIS.**

(...)

**IV. SITUACIÓN FÁCTICA OBJETO DE ANÁLISIS**

*“Siendo las 3:15 P.m. del día 19/10/2019 se presenta una colisión entre dos vehículos Motocicleta (Vehículo N°1) – Camioneta (Vehículo N°2) a la altura del Km 9+700 sector Tres Puertas, Puente La Libertad, en frente del condominio Reserva de los Álamos, diagonal a PRIVADO, en el que se pudo observar por medio de las cámaras de video el momento de la colisión de ambos vehículos. Teniendo en cuenta la información videográfica, donde se observa el desplazamiento de una camioneta gris de platón, la cual realiza un giro hacia la izquierda para incorporarse a la entrada del condominio Reserva de los Álamos. Simultáneamente a la acción de giro aparece una motocicleta al parecer con un acompañante y el*

*conductor, la cual se desplazaba por el carril izquierdo al parecer realizando una maniobra de adelantamiento, momento en el cual colisiona con la camioneta antes mencionada. Se puede observar que es una colisión fuerte y que no hubo tiempo suficiente de reacción para ninguno de los vehículos. Como producto del accidente se observa que la expulsión del conductor y copiloto de la motocicleta, efectuó múltiples golpes en su humanidad de los dos” (Relato de los hechos a partir de los videos de cámaras de seguridad de Conjunto San Bernardo del Viento)*

## **V. SOBRE EL LUGAR DEL AT**

### **GEORREFERENCIACIÓN**

**Dirección:** kilómetro 9+700 en el sector Tres Puertas, Puente la Libertad

**Latitud:** 5°2'66”

**Longitud:** -75°35'26”

### **LÍMITE DE VELOCIDAD PERMITIDA :**

30 km /h

## **VI. SOBRE LA VÍA SEÑALIZACIÓN EN LA VÍA:**

### **1) DEMARCACIÓN HORIZONTAL:**

2)

✓ Línea de borde de pavimento color blanco.

✓ Líneas centrales continuas doble de color amarillo que indican separación de vía de doble sentido con restricción de adelantamiento en un sentido y con condicional de adelantamiento en el sentido contrario.

- 2) SEÑALIZACIÓN VERTICAL

- ✓ SR-30 Velocidad máxima permitida (30 Km/h)

- 3) OTROS DISPOSITIVOS

Ninguno.

## **SOBRE LOS VEHÍCULOS INVOLUCRADOS**

### **VEHÍCULO N.º 1:**



*Imagen de referencia tomada de la web*

Fig. 35. Caso 2D. Motocicleta de referencia para el caso



*Imagen de referencia tomada de la web*

Fig. 36. Caso 2D. Camioneta de referencia para el caso

### **VEHÍCULO N.º 2:**

## **VIII. SOBRE LAS PERSONAS INVOLUCRADAS EN EL AT VICTIMAS**

TIPO DE LESION: TRAUMA UREAL, FRACTURA DE RADIO Y FRACTURA DE CÚBITO.

## IX. SOBRE LAS HUELLAS REPORTADAS EN EL TERRENO

En el IPAT realizado por las autoridades se evidencia el registro de:

1. Trayectoria de los vehículos
2. Puntos de referencia
3. Cotas y esquema general
4. Medidas de huella de frenado de la motocicleta: Registro en la casilla del IPAT 28 m, la cual luego corrigió colocando en observaciones 22,8 m. Posición final de los vehículos.
5. Características geométricas de la vía.

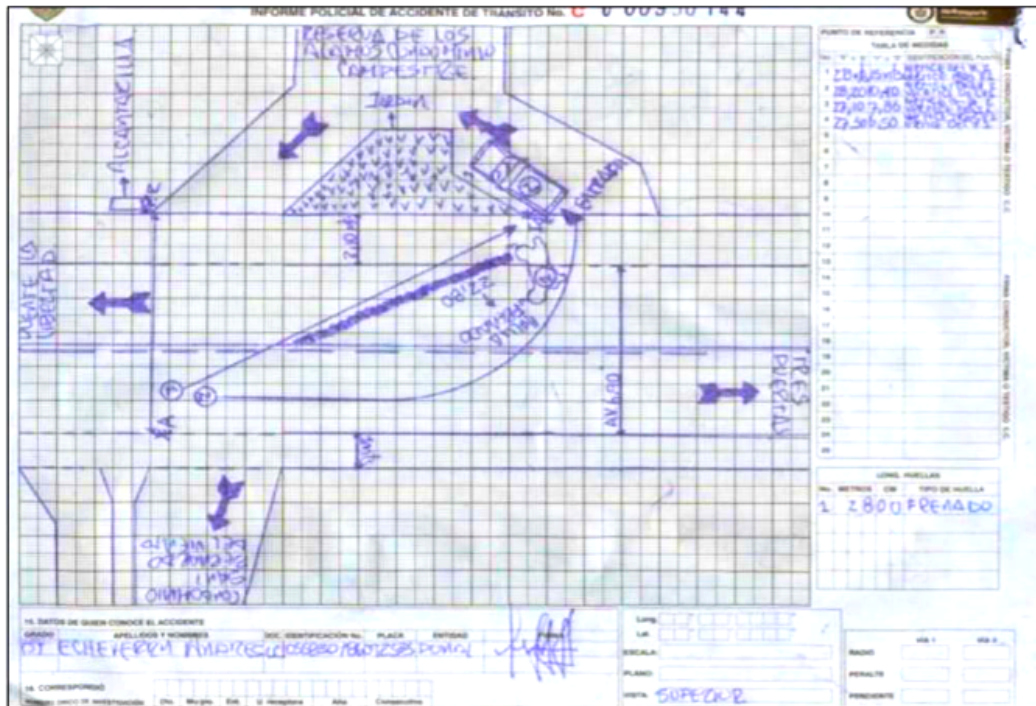


Imagen tomada del croquis de accidente de tránsito

Fig. 37. Caso 2D. Croquis

**HUELLAS DE FRENADO:** Son las huellas resultado de la interacción entre la llanta y el manto asfáltico, debido a la acción de bloqueo de las llantas mediante el freno.

**¿Hubo huellas de frenado?** Si.

Las longitudes de las mismas se registran a continuación. H1: 22m 80 Cm

**HUELLAS DE ARRASTRE METÁLICO:** Son las huellas que quedan en el manto asfáltico cuando hay fricción entre una parte metálica de la motocicleta (por ejemplo, el manubrio) con el manto asfáltico.

No reportado.

**LAGO DE ACEITE O ALGUNA SUSTANCIA EXTERNA:** No reportado.

**HUELLAS DE ARRASTRE BIOLÓGICO:** No reportado.

**LAGO HEMÁTICO:** Son las huellas de sangre o algún tipo de fluido biológico asociables al accidente de tránsito.

**¿Hubo largos hemáticos?** No

CARACTERISTICAS	LUGAR DEL AT
TIPO DE VIA	Rural Nacional
ESTADO	Bueno
CONDICIONES Y TIEMPO	Seco
ILUMINACION	Luz de día
CONTROLES Y SEÑALES	Línea segmentada central de color amarillo y Línea Central de carril amarilla y continua.
UTILIZACION	Doble sentido
CALZADAS	Una
CARRILES	Dos
MATERIAL	Asfalto
VISIBILIDAD	Buena
GEOMETRICAS	Plana, recta, pendiente de 3.2°

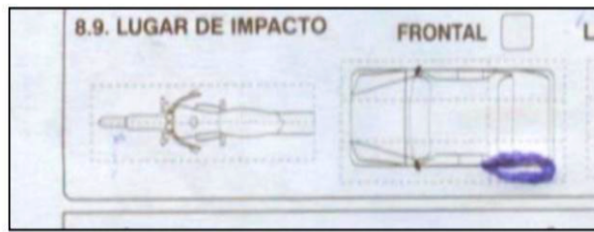
**Tab. 4 Características de la vía**



*Imagen referenciada informe pericial*

Fig. 38. Caso 2D. Imagen de posición final de la motocicleta





*Punto de impacto los vehículos reportados en IPAT*

Fig. 39. Caso 2D. Impacto

A partir de las imágenes que reposan en el informe pericial se evidencia las posiciones de las personas y los vehículos como se muestra a continuación:

Pese a que no se evidencia gráficamente el reporte en donde sufrió el impacto la motocicleta, se evidencia que el punto de contacto fue en la parte frontal de la misma, evidenciado en el video de la cámara de seguridad



*Posición final de la motocicleta*

Fig. 40. Caso 2D. Posición final motocicleta



*Imagen tomada de la cámara de seguridad - momento de impacto de los dos vehículos*

Fig. 41. Caso 2D. Punto de colisión

**ANTES DEL ACCIDENTE  
VEHICULO N° 1**



*Imagen tomada del video de la cámara de seguridad*

**ANTES DEL ACCIDENTE  
VEHICULO N° 2**



*Imagen tomada del video de la cámara de seguridad*



*Imagen tomada de la cámara de seguridad - Punto de impacto*

Fig. 42. Caso 2D. Secuencia de impacto.

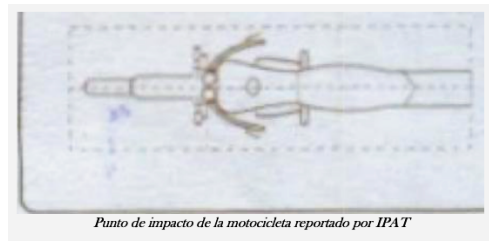
**DAÑOS SUFRIDOS POR LOS VEHICULOS  
VEHICULO N°1: MOTOCICLETA**

Los daños materiales de este vehículo N° 1 los reporta la autoridad así:



*Imagen de los daños sufridos de la motocicleta*

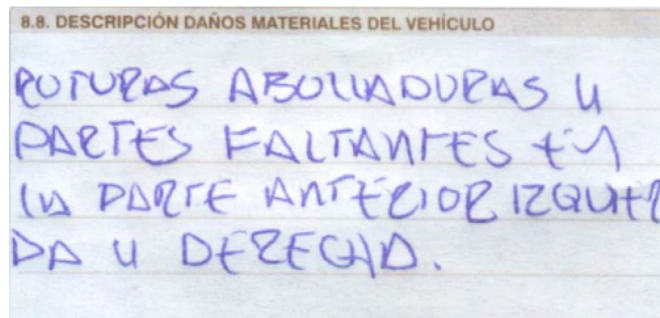
Fig. 43. Caso 2D. Daños de la motocicleta



*Punto de impacto de la motocicleta reportado por IPAT*

Fig. 44. Caso 2D. Daño

## VEHICULO N°2: CAMIONETA



*Daños de la motocicleta reportados por IPAT*

Fig. 46. Caso 2D. Daños



*Imagen de los daños sufridos por la camioneta*

Fig. 47. Caso 2D. Daños camioneta

## **XI. SOBRE EL ACCIDENTE DE TRANSITO**

**TIPO DE ACCIDENTE:** Choque.

### **HIPÓTESIS OFICIAL DEL ACCIDENTE**

✓ Vehículo N 1 Motocicleta: 157 Falta de precaución al conducir.

### **POSICIONES RELATIVAS DEL ACCIDENTE**



*Fotografía del lugar, tomada de la cámara de video San Bernardo del Viento.*

Fig. 48. Caso 2D. Lugar de AT

### **DURANTE EL ACCIDENTE AMBOS VEHICULOS**



*Imagen tomada de la cámara de seguridad después del impacto*

Fig 49. Caso 2D. Pos colisión

## DESPUES DEL ACCIDENTE



*Posición final de la motocicleta*

Fig. 45. Caso 2D.Posición final

## XII. SOBRE LA RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE ACCIDENTE DE TRÁNSITO

El día 13 de julio de 2021 recibí mediante oficio proveniente del Dr. Jaime Ramírez una solicitud de peritaje, con la finalidad de establecer la forma como probablemente ocurrió el accidente de tránsito mencionado, por lo cual se procedió a realizar las siguientes labores:

### **Estudio preliminar del caso.**

Tomando en cuenta todos los documentos entregados por la parte solicitante se realizó una construcción preliminar del caso y se plantearon las incógnitas a resolver con la visita de campo. También se estableció la dinámica del trabajo de campo.

### **TRABAJO DE CAMPO**

#### **INSTRUMENTOS UTILIZADOS Y ESTADO DE ESTOS.**

- 1) iPad 7ma generación marca Apple. (Muy buen estado funcional)
- 2) Apple pencil, segunda generación. (Muy buen estado funcional)
- 3) Pie de rey, marca Karson. Sensibilidad (0.05 mm)
- 4) Medidor de distancia marca Bauker 80 m (Sensibilidad (0.01 mm).

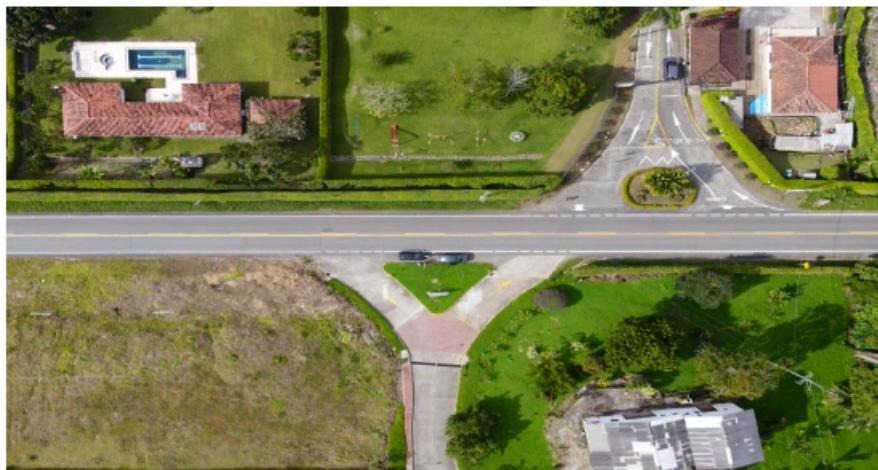
- 5) Ordenador portátil marca Acer Nvidia GEFORCE GTX.
- 6) Software AutoCAD, Autodesk 2017, debidamente licenciado.
- 7) Software Esqueleto 3D, versión gratuita.
- 8) Software MathCAD 6.0, debidamente licenciado.
- 9) Software Virtual Crash, debidamente licenciado.
- 10) Mobile Topographer Versión 9.3.2
- 11) Software QGIS Ver 3.14.1
- 12) Dron marca DJI referencia Mavic air 2
- 13) Computador portátil marca HEWLETT PACKARD

El martes 13 de julio de 2021 me desplazé al lugar del accidente de tránsito (kilómetro 9+700 en el sector Tres Puertas, Puente la Libertad), ubicación: Latitud: 5o2'66" - Longitud: -75°35'26", Manizales Caldas) en compañía del GEOLOGO DEL CASO , con la finalidad de realizar inspección al lugar donde ocurrió el accidente de tránsito el día 19/10/2019, según informe de Policial de Accidente de Tránsito.

En dicha visita se realizaron labores de:

- 1) Reconocimiento del lugar.
- 2) Toma de medidas de interés.
- 3) Fijación de puntos con sistema GPS.
- 4) Toma de fotografías aéreas y video aéreo.
- 5) Planteamiento preliminar del modelo físico, en función de las variables de entorno.

El reconocimiento del lugar se puede evidenciar en las siguientes fotografías



*Vista general del lugar del AT (kilómetro 9+700 en el sector Tres Puertas, Puente la Libertad)*

Fig. 50. Caso 2D. Vist general del lugar del AT



*Vista frontal del lugar del AT (kilómetro 9+700 en el sector Tres Puertas, Puente la Libertad)*

Fig. 51. Caso 2D. Vista frontal



*Fotografía del lugar, tomada de la cámara de video San Bernardo del Viento.*

Fig 52. Caso 2D. Foto de cámara

Fig. 53. Caso 2D. Diagrama de fuerzas sobre una llanta

### CONCEPTOS TEORICOS RELEVANTES

Velocidad antes del inicio de la huella de frenado.

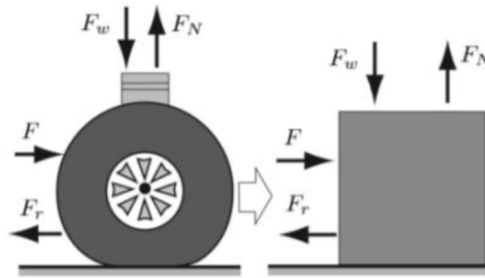


Imagen 7. Esquema de fuerzas de una llanta recuperado de la web.

Para desarrollar el modelo físico se debe tener en cuenta las siguientes deducciones de la física mecánica clásica:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= -F_r = ma & a &= -\mu g \\ \sum F_y &= N - F_w = 0 & v^2 &= v_0^2 + 2ad_f \\ F_r &= \mu N & v_0^2 + 2ad_f &= v_0^2 - 2\mu g d_f \\ F_w &= mg & &= 0 \\ N &= mg & \mu &= \frac{v_0^2}{2gd_f} \\ -\mu N &= -\mu mg = ma \end{aligned}$$

$$v_0 = 3,6 \sqrt{2\mu g d_f}$$

Velocidad al inicio de la huella de frenado.

$v_0$  = Velocidad inicial de la huella de frenado

$\mu$  = Coeficiente de fricción, se asume según lo reportado en la literatura como:  $0.65 \leq \mu \leq 0.75$  teniendo en cuenta las características de la vía.

$g$  = gravedad;  $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

$d_f$  = distancia de frenado

Velocidad relativa entre el momento inicial del frenado y el momento final.

$$V_{ri}^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos\theta$$

$V_{ri}$ : Velocidad relativa de impacto.

$V_1$ : Velocidad de impacto de la motocicleta.

$V_2$ : Velocidad inicial de impacto de la camioneta.

$\theta$ : Angulo que forman las velocidades al momento del impacto para la motocicleta.



## CÁLCULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA INICIAL.

$$V_{R1} = \sqrt{V_{R2}^2 + \frac{2\Delta E}{m^*}}$$

$V_{R1}$  = Velocidad relativa inicial.

$V_{R2}$  = Velocidad relativa final.

$m^*$  = masa reducida

$$m^* = \frac{m_1 * m_2}{m_1 + m_2}$$

$$\Delta V_1 = \sqrt{\frac{2Em_2}{m_1 * (m_1 + m_2)}}$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} m_1 * EES_1^2 + \frac{1}{2} m_2 * EES_2^2$$

$$\Delta V_2 = \sqrt{\frac{2Em_1}{m_2 * (m_1 + m_2)}}$$

$\Delta V$ : Cambio de velocidad del vehículo.

$E$ : Energía total absorbida por los dos vehículos debido a la deformación.

$m$ : masa del vehículo 1.

$m_2$ : masa del vehículo 2.

$EES_1$  = Velocidad equivalente de Energía del vehículo No. 1.

$EES_2$  = Velocidad equivalente de Energía del vehículo No. 2.

Se obtiene un  $\Delta V$  para el vehículo No.1.

Se obtiene un  $\Delta V$  para el vehículo No. 2.

$\Delta V$ : Cambio de velocidad del vehículo durante el impacto.

$E$ : Energía total absorbida por los dos vehículos debido a la deformación.

$m$ : masa del vehículo 1.

$m_2$ : masa del vehículo 2.

$EES_1$  = Velocidad equivalente de Energía del vehículo No. 1.

$EES_2$  = Velocidad equivalente de Energía del vehículo No. 2.

Se obtiene un  $\Delta V$  para el vehículo No.1.

Se obtiene un  $\Delta V$  para el vehículo No. 2.

$$EES = \sqrt{\frac{2E_d}{M}}$$

### ANALISIS SOBRE LAS CAUSAS QUE INSIDIERON EN EL ACCIDENTE DE TRANSITO.

$V_{ri}$ : Velocidad relativa de impacto: entre 40 y 55 km/h.

$V_1$ : Velocidad de impacto de la motocicleta: entre 44 y 64 km/h.

$V_2$ : Velocidad inicial de impacto de la camioneta: entre 13 y 20 m/h.

$\theta$ : Angulo que forman las velocidades al momento del impacto: entre 345° y 350° para la motocicleta y entre 46° y 48° para la camioneta.

### VELOCIDADES

#### VELOCIDAD DE MOTOCICLETA ANTES DE LA HUELLA DE FRENADO - Vehículo 1

$$V_o = 3,6\sqrt{2\mu gdf}$$

$$\mu = 0,65$$

$$g = \frac{9,8m}{s^2}$$

$$df = 22,8 m$$

$$V_{o1} = 3,6\sqrt{(2(0,65)(9,8)(22,8))} = 61,35 \frac{km}{h}$$

$$V_{o2} = 3,6\sqrt{(2(0,75)(9,8)(22,8))} = 65,90 \frac{km}{h}$$

El rango de velocidad a la que se desplazaba la motocicleta antes de la acción de frenado está entre:

$$61,35 \frac{km}{h} \leq V_o \leq 65,90 \frac{km}{h}$$

## VELOCIDAD RELATIVA DE IMPACTO

### Motocicleta

$$V_{R1}^2 = \text{En el intervalo entre } 4 \frac{\text{km}}{\text{h}} \text{ y } 7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

### Camioneta

$$V_{R2}^2 = \text{En el intervalo de entre } 43 \frac{\text{km}}{\text{h}} \text{ y } 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$m_1$ : Entre 300 kg y 330 kg

$m_2$ : Entre 2000 kg y 2100 kg

$$EES_1 = \text{Entre } 20 \frac{\text{km}}{\text{h}} \text{ y } 25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$EES_2 = \text{Entre } 12 \frac{\text{km}}{\text{h}} \text{ y } 17 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Se obtiene un  $\Delta V_1$  para el vehículo No.1:  $34,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Se obtiene un  $\Delta V_2$  para el vehículo No. 2.:  $5,1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

## VELOCIDAD DE LA MOTOCICLETA DE ACUERDO CON LA DISTANCIA RECORRIDA Y A LA DEACELERACIÓN POR LA ACCIÓN DE FRENADO

$$v_v = \sqrt{2gd_t(\mu \cos\theta \pm \sin\theta) + V_{imp}^2}$$

Para calcular este intervalo, se tuvo en cuenta los dos valores del coeficiente de fricción:  $0.65 \leq \mu \leq 0.75$ .

$$v_{\min} = 57.79 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$v_{\max} = 73.17 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$57.79 \frac{\text{km}}{\text{h}} \leq v_v \leq 73.17 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

## DISTANCIA PARA QUE LOS VEHÍCULOS PUEDAN DETENER TOTALMENTE

$$D_T = \frac{(V_v \pm gt_r \text{sen}\theta)^2}{2(\mu \text{cos}\theta \pm \text{sen}\theta)g} + t_r V_v \pm \frac{t_r^2 g \text{sen}\theta}{2}$$

$D_T$ : Distancia total recorrida.

$V_v$ : Velocidad del vehículo.

$t_r$ : Tiempo de reacción.

$g$ : Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>

$\mu$ : Coeficiente de rozamiento entre las llantas y la superficie.

$\theta$ : Pendiente de la vía

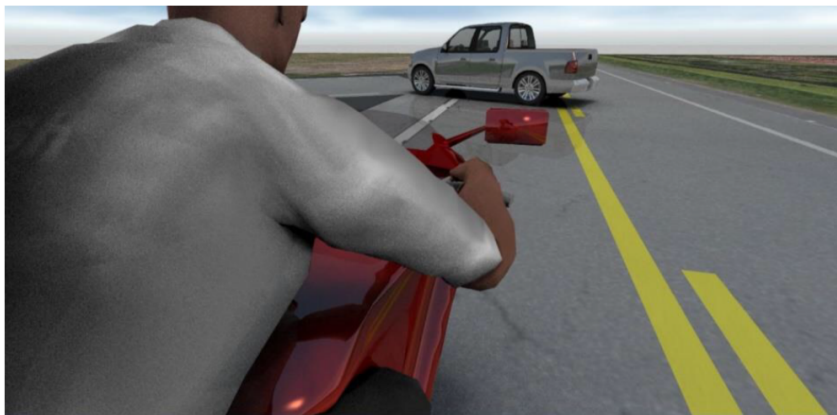
$D_{T\text{moto}}$  - 9m

$D_{T\text{Camioneta}}$  - 84m

### XIII. USO DE CARRILES

#### MOTOCICLETA:

- 1) En el momento de la colisión el motociclista transitaba por el carril izquierdo, al parecer realizando una maniobra de adelantamiento sobre la camioneta.



Visibilidad del motociclista momentos antes de la colisión.

Fig. 54. Caso 2D.Simulación de perspectiva del motociclista

- 2) La maniobra de adelantamiento en ese punto de la vía era permitida, esto se verifica por la línea amarilla intermitente en su carril, lo que indica que en esa zona se puede realizar esa maniobra.

#### **CAMIONETA:**

- 1) Momentos antes al de colisión, la conductora se desplazaba sobre el carril derecho, luego hizo un giro atravesando hacia el carril izquierdo y así incorporarse a la vía de acceso del conjunto residencial.

#### **XIV. MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO**

- 1) El límite legal de velocidad en la zona es de  $30 \frac{km}{h}$
- 2) Es claro en el video de seguridad que la camioneta tenía la direccional puesta, por lo que si la velocidad de desplazamiento hubiera sido menor, el accidente podría haber sido menos aparatoso.
- 3) El conductor de la motocicleta se desplazaba a una velocidad de entre  $57.79 \frac{km}{h} \leq v_v \leq 73.17 \frac{km}{h}$  por lo que sobrepasó el límite de velocidad permitido en esa zona.
- 4) Si la velocidad de desplazamiento de la motocicleta hubiera sido la reglamentaria o un poco menor del rango antes mencionado, el accidente de tránsito necesariamente hubiera sido menos lesivo, ya que el impacto hubiera sido de menor energía.

- 5) Para realizar una maniobra de adelantar, es necesario acelerar la motocicleta y obtener una velocidad mayor del vehículo que se pretende adelantar, por lo que eso explica que el desplazamiento de los vehículos por el carril izquierdo pretendiendo adelantar pueda ser mayor.



*Vista general tomada desde dron tomada por Geólogo de Ejip S.A.S*

- 6) Pese a que la señal de tránsito es muy clara en delimitar el límite de velocidad, es posible que, para esa zona, con las condiciones particulares de esa vía, esa señal de tránsito con límite  $73.17 \frac{km}{h}$  de no responda a la necesidad real del lugar, es una

Fig 55. Foto de dron del lugar del AT.

recta plana con *Vista general tomada desde dron tomada por Geólogo de Ejip S.A.S de adelantar, como se observa a continuación.*



*Vista general tomada desde dron tomada por Geólogo de Ejip S.A.S.*

- 7) Se extraña un carril de incorporación o de reducción de velocidad en ese sitio, lo cual sería de gran ayuda evitando este tipo de siniestros.

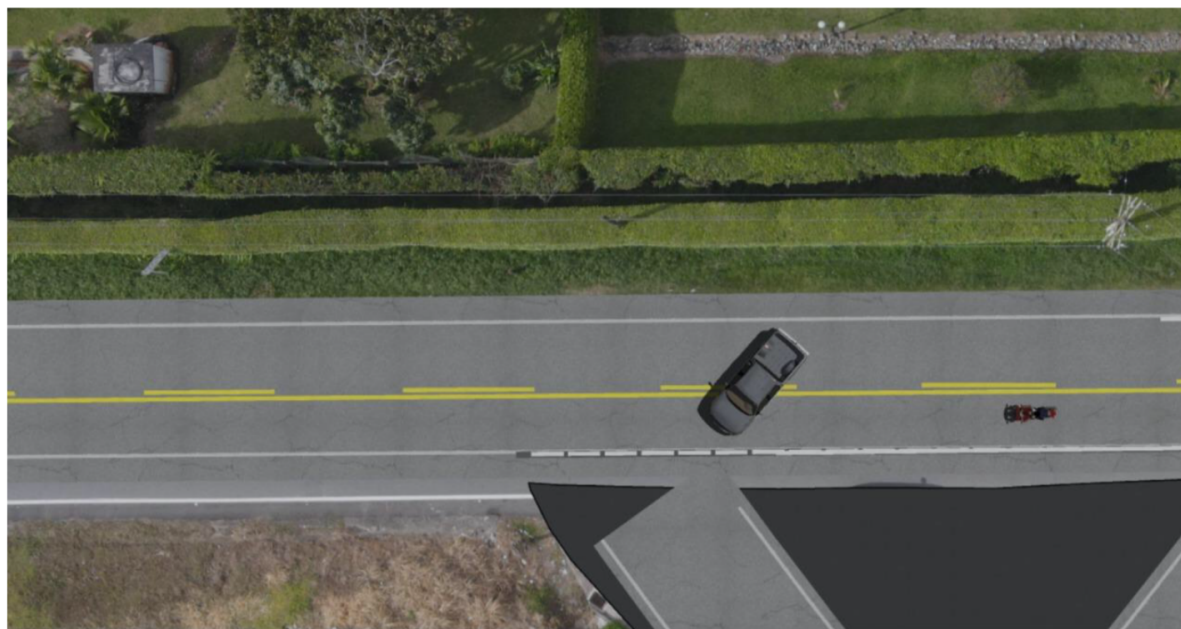
Fig. 56. Caso 2D. Perspectiva amplia, foto de dron

Fig. 57. Caso 2D. Maniobra de giro

...

## XV. MANIOBRA DE GIRO

- 1) La conductora de la camioneta realizó una maniobra de giro desde el carril derecho, atravesando en forma diagonal el carril izquierdo para incorporarse a la vía de acceso del conjunto.



*Vista de momentos previos al accidente - Simulación 3d*

- 2) En la realización de la maniobra no se detuvo totalmente la marcha del vehículo ( $V=0$ ).
- 3) La maniobra de cruce sin haberse detenido en el momento no le proporcionó el tiempo suficiente para reaccionar frente a una motocicleta que se desplazaba sobre su camioneta a una alta velocidad. Aunque hubiera visto la moto, el tiempo era muy corto y la reacción improbable, las posibles perspectivas de visión se relacionan a continuación.



Fig 58.

...



*Visibilidad en el momento que realiza el giro sin parar.*

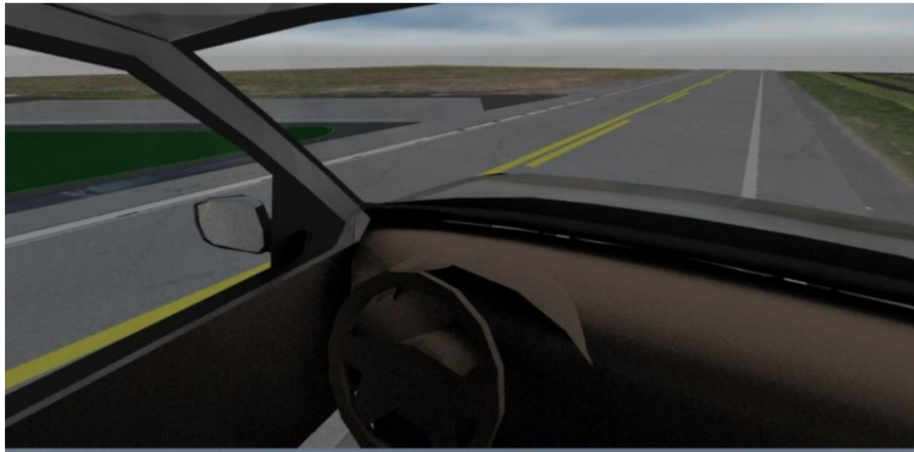


*Visibilidad en el momento que se está incorporando a la entrada del conjunto.*

Fig 59. Caso 2D. Simulación de perspectiva conductor del carro

- 4) Detener completamente el vehículo para realizar una maniobra peligrosa como cruzar este carril contrario de alto tráfico vehicular, es un mecanismo de precaución necesario ya que permite tomar una decisión adecuada sobre en qué momento cruzar. Esto debido a que existen altas probabilidades de accidente por cuenta de los vehículos del carril contrario y los del mismo carril, en una acción permitida de adelantar como en este caso.

A continuación, se muestran la posible visibilidad que hubiera tenido la conductora frente al hecho de detener completamente la marcha de la camioneta.



*Visibilidad del carril contrario para tomar una decisión de cruce*



*Visibilidad del carril girando la vista hacia el lado - atrás*

Fig. 60. Caso 2D. Perspectiva de carril, conductor de carro

- 5) Como medida de precaución adicional, observar los retrovisores, la vista panorámica frontal y girar completamente la vista hacia la parte trasera del vehículo puede evitar colisiones de este tipo.



*Visibilidad del carril girando la vista hacia atrás*

Lo que se pretende hacer entender es que, de haberse detenido la marcha de la camioneta, ella hubiera podido decidir en qué momento hacer el cruce sin ponerse en riesgo o poner en riesgo a los demás actores viales.

Fig. 61. Caso 2D. Perspectiva del conductor del carro

## **XVI. ANALISIS DE EVITABILIDAD**

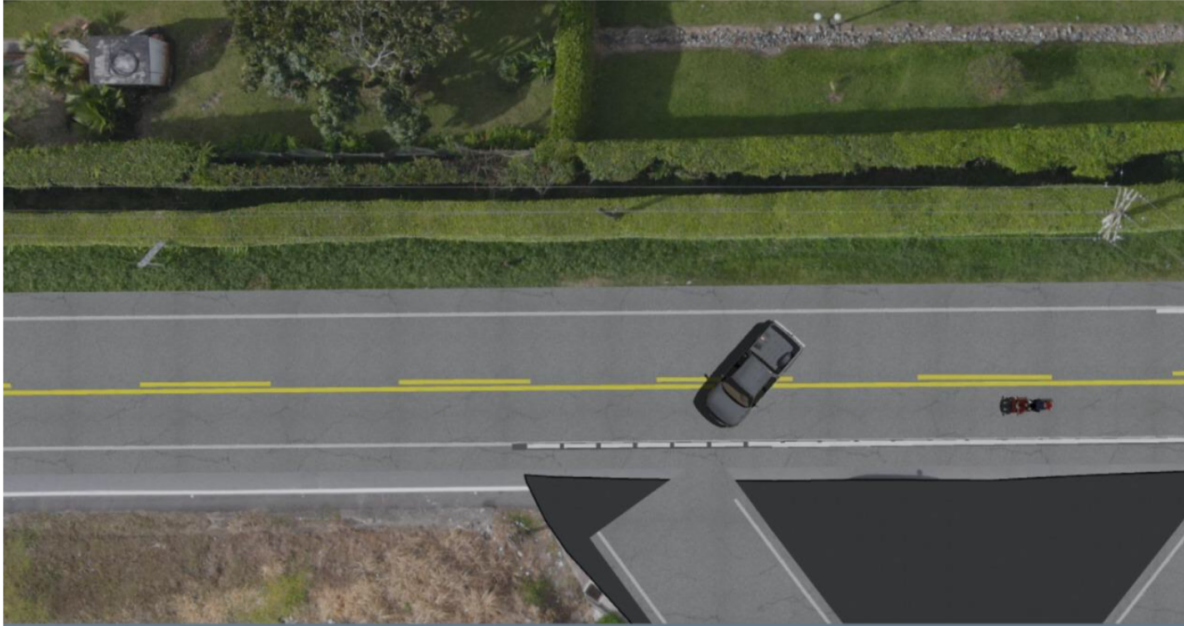
A partir de los deberes que corresponde a cada uno de los conductores en esta situación se debe decir que:

**Vehículo 1 Motocicleta:** A partir de todo lo anteriormente manifestado, le correspondía respetar el límite de velocidad de 30 Km/h. Ya se ha mencionado que la maniobra de adelantar sí le era permitida en ese lugar.

**Vehículo 2 Camioneta:** A partir de lo anteriormente expuesto, le correspondía

## XV. MANIOBRA DE GIRO

- 1) La conductora de la camioneta realizó una maniobra de giro desde el carril derecho, atravesando en forma diagonal el carril izquierdo para incorporarse a la vía de acceso del conjunto.



*Vista de momentos previos al accidente - Simulación 3d*

- 2) En la realización de la maniobra no se detuvo totalmente la marcha del vehículo ( $V=0$ ).
- 3) La maniobra de cruce sin haberse detenido en el momento no le proporcionó el tiempo suficiente para reaccionar frente a una motocicleta que se desplazaba sobre su camioneta a una alta velocidad. Aunque hubiera visto la moto, el tiempo era muy corto y la reacción improbable, las posibles perspectivas de visión se relacionan a continuación.

detener por completo la marcha del vehículo, antes de realizar la maniobra de giro. Es evidente que podía realizar el giro y acceder a la vía de entrada al conjunto residencial, pero no de cualquier manera.

Fig 58.

...



*Visibilidad en el momento que realiza el giro sin parar.*



*Visibilidad en el momento que se está incorporando a la entrada del conjunto.*

Fig 59. Caso 2D. Simulación de perspectiva conductor del carro

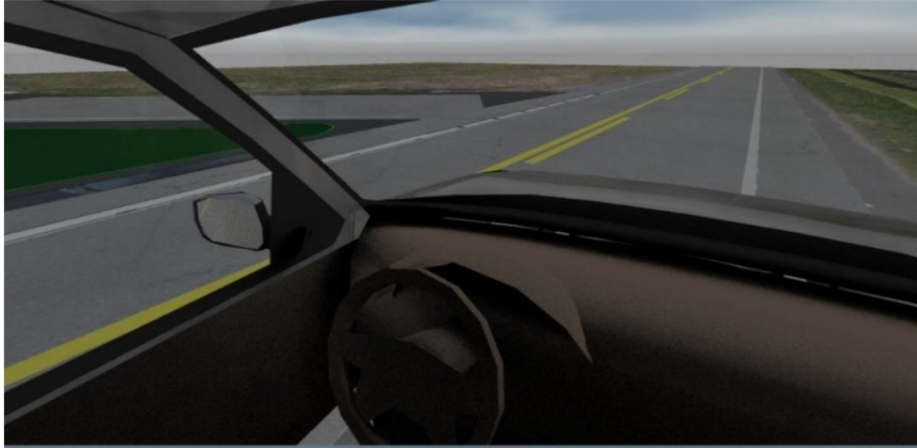
## **POSIBLES EVENTOS**

### **EVENTO 1:**

El conductor del Vehículo N°1 respeta el límite de velocidad permitida en la carretera (30

- 4) Detener completamente el vehículo para realizar una maniobra peligrosa como cruzar este carril contrario de alto tráfico vehicular, es un mecanismo de precaución necesario ya que permite tomar una decisión adecuada sobre en qué momento cruzar. Esto debido a que existen altas probabilidades de accidente por cuenta de los vehículos del carril contrario y los del mismo carril, en una acción permitida de adelantar como en este caso.

A continuación, se muestran la posible visibilidad que hubiera tenido la conductora frente al hecho de detener completamente la marcha de la camioneta.



*Visibilidad del carril contrario para tomar una decisión de cruce*



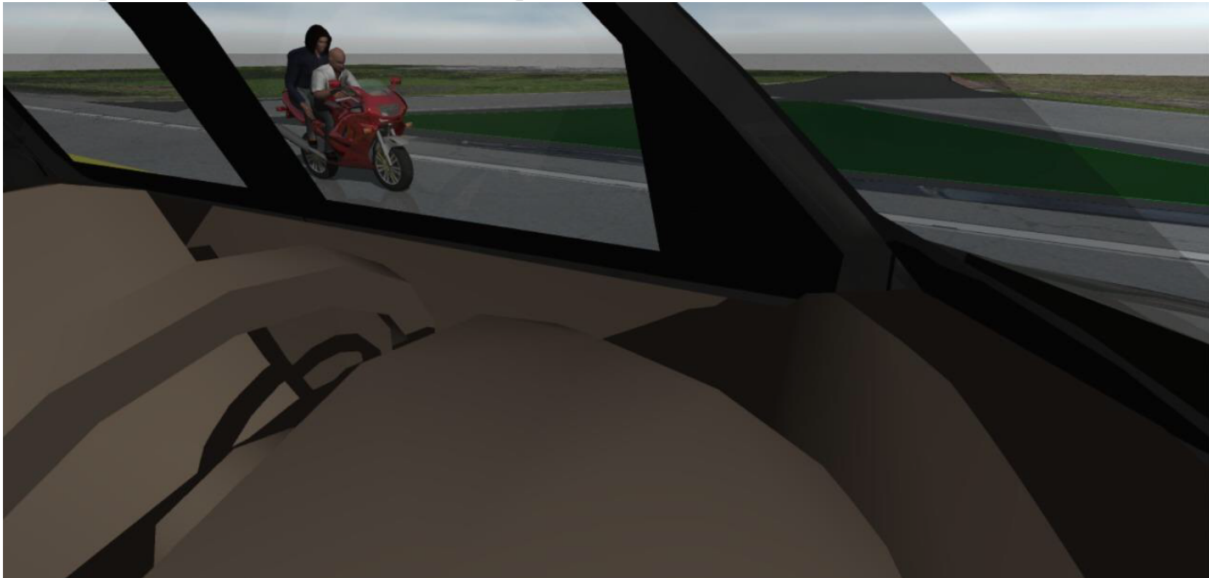
*Visibilidad del carril girando la vista hacia el lado - atrás*

Fig. 60. Caso 2D. Perspectiva de carril, conductor de carro

Km/h), y el conductor del Vehículo N°2 detiene la marcha completamente para observar que no vayan vehículos en ambos sentidos de la vía, para posteriormente hacer una maniobra de cruce al carril para acceder a los conjuntos residenciales.

En estas condiciones el accidente posiblemente no hubiera ocurrido. Porque la conductora hubiera tenido el tiempo suficiente para decidir en qué momento cruzar y el motociclista hubiera podido hacer la maniobra de adelantamiento a la velocidad permitida.

- 5) Como medida de precaución adicional, observar los retrovisores, la vista panorámica frontal y girar completamente la vista hacia la parte trasera del vehículo puede evitar colisiones de este tipo.



*Visibilidad del carril girando la vista hacia atrás*

Lo que se pretende hacer entender es que, de haberse detenido la marcha de la camioneta, ella hubiera podido decidir en qué momento hacer el cruce sin ponerse en riesgo o poner en riesgo a los demás actores viales.

Fig. 61. Caso 2D. Perspectiva del conductor del carro

**EVENTO 2:**

El conductor del Vehículo N°1 NO respeta el límite de velocidad permitida en la carretera (30 Km/h), y el conductor del Vehículo N°2 SÍ detiene la marcha completamente para observar que no vayan vehículos en ambos sentidos de la vía, para posteriormente hacer una maniobra de cruce al carril para acceder a los conjuntos residenciales.

En estas condiciones el accidente posiblemente no hubiera ocurrido. Porque la conductora hubiera tenido el tiempo suficiente para decidir en qué momento cruzar, pese a que se hubiera presentado el exceso de velocidad.

**EVENTO 3:**

El conductor del Vehículo N°1 SÍ respeta el límite de velocidad permitida en la carretera (30 Km/h), y el conductor del Vehículo N°2 NO detiene la marcha completamente para observar que no vayan vehículos en ambos sentidos de la vía, para posteriormente hacer una maniobra de cruce al carril para acceder a los conjuntos residenciales.

En estas condiciones el accidente posiblemente SÍ hubiera ocurrido. Porque la conductora NO hubiera tenido el tiempo suficiente para decidir en qué momento cruzar (pese a haber encendido la direccional), y pese a que la motocicleta se desplazara a menor velocidad, debido al inesperado del giro, el choque se hubiera causado. Lo que se debe advertir es que, en estas condiciones, el accidente hubiera sido de menor gravedad, posiblemente un mero choque simple con lesiones menores.

#### **EVENTO 4:**

El conductor del Vehículo N°1 NO respeta el límite de velocidad permitida en la carretera (30 Km/h), y el conductor del Vehículo N°2 NO detiene la marcha completamente para observar que no vayan vehículos en ambos sentidos de la vía, para posteriormente hacer una maniobra de cruce al carril para acceder a los conjuntos residenciales.

En estas condiciones el accidente posiblemente SÍ hubiera ocurrido. Porque la conductora NO hubiera tenido el tiempo suficiente para decidir en qué momento cruzar, y sumado a que la motocicleta se desplazaba a mayor velocidad, debido a lo inesperado del giro, el choque se hubiera causado. Lo que se debe advertir es que, en estas condiciones, el accidente causado podría sea muy grave, muy lesivo para la salud, incluso con consecuencias fatales.

Es evidente que el escenario en que ocurrió este accidente de tránsito fue en el EVENTO 4, quizás el peor de todos desde el punto de vista de la física.

Se evidencia que los EVENTOS 3 y 4 tienen en común la posible ocurrencia del siniestro vial. También que el exceso de velocidad CONTRIBUYE y hace más grave el accidente de tránsito.

Lo que salta a la vista que la ocurrencia del siniestro vial en estas condiciones específicas está dada por el giro instantáneo de la Camioneta, sin detener la marcha de esta para buscar la incorporación en la vía de acceso al conjunto residencial.

## **XVII. OBSERVACIONES GENERALES Y RESULTADOS**

- 1) Las simulaciones realizadas tienen como sustento y fundamento los documentos entregados y suscritos por las autoridades de tránsito, entre ellas el croquis, el informe IPAT.



- 2) La labor de campo sirvió como mecanismo para corroborar, tomar medidas y establecer parámetros adicionales de interés para el caso.
- 3) La visibilidad del lugar es buena, en términos de luminosidad natural de día, es plana, con buen estado del manto asfáltico.
- 4) En el IPAT aparecen dos longitudes de la huella de frenado de la motocicleta, de las cuales se utilizó la de 22,8m.
- 5) Se utilizó como insumo de base para sacar capturas de pantalla y posiciones de algunos objeto y personas el video de las cámaras de seguridad del conjunto.
- 6) El video de seguridad permitió verificar que la direccional de la camioneta estaba encendida en el momento de la colisión. No fue posible determinar con qué anticipación.
- 7) La velocidad a la que se desplazaba la motocicleta es de entre **57. 79 Km/h  $\leq v_v \leq$**   
73.17 Km/h
- 8) La velocidad la que se desplazaba la camioneta es de entre 15 Km/h  $\leq V_V \leq$  22 Km/h

## **XVIII. CONCLUSIONES**

1. La motocicleta se desplazaba a una velocidad superior al límite permitido en el sector (30 km/h).
2. El exceso de velocidad de la motocicleta **CONTRIBUYÓ** a la ocurrencia del siniestro vial.
3. No es suficiente encender la direccional indicando un giro, si este se va a hacer de manera instantánea, sin detener la marcha de la camioneta.
4. La maniobra de adelantamiento estaba permitida en ese punto de la vía, esto se evidencia en la línea amarilla discontinua en el carril de desplazamiento de la motocicleta.
5. El giro, sin detener totalmente la marcha de la camioneta, **DETERMINÓ** la ocurrencia de la colisión. Probablemente, si se hubiera detenido la marcha, no hubiera causado el accidente de tránsito.
6. Teniendo en cuenta que el conductor de la camioneta no detuvo la marcha completamente y decidió hacer la maniobra de ingreso a la entrada de los conjuntos residenciales, lo que conllevó a la colisión entre ambos vehículos.
7. Se evidencia la falta de un carril de desaceleración y de incorporación al conjunto residencial mencionado y a los conjuntos residenciales contiguos.

8. Se concluye que en la vía faltó señalización, puesto que, si se encuentran señales de ingreso a los conjuntos en tramos previos a los mismos, probablemente ambos conductores tendrían la precaución especialmente en esos puntos de acceso.

## **XIX. FACTORES CONTRIBUYENTES**

- 1) **EL EXCESO DE VELOCIDAD DE LA MOTO**, debido a que, si la velocidad de desplazamiento no hubiera sido tan alta, aunque se hubiese generado la colisión, posiblemente las lesiones personales y daños materiales hubieran sido menores.
- 2) **La falta de un carril de desaceleración e incorporación** a los conjuntos San Bernardo del viento y el conjunto Álamos.

## **XX. FACTOR DETERMINANTE:**

En virtud de todo lo anteriormente expuesto se debe decir que:

El factor **DETERMINANTE** en el presente accidente de tránsito, según el estudio preliminar del caso, la visita de campo y el procesamiento de todos los EMP y EF allegada, además de las simulaciones, desarrollo de modelos físicos y cálculos realizados es: **EL GIRO DE LA CAMIONETA, SIN HABER DETENIDO COMPLETAMENTE LA MARCHA.**

Esto se sustenta en que, pese al evidente exceso de velocidad por cuenta de la motocicleta, de no haberse presentado la maniobra de giro en las condiciones en que se presentó (según videos de seguridad y documentos oficiales) el accidente de tránsito físicamente no podía haberse presentado. Cabe aclarar que esta conclusión únicamente es válida para las condiciones (variables y parámetros) de los modelos planteados en el actual caso.

Para efectos de sustento de esta conclusión, se realizó un video donde se ilustra tanto la manera como ocurrió el accidente, como un escenario hipotético donde de haberse detenido por completo la camioneta, antes de realizar el giro, el accidente probablemente no hubiera ocurrido.

## BONUS: EJEMPLO DE APLICACIÓN CINEMETRÍA

Supóngase que el objeto de color azul de la siguiente ilustración es una cámara y que está ubicada y en grabación.



Simulación 3D de un vehículo en una vía

Fig. 62. Bonus. Simulación carro, cámara y vía

En el software especializado de RAAT Virtual Crash 3D se configuró una velocidad de 50Km/h, como se muestra en la siguiente imagen.

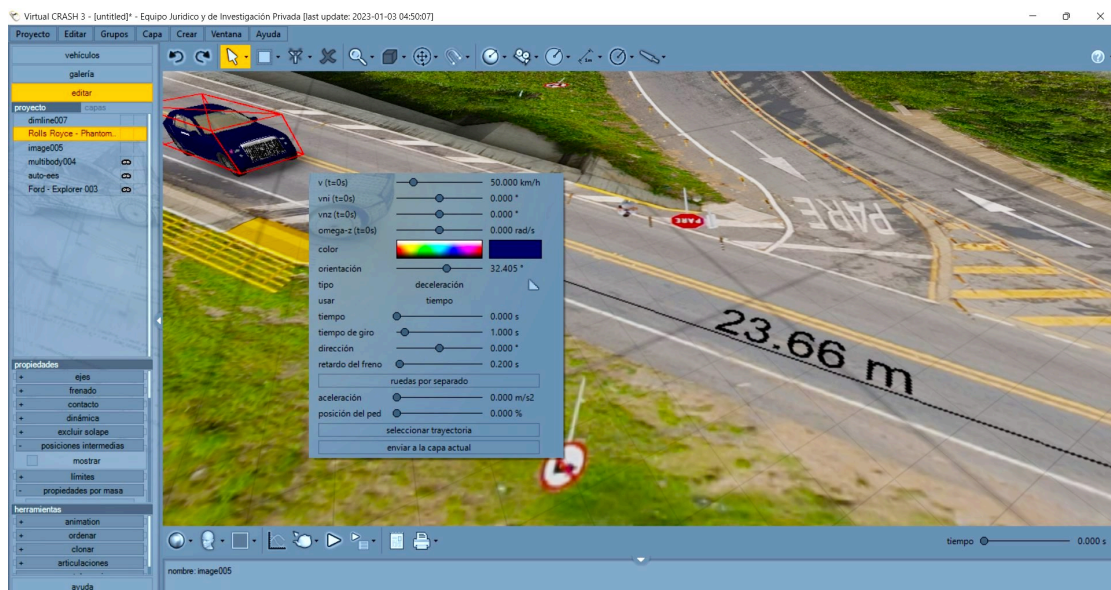


Fig. 63. Bonus. Configuración de velocidad de desplazamiento de vehículo en software 3D Virtual crash 3D.

Con el propósito de verificar el funcionamiento del principio físico del actual modelo, se trazó una trayectoria de longitud conocida (26,66m), como se muestra en la imagen anterior, sobre la vía de desplazamiento del vehículo.



Fig. 64. Bonus. Punto inicial de la trayectoria conocida

En ese orden de ideas, se puso a funcionar la simulación y se congeló en el instante en que el punto inicial de la parte frontal del vehículo tocó la línea de cota, para empezar a contabilizar el tiempo en un cronómetro. Este procedimiento es válido porque el tiempo de la simulación está calibrado a 1X (la velocidad del tiempo) con la del cronómetro.



Fig. 66. Bonus. Punto inicial visto desde una perspectiva frontal

De este ejercicio se obtiene que:

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

La trayectoria es conocida y tiene una longitud de 23.66m, la cual fue recorrida por el vehículo de la simulación en un tiempo de 1.67s, por lo tanto tenemos:

$$v = \frac{23.66}{1.67s} = 14.17 \frac{m}{s}$$

Al realizar la conversión a Km/h obtenemos:

$$v = 51.003 \frac{Km}{h}$$

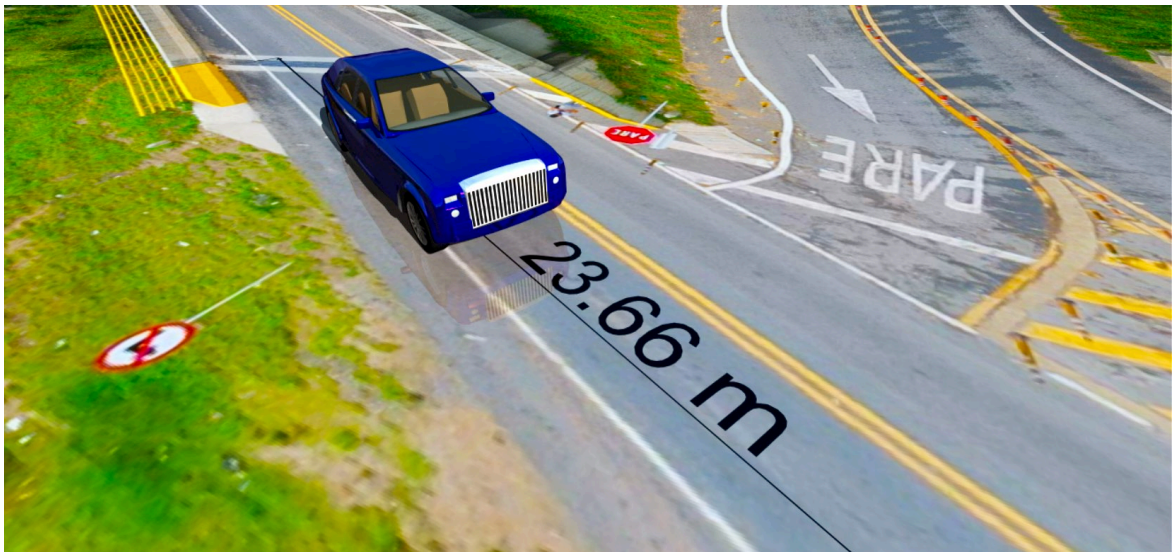


Fig. 67. Bonus. Perspectiva intermedia

1. Longitud de la trayectoria: 23.66 m ( $\pm 1\%$ )

- Esto implica un posible error de  $\pm 0.2366$  m en la medición de la longitud de la trayectoria.

2. Tiempo recorrido: 1.67 s ( $\pm 2\%$ )

- Esto implica un posible error de  $\pm 0.0334$  s en la medición del tiempo recorrido.



Fig. 65. Bonus. Punto final de la trayectoria



Fig. 69. Bonus. Punto final de la trayectoria visto desde una perspectiva frontal

Con estos porcentajes de error, podemos calcular la velocidad promedio con sus correspondientes incertidumbres:

Velocidad = Distancia / Tiempo

Velocidad = 23.66 m / 1.67 s  $\approx$  14.14 m/s ( $\pm$  2.8%)

Para convertirlo a km/h:

Velocidad  $\approx$  14.14 m/s \* 3.6 km/h  $\approx$  50.90 km/h ( $\pm$  2.8%)

Por lo tanto, la velocidad calculada es aproximadamente 50.90 km/h, con una incertidumbre del  $\pm$  2.8%.

Es importante tener en cuenta que estos porcentajes de error e incertidumbre son solo estimaciones generales y pueden variar según la precisión del software utilizado, la calidad de los datos de entrada, y otros factores relacionados con el proceso de simulación. Al realizar análisis críticos o en contextos legales, se recomienda considerar y validar estos valores de incertidumbre de acuerdo con los estándares y procedimientos apropiados.

Lo cual comprueba que el modelo es funcional y contrario a lo afirmado por el Juez en una de sus decisiones, el modelo físico sí funciona.

En este capítulo se analizó la manera en que la prueba pericial de reconstrucción analítica de accidente de tránsito es fundamental en cada uno de los casos, ya que puede llegar a determinar la consecuencia del caso.

Dentro de la labor de los físicos e ingenieros físicos en el campo de la Accidentología vial representa un gran desafío ocupacional.

Cada uno de los casos analizados anteriormente tiene características particulares. Se examina la adecuación del modelo físico al hecho de tránsito, la trascendencia que le da el juez a la prueba pericial dentro del proceso y la forma en que se puede limitar, sesgar o cambiar la adecuada interpretación en una decisión judicial con mucha facilidad.

La literatura científica, sobre todo en el ámbito divulgativo de la ciencia, debe ocuparse de manera prioritaria en hacer públicos y socializar este tipo de trabajos con otras ramas que afectan la vida social, como lo es la rama del derecho.

Al seleccionar adecuadamente un modelo físico, es imperativo recordar que un accidente de tránsito es un hecho único, y la representación del modelo físico podría asemejarse a una huella digital.

En el siguiente capítulo, se sugieren algunos criterios desde el punto de vista de la física que pueden ser útiles a la hora de cumplir con esta labor de seleccionar el modelo físico.

## ■ **CAPÍTULO 4. CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA SELECCIÓN ADECUADA DEL MODELO FÍSICO**

---

En este capítulo, se abordan las consideraciones fundamentales para seleccionar de manera adecuada el modelo físico, siguiendo las pautas establecidas en el artículo 232 del Código General del Proceso Colombiano. Estas consideraciones se basan en las reglas de la sana crítica, las cuales son empleadas por los jueces para guiar la lógica en la toma de decisiones judiciales.

La sana crítica se concibe como un instrumento legal de carácter universal, aplicable tanto en el derecho civil como en el penal, y desempeña un papel fundamental en la valoración de pruebas en un juicio. En el contexto colombiano, se encuentra incorporada en el Código Penal y su aplicación en un proceso probatorio requiere seguir una serie de reglas específicas.

Las reglas de la sana crítica se componen de tres principios básicos: el de la experiencia, la lógica y la ciencia. Estos principios proporcionan un marco sólido para la apreciación y evaluación de elementos probatorios en cualquier juicio.

### **Principio de la experiencia**

El principio de la experiencia se refiere a la información adquirida a través de los sentidos y la práctica de vivir, enriqueciendo así el pensamiento. Se basa en la observación de la realidad como un proceso natural, y su aplicación en la sana crítica permite apreciar y juzgar los hechos tal y como son, independientemente de quién los interprete.

### **Principio de la Lógica**

Además del principio de la experiencia, se incluyen los principios de la lógica como parte de la sana crítica. La lógica abarca el razonamiento y proporciona normas para distinguir la validez y la probabilidad de un argumento. En el ámbito jurídico, la lógica se utiliza como un control razonable en la valoración de elementos probatorios, siguiendo principios como el de identidad (una cosa solamente es igual a sí misma), contradicción (una cosa no puede ser y no ser al mismo tiempo), tercero excluido (cuando una cosa solo puede ser explicada dentro de dos proposiciones alternativas, una tercera proposición ajena a las dos



precedentes no es válida) y razón suficiente (existen cosas y son conocidas por una causa que puede justificar su existencia).

### **La ciencia como otra de las reglas de la sana crítica**

La ciencia se considera otra regla de la sana crítica, y se basa en conocimientos científicamente afianzados o comprobados. En el contexto jurídico, se distingue entre las leyes de la ciencia, que son aceptadas y irrefutables en la valoración de pruebas, y las teorías científicas, que son el resultado de un proceso científico. Estos principios, en conjunto con la experiencia y la lógica, conforman la base para el establecimiento de la sana crítica, aunque se reconoce que nuevas investigaciones pueden aportar nuevas perspectivas y reglas adicionales.

Basándonos en estos fundamentos y en la apreciación de la sana crítica en general, se introducirá en este capítulo una categoría universal para la investigación técnico-científica: el método científico. Este método, ampliamente reglamentado en el estudio de ciencias como la física, sirve como base para la reconstrucción analítica de accidentes de tránsito. Además, se presentarán los factores o criterios Daubert, establecidos por la Corte Suprema de los Estados Unidos y ampliamente utilizados en temas periciales para la valoración judicial en procesos de responsabilidad.

El propósito de esta sección es brindar una visión general y proporcionar al perito una serie de insumos para seleccionar adecuadamente un modelo físico en casos concretos. No se pretende establecer un protocolo taxativo para cada situación, sino ilustrar un camino que pueda seguirse para lograr este objetivo, teniendo en cuenta el nivel de discrecionalidad que cada experto posee en la selección de los modelos físicos.

### **5.1 Método Científico**

El método científico es un proceso sistemático de investigación utilizado para resolver problemas o responder preguntas sobre el mundo natural o social. Se fundamenta en la observación, la recolección de datos y la experimentación para desarrollar teorías o explicaciones verificables y confiables (Westreicher, 2022).

El método científico consta de los siguientes pasos:

**1. Formulación del problema:** Identificación clara y precisa del problema a resolver. En el caso de la reconstrucción analítica de accidentes de tránsito, el problema puede ser determinar las causas y el desarrollo del accidente.

**2. Recolección de datos:** Obtención de todos los datos relevantes sobre el accidente, incluyendo información sobre el lugar, los vehículos involucrados, los testigos, la policía, entre otros.

**3. Análisis de datos:** Examinar y analizar los datos recolectados para identificar patrones o tendencias. En la reconstrucción analítica de accidentes, pueden utilizarse modelos físicos para simular el accidente y determinar su desarrollo.

**4. Selección de modelos físicos:** Escoger los modelos físicos más adecuados para simular el accidente, considerando aspectos como precisión, fiabilidad, simplicidad y capacidad de validación con los datos recogidos.

**5. Validación de modelos:** Verificar la correspondencia de los modelos seleccionados con la realidad, utilizando los datos recolectados. Si los resultados no son concluyentes, se deben realizar ajustes o seleccionar otros modelos.

**6. Interpretación de resultados:** Analizar e interpretar los resultados obtenidos de la validación de los modelos, y establecer conclusiones sobre las causas del accidente.

**7. Comunicación de resultados:** Transmitir los resultados obtenidos a las partes pertinentes, como las autoridades de tránsito, la policía, las compañías de seguros, entre otros.

Cada uno de estos pasos desempeña un papel crucial en la selección de modelos físicos para la reconstrucción analítica de accidentes de tránsito, y su correcta aplicación puede contribuir a obtener resultados precisos y confiables.

## **5.2 Los Factores Daubert (Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc., s. f.)**

En el contexto de la resolución del caso *Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc.*, la Corte Suprema de los Estados Unidos estableció una serie de factores para evaluar la cientificidad y la confiabilidad probatoria de las pruebas en cuestión. Estos factores fueron recomendaciones y sugerencias, y se mencionó explícitamente la posibilidad de utilizar otros criterios establecidos por los tribunales estadounidenses o propuestos por la literatura jurídica (Iquise, 2019).

Un ejemplo relevante de aplicación de estos factores es el caso *Christophersen v. Allied-Signal Corp.* (939 F.2d 1106), resuelto por el Quinto Circuito en 1991. En este caso, se alegaba que la exposición al níquel había causado el cáncer de colon mortal del esposo de la demandante. El tribunal estableció cuatro criterios para evaluar la admisión de pruebas científicas:

- A.** La cualificación del perito como experto.
- B.** Si los hechos considerados por el experto son del mismo tipo que considerarían otros expertos en la materia.
- C.** Si el experto utilizó una metodología sólidamente fundamentada para llegar a su conclusión.
- D.** El perjuicio potencial que la valoración inadecuada de la evidencia podría causar, asumiendo que el elemento de prueba cumpla con los criterios establecidos en las reglas 702 y 703, así como en el criterio Frye.

La Corte citó dos ejemplos adicionales para ilustrar los criterios de admisibilidad propuestos. Por un lado, se mencionó el Weinstein's Evidence Manual de Weinstein y Berger, que sugiere los siguientes criterios:

- A.** La aceptación generalizada de la técnica utilizada.
- B.** La preparación académica y competencia del experto.
- C.** El uso de la técnica en el caso específico.
- D.** El rango potencial de error.
- E.** La existencia de literatura especializada.
- F.** El grado de innovación o novedad.
- G.** La dependencia de la interpretación subjetiva del experto en los resultados.

Por otro lado, se hizo referencia a McCormick (1982) y los siguientes criterios:

- A.** El grado potencial de error de la técnica utilizada.
- B.** La existencia y el cumplimiento de estándares durante su uso.
- C.** La presencia de precauciones dentro de las características de la técnica.
- D.** La analogía con otras técnicas científicas cuyos resultados sean admisibles.
- E.** La aceptación de la técnica en la comunidad científica correspondiente.
- F.** La naturaleza y amplitud de la inferencia realizada.
- G.** La claridad y simplicidad en la descripción de la técnica y la explicación de los resultados.
- H.** La posibilidad de que el tribunal y el jurado puedan verificar los datos básicos.
- I.** La viabilidad de que otros expertos puedan probar y evaluar la técnica.
- J.** El valor probatorio en las circunstancias del caso.
- K.** La corrección observada por el experto al aplicar la técnica.

Estos factores, propuestos por el magistrado Blackmun y aceptados por la mayoría de los miembros de la Corte en ese momento, se consideran como elementos de cientificidad:

1. La capacidad de la teoría o técnica para ser sometida a prueba, lo cual distingue a la ciencia de otras actividades humanas.
2. La publicación o revisión por pares de la teoría o técnica empleada.
3. El rango conocido o posible de error en una técnica científica, así como la existencia de estándares de calidad y su cumplimiento.
4. La amplia aceptación de la teoría o técnica en la comunidad científica relevante.

Es importante destacar que estos factores han sido interpretados de diversas formas por los tribunales estadounidenses y traducidos de diferentes maneras a otros idiomas por estudiosos del derecho en otros sistemas legales. Sin embargo, detallar todas estas interpretaciones excedería los límites de este trabajo y resultaría de poco interés para los objetivos del mismo. A continuación, se identificarán algunos de los problemas asociados con cada uno de los factores propuestos por la Corte (Vázquez & Rojas, 2015).

Las partes involucradas en un caso deben considerar la diferencia significativa en los rangos de velocidades obtenidos y tienen la opción de recopilar elementos materiales probatorios y evidencia física para reducir ese rango. Esto se puede lograr simplemente cambiando el modelo físico utilizado. La selección del modelo físico adecuado depende de varios factores, como la técnica, la ciencia y el conocimiento experto del perito. Es esencial enriquecer el conocimiento en múltiples aspectos para realizar un ejercicio deductivo de descarte de diferentes modelos y seleccionar el modelo físico más congruente con el hecho de tránsito en estudio. El modelo físico debe representar la realidad de la ocurrencia del hecho de tránsito, evitando la modificación intencional o no de la realidad y su interpretación para adaptarse a un modelo utópico que pretenda representar todos los accidentes de tránsito.

En este capítulo se han estudiado algunas directrices sugeridas para seleccionar adecuadamente un modelo físico, atendiendo a lo que se conoce como reglas de la sana crítica.

El planteamiento se basa en que la labor de un perito en física debe ir más allá de la mera ciencia. Las reglas de la sana crítica se componen de: las máximas de la experiencia, las reglas de la lógica y la regla de la ciencia. Es decir, es una interpretación ampliada de la sola física formal consignada en los libros de texto.

Es imperativo entender esto en las dimensiones correctas. Se hace necesaria una interpretación ampliada de cómo se va a seleccionar un modelo.

No existe una fórmula que permita establecer con total precisión el modelo físico exacto para utilizar en cualquier caso de RAAT. Esto se debe a que cada hecho de tránsito tiene una forma extremadamente específica de ocurrencia.

El propósito de este trabajo es mostrar que la búsqueda del Perito en Física debe ser exhaustiva y completa; el objetivo debe ser que el modelo que se adecúe o construya desde la física se acerque al máximo a la realidad fáctica de cada siniestro vial.

En realidad, no hay un determinismo en el estudio de la accidentología vial; no existe un libro de texto en donde pueda ir a leer la respuesta correcta en cada caso. Más bien, esta ciencia es un reto muy serio a la creatividad y una apología a la recursividad en una carrera en búsqueda de la verdad o el mayor acercamiento posible a ella.

Es fundamental que el perito sea un profesional integral, que recurra a las herramientas aquí sugeridas y que forje un criterio propio.

# **■ GENERALIDADES DE LA PRUEBA PERICIAL DE RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO (RAAT) EN EL PROCESO DE RESPONSABILIDAD**

---

## **Normas aplicables del Código General del Proceso y Código de Procedimiento Penal Colombiano**

Con el objetivo de brindar al lector una comprensión más clara de las reglas aplicables a la prueba pericial de reconstrucción analítica de accidentes de tránsito, se exponen los siguientes artículos:

### **Asuntos Penales - Código de Procedimiento Penal Ley 906 de 2004**

**"ARTÍCULO 420. APRECIACIÓN DE LA PRUEBA PERICIAL** (Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY\_0906\_2004], s. f.). Para valorar la prueba pericial durante el juicio oral y público, se deben considerar aspectos como la competencia técnico-científica y moral del perito, la claridad y precisión de sus respuestas, su comportamiento al responder, el grado de aceptación de los principios científicos, técnicos o artísticos en los que se sustenta, así como los instrumentos utilizados y la coherencia global de las respuestas.

### **SUSTENTO NORMATIVO DE LA PRUEBA PERICIAL**

#### **Asuntos Civiles y Administrativos, Código General del Proceso, Ley 1569 de 2012**

**ARTÍCULO 165. MEDIOS DE PRUEBA** (Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY\_1569\_2012], s. f.). Los medios de prueba incluyen la declaración de parte, la confesión, el juramento, el testimonio de terceros, el dictamen pericial, la inspección judicial, los documentos, los indicios, los informes y cualquier otro

medio útil para formar la convicción del juez. El juez deberá practicar pruebas no contempladas en este código de acuerdo con las disposiciones que regulen medios similares o según su prudente criterio, preservando siempre los principios y garantías constitucionales.

## **PRUEBA PERICIAL**

**ARTÍCULO 226. PROCEDENCIA** (Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY\_1569\_2012], s. f.). La prueba pericial es procedente para verificar hechos que sean relevantes para el proceso y requieran conocimientos científicos, técnicos o artísticos especializados. En relación con un mismo hecho o materia, cada parte procesal solo podrá presentar un dictamen pericial. No se admitirán dictámenes periciales que traten sobre puntos de derecho, excepto lo establecido en los artículos 177 y 179 para la prueba de la ley y de la costumbre extranjera. No obstante, las partes podrán asesorarse de abogados, cuyos conceptos serán considerados por el juez como alegaciones de las partes. El perito deberá manifestar bajo juramento, implícito en la firma del dictamen, que su opinión es independiente y se basa en su convicción profesional. El dictamen debe ir acompañado de los documentos que fundamentan su contenido, así como de aquellos que acrediten la idoneidad y experiencia del perito.

Todo dictamen pericial debe ser claro, preciso, exhaustivo y detallado; en él se deben explicar los exámenes, métodos, experimentos e investigaciones realizadas, así como los fundamentos técnicos, científicos o artísticos que respaldan sus conclusiones. El dictamen, firmado por el perito, debe contener al menos las siguientes declaraciones e informaciones:

- 1.** La identificación del perito y de los participantes en la elaboración del dictamen.
- 2.** La dirección, número de teléfono, número de identificación y otros datos para facilitar la localización del perito.
- 3.** La profesión, oficio, arte o actividad especializada del perito y de los participantes en la elaboración del dictamen, adjuntando los documentos que avalen su capacidad profesional, títulos académicos y certificados de experiencia relevante.
- 4.** Una lista de publicaciones relacionadas con la materia del peritaje realizadas por el perito en los últimos diez (10) años, en caso de que existan.
- 5.** Una lista de los casos en los que el perito haya sido designado o haya participado en la elaboración de un dictamen pericial en los últimos cuatro (4) años. Esta lista debe incluir el tribunal o despacho en el que se presentaron los casos, los nombres de las partes y sus representantes legales, así como la materia del dictamen.

6. Informar si ha sido designado en procesos anteriores o en curso por la misma parte o por el mismo abogado representante de la parte, indicando el objeto del dictamen.
7. Declarar si se encuentra incurso en las causales contenidas en el artículo 50, en lo pertinente.
8. Indicar si los exámenes, métodos, experimentos e investigaciones realizados difieren de los utilizados en dictámenes periciales anteriores sobre la misma materia. En caso afirmativo, deberá justificar la razón de la variación.
9. Declarar si los exámenes, métodos, experimentos e investigaciones efectuados difieren de aquellos empleados en el ejercicio regular de su profesión u oficio. En caso afirmativo, deberá explicar la justificación de la variación.
10. Relacionar y adjuntar los documentos e información utilizados para la elaboración del dictamen".

**ARTÍCULO 232. APRECIACIÓN DEL DICTAMEN** (Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY\_1569\_2012], s. f.). ***El juez valorará el dictamen pericial de acuerdo con las reglas de la sana crítica***, tomando en consideración la solidez, claridad, exhaustividad, precisión y calidad de sus fundamentos, la idoneidad del perito, su comportamiento en la audiencia y las demás pruebas presentes en el proceso.

Atendiendo a las necesidades del trabajo actual, en este apartado se mencionan algunas de las normas aplicables a la prueba pericial dentro de algunos procesos relacionados con el derecho civil y el derecho penal. No obstante, el lector puede encontrar en múltiples textos de derecho las normas y la jurisprudencia aplicables para complementar de manera adecuada los conocimientos que requiera al respecto.



## ■ PRODUCTOS ASOCIADOS

---

Durante el desarrollo de la presente tesis, se generaron los siguientes productos asociados:

**0.** El Diseño de una Metodología para la Estimación de Velocidad en Análisis Periciales de Incidentes Viales, Mediante la Aplicación de Modelos Físicos Ajustados a los Elementos Materiales Probatorios y Evidencia Física (EMP y EF), Contribuyendo a una Mayor Justicia en las Decisiones Judiciales.

**1.** Ponencia oral en el Congreso Internacional de Física y Tecnologías Emergentes Cifte - Unal Manizales - 2021: Se presentó una ponencia oral en este congreso destacado en el campo de la física y las tecnologías emergentes. La ponencia abordó el tema de los modelos físicos en la Reconstrucción Analítica de Accidentes de Tránsito (RAAT), presentando los hallazgos y conclusiones principales de la investigación.

**2.** Artículo de tesis de grado denominado "Física Forense: Modelos Físicos de Reconstrucción Analítica de Accidentes de Tránsito para cálculo de velocidad": Como resultado de la investigación realizada, se redactó un artículo de tesis de grado que profundiza en el tema de los modelos físicos en la RAAT. Este artículo presenta una revisión exhaustiva de los diferentes modelos físicos utilizados para determinar la velocidad previa a un hecho de tránsito y fue sometido en la revista:

REVISTA CIENTÍFICA INGENIERÍA Y DESARROLLO

ISSN Electrónico: [2145-9371](#) | ISSN Impreso: [0122-3461](#)

Instituciones editoras

UNINORTE

**3.** Experiencia como Perito en RAAT: Durante el desarrollo de la investigación, he acumulado experiencia profesional como Perito en múltiples reconstrucciones analíticas de accidentes de tránsito. Esta experiencia se ha obtenido a través de la participación en casos reales, donde se ha aplicado y evaluado la utilización de diferentes modelos físicos para determinar la velocidad y otros parámetros relevantes en los hechos de tránsito. La experiencia se encuentra actualizada hasta la fecha de sustentación de la tesis, lo que garantiza una visión práctica y actualizada de la aplicación de los modelos físicos en el campo de la RAAT.

4. Actualmente a raíz de los estudios realizados soy candidato a certificación como perito en Reconstrucción Analítica de Accidentes de Tránsito del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, en la convocatoria pública para el cohorte de certificación de 2023.

5. Estos productos asociados contribuyen al avance del conocimiento en el campo de la accidentología vial y brindan a la comunidad académica, a los peritos y a los operadores judiciales herramientas y conocimientos actualizados para la reconstrucción analítica de accidentes de tránsito y la toma de decisiones judiciales basadas en evidencia científica objetiva.

## CONCLUSIONES

### **Sobre la pregunta de investigación.**

Con base en los tópicos estudiados en la presente tesis se debe responder a la pregunta de investigación formulada en los siguientes términos:

- I. Sobre la metodología propuesta en la presente investigación: se propuso e implementó una metodología para selección de modelos físicos para calcular la velocidad en pruebas periciales de accidentes de tránsito de manera precisa y confiable, la cual al emplearla en los casos resultó adecuada para el análisis y solución de los mismos. Esta metodología se debe considerar como una contribución al nuevo conocimiento en el área de accidentología vial y tiene una fuerte aplicación entre Peritos y operadores judiciales en procesos derivados de hechos de tránsito.
- II. Es esencial emplear esta metodología que integra criterios para seleccionar modelos físicos adecuados. Estos modelos al superar los criterios propuestos, deben estar en consonancia con los Elementos Materiales Probatorios y Evidencia Física (EMP y EF) presentes en el escenario del accidente. Esta elección metodológica garantiza la consideración precisa de los factores clave que influyen en la velocidad y, por ende, en el resultado de las pruebas periciales.
- III. El modelo de trabajo simple por fricción para velocidad ( $V_o = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$ ) es uno de los más importantes y empleados en la accidentología vial para determinar una variable de interés como lo es la velocidad. Esto se explica en que se deriva con facilidad de la segunda ley de Newton y es muy simple de usar ya que basta con sustituir el valor  $d_f$  con el valor medido por el primer respondiente y registrado en el croquis del IPAT, además de reemplazar el coeficiente de fricción  $\mu$  el cual se encuentra en rangos en la literatura.
- III. Alineación con la Equidad Judicial: El enfoque en el uso de modelos físicos apropiados y ajustados a la evidencia conlleva una notable mejora en la equidad de las decisiones

judiciales tomadas por los operadores judiciales en casos de accidentes de tránsito. Al seguir esta metodología, se reducen los riesgos de errores de cálculo y sesgos, permitiendo que las decisiones se basen en una comprensión sólida y objetiva de la velocidad involucrada en el accidente. Esto promueve una mayor justicia en el proceso judicial.

**IV.** Pese a que dicho modelo es muy importante y ampliamente usado, no es el único que existe para calcular la velocidad previa a la ocurrencia de un hecho de tránsito. Hay una gama completa de modelos derivados de diferentes leyes de la física, inclusive de este mismo modelo de trabajo simple por fricción para velocidad ( $V_o = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$ ) que puede ser usados. Por eso es necesario empezar a fortalecer la construcción de los modelos físicos que sean más adecuados para el hecho concreto ya que el modelo más conocido no necesariamente es el más preciso o el que puede representar de una mejor manera el hecho de tránsito.

**V.** Es posible y en la mayoría de casos necesario aplicar modelos físicos distintos del modelo de trabajo simple por fricción para velocidad ( $V_o = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$ ), esto en virtud de que las variables, parámetros, circunstancias de tiempo, modo y lugar son únicas e irrepetibles. Cada hecho de tránsito debe analizarse de manera individual y usar hasta el más mínimo detalle para construir una teoría del caso que sea lo más completa posible para construir un modelo físico acorde al siniestro estudiado.

**VI.** Es posible y en la mayoría de casos necesario aplicar modelos físicos derivados del modelo de trabajo simple por fricción para velocidad ( $V_o = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$ ). En muchas ocasiones pese a que no exista una de las variables que componen la ecuación, hay variables sobre las que sí tenemos información en el caso y que en su conjugación se hacen equivalentes a la información de la variable ausente. Si este desarrollo se hace adecuadamente, siguiendo el método científico y los criterios Daubert, se debe lograr un modelo físico ampliamente aceptado por la comunidad científica.

**VII.** Es falsa la creencia de que sin el modelo de trabajo simple por fricción para cálculo de velocidad en los términos originales ( $V_o = 3.6\sqrt{2\mu g d_f}$ ) no se pueda calcular la velocidad. Existen muchos modelos físicos distintos y también derivados del desarrollo de las variables que componen dicha ecuación.

**VIII.** Es necesario que desde la academia se proporcionen herramientas a los Peritos que se dedican a reconstruir hechos de tránsito y a los operadores judiciales, quienes usan esas experticias para tomar decisiones judiciales de alta relevancia e impacto.

- IX.** El estudio casuístico de la accidentología vial es una muy buena forma de propender por el entendimiento de la función del Perito en Física y la función aplicada del modelo físico. Por su naturaleza, se recomienda estudiar este tipo de temas desde un enfoque cualitativo y con estudio de casos.
- X.** La metodología propuesta para calcular la velocidad en pruebas periciales de accidentes de tránsito, al estar respaldada por modelos físicos apropiados y ajustados a los Elementos Materiales Probatorios y Evidencia Física (EMP y EF), representa un importante avance en la aplicación de principios físicos en contextos legales. La vinculación directa entre la física y la justicia ofrece una base científica sólida para la determinación de la velocidad en situaciones de accidentes viales, mejorando la precisión y la objetividad de las conclusiones periciales y, por ende, contribuyendo a un sistema judicial más confiable y equitativo.
- XI.** El ejercicio de caracterización de modelos físicos típicos o estudiados en los casos de estudio no puede ser taxativo a un solo tipo de hecho de tránsito, es más bien un ejercicio transversal entre varios tipos de modelos físicos.
- XII.** El punto de partida para definir un protocolo taxativo que permita seleccionar el modelo físico adecuado en cada caso es un largo camino que aquí se empezó a recorrer. Es viable tener unos presupuestos orgánicos para la selección de modelos físicos adecuados en cada caso y sin lugar a dudas estos presupuestos son el método científico y los criterios Daubert. Sin embargo, para cumplir el propósito de delimitar criterio por criterio para la selección del modelo físico para cada caso, de manera adecuada, podría requerir de un estudio de tesis de maestría o incluso estudios Doctorales para su consecución e implementación.
- XIII.** En general, el auditorio a quien se dirige la prueba pericial, en donde se plasman los modelos físicos usados en la RAAT se compone de Jueces en el marco de procesos de Responsabilidad. Los Jueces por imposición normativa deben valorar la Prueba Pericial mediante la lógica de las reglas de la Sana Crítica, por lo tanto es necesario que el Perito escriba en términos propios para poder llegar a ser fuente una cognoscitiva útil para el Juez. Así, es importante escribir en términos de la Ciencia que en nuestro caso es la Física, pero sin olvidar las reglas de la lógica y las máximas de la experiencia.
- XIV.** En este trabajo se desarrollaron modelos basados en física fundamental derivada de la mecánica. Es posible explorar modelos con física apoyada en computación y diversos modelos experimentales. La apuesta de este trabajo más que proponer algún modelo en particular es que el lector pueda servirse de él como una guía primaria.

**XV.** Las nuevas tendencias tecnológicas como los vehículos de conducción autónoma, la inteligencia artificial (IA) y las nuevas tendencias en la automatización y el control requieren que los profesionales en áreas de la física estén preparados para dar respuesta a los problemas técnico jurídicos que sean necesarios en la sociedad.

**XIII.** La mayoría de los modelos son ideales y en naturaleza teórica. El objetivo fundamental de los modelos es acercarse a la realidad. La adecuación de un modelo físico depende en gran medida de la información que existe en el caso y el probatorio y que sea viable recaudar en la visita de campo.

## **RECOMENDACIONES**

- I. Se recomienda instar a la comunidad académica a estudiar este tipo de temas ya que son la radiografía de lo que la academia Colombiana debe proporcionar a manera de soluciones a distintos actores, en este caso, por su naturaleza interdisciplinar, a los peritos y a la administración de justicia.
- II. Como base para un eventual trabajo a futuro, se recomienda estudiar modelos físicos aplicables mediante herramientas de simulación y analítica de datos con el propósito de orientar las decisiones judiciales sobre accidentalidad en Colombia.
- III. Se recomienda el incentivo al uso de tecnología de punta para los estudios futuros de Reconstrucción Analítica de Accidentes de Tránsito. El uso de software de reconstrucción 3D, simuladores, emuladores, gafas de realidad aumentada, uso de drones, fotogrametría aérea y bases de datos para el estudio de hechos de tránsito se postula actualmente como el camino a un acercamiento a la adecuación real y precisa de los modelos físicos de accidentología.

**LA CIENCIA AL SERVICIO DE LA JUSTICIA**

**Marco Aurelio Avellaneda Cespedes**

## ■ Referencias bibliográficas

---

### **Libros:**

0. Pawlus, W., Robbersmyr, K. G., & Karimi, H. R. (2011). Mathematical modeling and parameters estimation of a car crash using data-based regressive model approach. *Applied Mathematical Modelling*, 35(10), 5091-5107. ISSN 0307-904X. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.04.024>.
1. (2017). LA INVESTIGACION CUALITATIVA. nodo. Recuperado 31 de enero de 2023, de <https://nodo.ugto.mx/wp-content/uploads/2017/03/La-Investigaci%C3%B3n-Cualitativa.pdf>
2. VEHICULOS DE CARRETERA. COLISIONES. TERMINOLOGIA. (1997). Tienda Icontec. Recuperado 31 de enero de 2023, de <https://tienda.icontec.org/gp-vehiculos-de-carretera-colisiones-terminologia-ntc4189-1997.html>
3. Westreicher, G. (2022, 24 noviembre). Método científico. Economipedia.
4. Remolina C., E. E., & Completo, V. M. P. (s. f.). Topografía. <http://www.investigaciondeaccidentes.com/p/topografia-en-accidentes-de-transito.html>
5. Searle, J. A. (1983, 17 octubre). The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclists, etc., Following a Road Accident. <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/831622/>
6. Zapata, F. (2019, 16 agosto). Teorema de Steiner: explicación, aplicaciones, ejercicios. Lifeder. <https://www.lifeder.com/teorema-de-steiner/>
7. Vázquez, C., & Rojas, C. V. (2015). De la prueba científica a la prueba pericial. Marcial Pons.
8. Newton, Sir. I. (1687, 5 julio). *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Recuperado 31 de enero de 2023, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73545>

### **Páginas web:**

0. Ruiz, C., Ruiz, L., Aragón, A., & Robles, J. (2010). Error, incertidumbre y precisión en las mediciones. En *Actas del VIII Congreso Internacional de Ciencias de la Educación y del Desarrollo (CICUM)*, Universidad de Jaén, España (pp. 125-132). Recuperado de [http://coello.ujaen.es/congresos/cicum/ponencias/Cicum2010.2.02\\_Ruiz\\_y\\_otros\\_Error\\_incertidumbre\\_precision.pdf](http://coello.ujaen.es/congresos/cicum/ponencias/Cicum2010.2.02_Ruiz_y_otros_Error_incertidumbre_precision.pdf)
1. redaccionportalweb. (2019, 2 octubre). La movilidad también está en tus manos: cada 5,6 minutos ocurre un accidente. Bogota.gov.co. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/analisis-de-accidentes-viales-en-bogota-en-2019>

- 2.** PRINCIPIOS FÍSICOS PARA CALCULAR LA VELOCIDAD EN UN ACCIDENTE DE TRÁFICO. (2020, 19 noviembre). Reconstrucción accidentes de tráfico. <https://reconstruccionaccidentestrafico.com/principios-fisicos-para-calcular-la-velocidad-en-un-accidente-de-trafico/>
- 3.** ¿Qué es la velocidad? (artículo). (s. f.). Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/physics/one-dimensional-motion/displacement-velocity-time/a/what-is-velocity>
- 4.** ¿Qué es la aceleración? (artículo). (s. f.). Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/physics/one-dimensional-motion/acceleration-tutorial/a/acceleration-article>
- 5.** La fuerza de Fricción – Física Linda, el lugar para aprender física! (s. f.). <https://www.fisicalinda.com/courses/capitulo-3-leyes-de-newton/lessons/la-fuerza-de-friccion/>
- 7.** Libretexts. (2022, 2 noviembre). 2.7: Uso de otras coordenadas ortogonales. LibreTexts Español. [https://espanol.libretexts.org/Fisica/Electricidad\\_y\\_Magnetismo/Posgrado\\_Esencial\\_F%C3%ADsica\\_-\\_Electrodin%C3%A1mica\\_Cl%C3%A1sica\\_\(Likharev\)/02:\\_Cargas\\_y\\_Conductores/2.07:\\_Uso\\_de\\_otras\\_coordenadas\\_ortogonales](https://espanol.libretexts.org/Fisica/Electricidad_y_Magnetismo/Posgrado_Esencial_F%C3%ADsica_-_Electrodin%C3%A1mica_Cl%C3%A1sica_(Likharev)/02:_Cargas_y_Conductores/2.07:_Uso_de_otras_coordenadas_ortogonales)
- 8.** National Geographic España. (2023, 31 enero). National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/>
- 9.** Velocidad. (s. f.). Fisicalab. <https://www.fisicalab.com/apartado/velocidad>
- 10.** Calculo de velocidad, huellas de derrape. Recuperado 31 de enero de 2023, de <https://www.studocu.com/co/document/fundacion-universitaria-compensar/ingenieria-yacimiento/calculo-de-velocidad-con-huella-de-derrape/22986503>
- 11.** Zapata, F. (2020, 1 mayo). Fricción dinámica o cinética: coeficiente, ejemplos, ejercicios. Lifeder. <https://www.lifeder.com/friccion-dinamica/>
- 12.** Modelos para accidentología y reconstrucción de accidente de tránsito (s. f.-b). [https://ceirat.com/wp-content/uploads/2017/06/Resumen\\_libro\\_Modelos\\_fisicos\\_para\\_accidentologia\\_vial.pdf](https://ceirat.com/wp-content/uploads/2017/06/Resumen_libro_Modelos_fisicos_para_accidentologia_vial.pdf)
- 13.** Resumen libro modelos físicos para accidentología vial. (2018, 9 febrero). Issuu. [https://issuu.com/mariomedinaalvarez/docs/resumen\\_libro\\_modelos\\_fisicos\\_para\\_](https://issuu.com/mariomedinaalvarez/docs/resumen_libro_modelos_fisicos_para_)
- 14.** Fricción - Física universitaria volumen 1 | OpenStax. (s. f.). <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-1/pages/6-2-friccion>
- 15.** La fuerza de fricción al mantener la velocidad constante (video). (s. f.-b). [Vídeo]. Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/physics/forces-newtons-laws/inclined-planes-friction/v/force-of-friction-keeping-velocity-constant>
- 16.** Ecuaciones y Gráficas del Movimiento Armónico Simple. (s. f.). Fisicalab. <https://www.fisicalab.com/apartado/ecuaciones-graficas-mas>

- 17.** Accidentes, P. de. (2019, 11 enero). Calcular velocidad en una curva según su radio: podemos hacerlo. Peritos de accidentes. <https://www.peritosdeaccidentes.com/problemas-lag-google-pixel-2-tras-la-actualizacion-prueba/>
- 18.** Eduardo Rm, C. (s. f.). Energía en movimiento Roto-Traslacional. Scribd. <https://es.scribd.com/document/383452667/Energia-en-movimiento-Roto-Traslacional>
- 19.** Píldoras de reconstrucción de accidentes de tráfico I: Velocidad de atropello en función de la proyección del peatón. (2020, 30 julio). Reconstrucción accidentes de tráfico. <https://reconstruccionaccidentestrafico.com/pildoras-de-reconstruccion-de-accidentes-de-traffic-velocidad-de-atropello-en-funcion-de-la-proyeccion-del-peaton/>
- 20.** Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY\_0906\_2004]. (s. f.). [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0906\\_2004.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0906_2004.html)
- 21.** Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY\_1569\_2012]. (s. f.). [http://secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1569\\_2012.html](http://secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1569_2012.html)
- 22.** Ciftt. (s. f.). <https://ciftt.com/>





