



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 26 de Julio del 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Karol Michelle Rivera Galindo, con C.C. No. 1.075.289.503.

Autor de la tesis y/o trabajo de grado: Karol Michelle Rivera Galindo titulado **CÁLCULO DE VELOCIDAD EN RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO POR MEDIO DE VIDEOS DE CÁMARA DE SEGURIDAD**, presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de Física.

Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

KAROL MICHELLE RIVERA GALINDO

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: CÁLCULO DE VELOCIDAD EN RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO POR MEDIO DE VIDEOS DE CÁMARA DE SEGURIDAD

AUTOR O AUTORES:

| Primer y Segundo Apellido | Primer y Segundo Nombre |
|---------------------------|-------------------------|
| RIVERA GALINDO | KAROL MICHELLE |

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

| Primer y Segundo Apellido | Primer y Segundo Nombre |
|---------------------------|-------------------------|
| CRISTANCHO FIERRO | JOSÉ MIGUEL |

ASESOR (ES):

| Primer y Segundo Apellido | Primer y Segundo Nombre |
|---------------------------|-------------------------|
| BARREIRO ROCHA | ELKIN |
| CUELLAR SANTANILLA | CARLOS EDUARDO |

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: FÍSICA

FACULTAD: CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA O POSGRADO: FÍSICA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2024

NÚMERO DE PÁGINAS: 56

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 3

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas
o Cuadros

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

| Español | Inglés | Español | Inglés |
|-------------------|----------------|--------------|----------|
| 1. Accidentes | accident | 6. Tiempo | Time |
| 2. Vehículos | Vehicles | 7. Fotograma | frame |
| 3. Reconstrucción | Reconstruction | 8. Pixceles | Pixceles |
| 4. Cinemática | Kinematics | 9. Metadatos | Metadata |
| 5. Monte Carlo | Monte Carlo | 10. Video | Video |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El trabajo se centra en el uso de evidencia digital, especialmente en videos, para analizar casos de accidentes de tránsito con el fin de determinar la velocidad de los vehículos involucrados. Se justifica la importancia de esta investigación debido a la necesidad de contar con herramientas tecnológicas precisas para la reconstrucción de accidentes de tránsito y determinar las variables dinámicas de un accidente. Se presentan dos casos de accidentes de tránsito de la ciudad de Pitalito, Huila, analizados mediante conteo manual de fotogramas y software de seguimiento. Se calculan las velocidades de los vehículos y se determina la velocidad media de un peatón antes de ser atropellado. Los resultados muestran velocidades que inciden en la seguridad vial y proporcionan información valiosa para la prevención de accidentes de tránsito, como para aportar

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



otra visión del hecho con el fin de dar apoyo a las entidades judiciales para una decisión más ajustada a la realidad del hecho.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The work focuses on the use of digital evidence, especially videos, to analyze traffic accident cases in order to determine the speed of the vehicles involved. The importance of this research is justified by the need for precise technological tools for the reconstruction of traffic accidents and to determine the dynamic variables of an accident. Two traffic accident cases from the city of Pitalito, Huila, are presented, analyzed through manual frame counting and tracking software. The speeds of the vehicles are calculated, and the average speed of a pedestrian before being hit is determined. The results show speeds that impact road safety and provide valuable information for the prevention of traffic accidents, as well as offering another perspective on the event to support judicial entities in making decisions that are more aligned with the reality of the incident.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: *Gonzalo Peñaranda*

Firma: *GP*

Nombre Jurado: *Carlos Eduardo Céder Santanilla*

Firma: *CES*

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE FÍSICA



CÁLCULO DE VELOCIDAD EN RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO POR MEDIO DE VIDEOS DE CÁMARA DE SEGURIDAD

Trabajo de Grado para optar al título de Físico

Desarrollado por:

Karol Michelle Rivera Galindo

Código: 20142130498

Firma: _____

Director: PhD. José Miguel Cristancho Fierro

Firma: _____

Área: Accidentología

Neiva-Huila
12 de Julio de 2024

DEDICATORIA

Con el corazón a todas las personas que me acompañaron durante este proceso estudiantil, en memoria de aquellos que no me acompañan.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a mis padres por la paciencia, motivación y apoyo durante todo el proceso estudiantil.

A todas las personas que me orientaron en tan bonito proceso de formación especialmente al profesor José Miguel Cristancho por haber sido incondicional y haberme acogido en tan bella profesión, a los profesores Carlos Cuellar y Elkin Barreiro por su acogida y participación en este trabajo.

A mis amigos, Mauricio Oviedo, Carlos Guzmán, Sergio Trujillo, Lucia Correa, Felipe Tovar, José Betancourth, por sus palabras, apoyo y motivación en tiempos de crisis.

RESUMEN

El trabajo se centra en el uso de evidencia digital, especialmente en videos, para analizar casos de accidentes de tránsito con el fin de determinar la velocidad de los vehículos involucrados. Se justifica la importancia de esta investigación debido a la necesidad de contar con herramientas tecnológicas precisas para la reconstrucción de accidentes de tránsito y determinar las variables dinámicas de un accidente. Se presentan dos casos de accidentes de tránsito de la ciudad de Pitalito, Huila, analizados mediante conteo manual de fotogramas y software de seguimiento. Se calculan las velocidades de los vehículos y se determina la velocidad media de un peatón antes de ser atropellado. Los resultados muestran velocidades que inciden en la seguridad vial y proporcionan información valiosa para la prevención de accidentes de tránsito, como para aportar otra visión del hecho con el fin de dar apoyo a las entidades judiciales para una decisión más ajustada a la realidad del hecho.

INDICE GENERAL

Contenido

| | |
|--|----|
| CÁLCULO DE VELOCIDAD EN RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO POR MEDIO DE VIDEOS DE CÁMARA DE SEGURIDAD | 1 |
| INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| OBJETIVOS..... | 12 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 12 |
| OBJETIVO ESPECÍFICO | 12 |
| JUSTIFICACIÓN | 13 |
| DEFINICIONES Y CONCEPTOS USADOS EN EL TRABAJO..... | 16 |
| CINEMÁTICA..... | 16 |
| Desaceleración en Pendiente Positiva (Ascendente):..... | 17 |
| Desaceleración en Pendiente Negativa (Descendente):..... | 18 |
| Implicaciones de la Reducción de la Distancia entre Ejes:..... | 19 |
| Consideraciones Técnicas: | 20 |
| DEFINICIONES Y CONCEPTOS USADOS EN EL TRABAJO..... | 20 |
| VIDEOS | 20 |
| FOTOGRAMA..... | 21 |
| PIXELES..... | 23 |
| MediaInfo:..... | 25 |
| AmperFive:..... | 25 |
| Tracker: | 26 |
| PotPlayer:..... | 26 |
| TRACKER..... | 26 |
| Técnica de Monte Carlo | 28 |
| LEY 769 DEL 2002 | 29 |
| NORMAS PARA ESTACIONAR..... | 30 |
| LEY 1811 DEL 2015 | 31 |
| ANALISIS DE CASOS..... | 32 |
| Caso 1..... | 32 |
| Caso 1 Presentado por la Contraparte..... | 36 |

| | |
|---|----|
| Correcciones del caso 1 de la Contraparte..... | 43 |
| Caso 2..... | 46 |
| CONCLUSIONES..... | 54 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 55 |

ÍNDICE DE IMAGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1Intercesión del lugar de los hechos: Carrera 4 con calle 10 Pitalito Huila..... | 32 |
| Imagen 2 Desplazamiento de la motocicleta en fotogramas. | 33 |
| Imagen 3 Desplazamiento del vehículo. | 35 |
| Imagen 4 software. | 37 |
| Imagen 5 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoUnoAccidenteTransito (2).mp4)..... | 38 |
| Imagen 6 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoTresAccidenteTransito (2).mp4)..... | 39 |
| Imagen 7 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoTresAccidenteTransito (2).mp4)..... | 40 |
| Imagen 8 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoDosAccidenteTransito (2).mp4) | 41 |
| Imagen 9 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoDosAccidenteTransito (2).mp4) | 42 |
| Imagen 10 Metadatos caso 1..... | 44 |
| Imagen 11 Muestreo de Velocidad de audio..... | 45 |
| Imagen 12 intercesión de los hechos..... | 47 |
| Imagen 13 Desplazamiento del vehículo. | 47 |
| Imagen 14 Desplazamiento del vehículo en fotograma. | 48 |
| Imagen 15 Medida de la distancia que recorre el automóvil en los fotogramas seleccionados. 48 | |
| Imagen 16 Desplazamiento del peatón. | 50 |
| Imagen 17 Croquis del informe policial del Accidente de Tránsito. | 51 |

ÍNDICE DE GRAFICAS

| | |
|--|----|
| Grafica 1 velocidad de motocicleta..... | 34 |
| Grafica 2 Velocidad del Vehículo. | 36 |
| Grafica 3 Velocidad de automóvil..... | 49 |
| Grafica 4 Velocidad del peatón..... | 50 |
| Grafica 5 Velocidad del automóvil calculado con huella de frenado..... | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Datos utilizados en el planteamiento de la ecuación para determinar velocidades..... | 37 |
| Tabla 2 Datos utilizados en el planteamiento de la ecuación para determinar velocidades..... | 41 |
| Tabla 3 Características velocidad del sonido y velocidad de la luz..... | 46 |

INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, la tecnología se ha convertido en una aliada indispensable para la recolección de evidencia en diversos contextos, y los accidentes de tránsito no son la excepción. La disponibilidad de dispositivos como cámaras de seguridad, teléfonos celulares y cámaras digitales ha transformado la manera en que se documentan y analizan estos sucesos, proporcionando una base sólida para la investigación forense y la reconstrucción de eventos.

En este sentido, el presente trabajo se enfoca en la utilización de evidencia digital, especialmente videos obtenidos de diferentes fuentes, para abordar casos de accidentes de tránsito a nivel nacional. La justificación de esta investigación radica en la importancia crítica de contar con herramientas tecnológicas precisas y métodos efectivos para determinar las circunstancias de los accidentes de tránsito, incluyendo la velocidad de los vehículos involucrados.

A nivel mundial, los accidentes de tránsito representan una preocupación de salud pública, con cifras alarmantes de mortalidad y lesiones. La Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta una cantidad significativa de muertes cada año, lo que subraya la urgencia de abordar este problema desde una perspectiva multidisciplinaria y utilizando todos los recursos disponibles.

En el ámbito nacional, las cifras de accidentes de tránsito también son motivo de preocupación, con un aumento en el número de víctimas en diversas ciudades y regiones. Es fundamental implementar medidas preventivas y correctivas basadas en evidencia para reducir la incidencia y gravedad de estos eventos, protegiendo así la vida y seguridad de los ciudadanos.

Por lo tanto, este trabajo se propone analizar dos casos de accidentes de tránsito a nivel nacional, utilizando evidencia digital en forma de videos para determinar la velocidad de los vehículos involucrados. Se aplicarán métodos teóricos de solución y técnicas de análisis forense para evaluar la incertidumbre en los cálculos y señalar posibles errores en la investigación.

Al final, se espera contribuir al desarrollo de metodologías efectivas para la investigación de accidentes de tránsito, promoviendo la utilización adecuada de evidencia digital y mejorando la

precisión en la determinación de las circunstancias de los sucesos. Esto, a su vez, puede llevar a la implementación de medidas preventivas más efectivas y a la reducción de la incidencia de accidentes de tránsito, salvaguardando así la vida y bienestar de la población.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Calcular la velocidad de vehículos mediante el uso de videos, grabados de los hechos de accidentes de tránsito.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analizar el tiempo de las imágenes presentadas en medios tecnológicos.
- Mostrar y resaltar los errores presentados en dictámenes periciales que incluyen en la variable tiempo.
- Demostrar las dificultades y errores en el cálculo de velocidad hallada por medio de videos digitales.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente contamos con medios tecnológicos como lo son las cámaras de seguridad, celulares, tables, cámaras digitales, cámaras de video entre otros, para la obtención de imágenes como evidencia digitales en lo sucedido en accidentes de tránsito. Estas herramientas ayudan en la reconstrucción de accidente de tránsito para el cálculo de velocidad puesto que en ocasiones no se puede adquirir la información necesaria en el sitio del accidente por la ausencia de evidencias (huellas, rastros de fricción o material biológico) para el debido análisis de los casos y solo se presenta videos como prueba ante los medios legales. El ministerio de transporte [1] aprueba los videos como pruebas en caso de accidentes, adjuntados a las evidencias de los siniestros.

De acuerdo a la organización mundial de la salud [2], para 2023, 1.19 millones de personas fallecieron por esta causa, lo que significa que en los accidentes de tránsito mueren dos personas cada minuto, es decir, se producen más de 3.200 defunciones al día. Estos accidentes siguen siendo la principal causa de muerte de los niños y jóvenes de 5 a 29 años. Constituyendo una crisis sanitaria mundial que pone en riesgo la vida de peatones, ciclistas y otros usuarios vulnerables de la vía pública.

El informe revela que a nivel mundial el 28% de las defunciones por accidentes de tránsito se produjeron en la Región de Asia Sudoriental, el 25% en la Región del Pacífico Occidental, el 19% en la Región de África, el 12% en la Región de las Américas, el 11% en la Región del Mediterráneo Oriental y el 5% en la Región de Europa. El 53% de las víctimas mortales de accidentes de tránsito

son usuarios vulnerables de la vía pública, con estos porcentajes: peatones (23%); conductores de vehículos de dos y tres ruedas, como motocicletas (21%); ciclistas (6%); y usuarios de dispositivos de micromovilidad, como los patinetes electrónicos (3%). Las víctimas mortales entre los ocupantes de automóviles y otros vehículos ligeros de cuatro ruedas descendieron ligeramente y ahora representan el 30% del total de acuerdo con la OMS (2024).

El informe revela una alarmante falta de avances en materia de legislación y normas de seguridad. Solo seis países disponen de leyes que se ajustan a las prácticas óptimas de la Organización Mundial de la Salud OMS [3], para todos los factores de riesgo (exceso de velocidad, conducción en estado de embriaguez y uso del casco de motociclista, el cinturón de seguridad y los sistemas de retención infantil), mientras que 140 países (dos tercios de los estados miembros de las Naciones Unidas) aplican leyes que cumplen esas prácticas para al menos uno de esos factores de riesgo.

La Agencia Nacional de Seguridad Vial de Colombia [4], a través del Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV) identificó en Colombia, diez ciudades capitales en las que, en lo corrido del primer semestre de 2023, presentó un aumento significativo de fallecimientos a causa de siniestros viales. Las ciudades que más incrementaron fallecidos entre enero y junio de 2023 fueron: Bogotá, D.C., Cali, Sincelejo, Santa Marta, Yopal, Neiva, Villavicencio, Medellín, Montería y Pereira. Entre enero y junio de 2023, en Colombia se registraron de manera preliminar 4.029 personas fallecidas, lo que representa un aumento del 6,5% frente a 2022. En el primer semestre de 2023 fallecieron 267 menores de edad, de los cuales 67 (25,1%) eran menores de 12 años.

Para la región del Huila [4], en el año 2023 se presentaron 29 accidentes de tránsito de los cuales 26 personas resultaron lesionadas y 10 fallecidos; destacando el municipio de Hobo como la zona con mayor índice de accidentalidad para este año, teniendo en cuenta que esta es la ruta 45 de la vía nacional, presentando un alto flujo vehicular y cabe destacar que el día sábado es el día que ocurren más accidentes de tránsito.

Para este trabajo se analizarán dos casos de accidentes que se resolverán por medio de evidencias digitales (videos de cámaras de seguridad y celulares). Se hallarán las velocidades a las que se desplazaban, demostrando la incertidumbre en cada evidencia usada del accidente respectivo y se demostrarán en los dos casos los errores cometidos.

DEFINICIONES Y CONCEPTOS USADOS EN EL TRABAJO

CINEMÁTICA

La palabra cinemática proviene del griego “kinema”, que significa movimiento [6]. La cinética comprende una rama de la física que estudia el movimiento de los cuerpos en el espacio, independientemente de las causas que lo producen. Por lo tanto se encarga del estudio de la trayectoria en función del tiempo.

Las fórmulas cinemáticas son un conjunto que relaciona las cinco variables cinemáticas listadas a continuación:

- Δx : Desplazamiento
- t : Intervalo de tiempo
- V_0 : Velocidad inicial
- V : Velocidad final
- α : aceleración

Si conocemos tres de estas cinco variables cinemáticas (Δx , t , V_0 , V , α) para un objeto bajo **aceleración constante**, podemos usar una fórmula cinemática; para encontrar una de las variables desconocidas. Las **fórmulas cinemáticas** suelen escribirse como las siguientes cuatro

ecuaciones:

- $V = V_0 + \alpha t$
- $\Delta x = \left(\frac{V+V_0}{2} \right) * t$

- $\Delta x = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$
- $V^2 = V_0^2 + 2 a \Delta x$

En esta línea de investigación hay varios modelos matemáticos para hallar la velocidad los cuales se aplican según las condiciones en la que se desarrolló el evento.

Desaceleración en Pendiente Positiva (Ascendente):

- Una pendiente positiva implica que el camino se eleva con respecto a la horizontal.
- En una pendiente ascendente, la gravedad trabaja en contra del movimiento del vehículo, lo que facilita la desaceleración.

Se identifican los efectos que componen la desaceleración:

- Fuerza de Gravedad: La componente de la fuerza de gravedad actúa en dirección opuesta al movimiento, aumentando la resistencia al avance y facilitando la desaceleración.
- Desaceleración Natural: Debido a la pendiente, un vehículo desacelerará de manera natural incluso sin aplicar los frenos, ya que la energía cinética se convierte en energía potencial.
- Menor Esfuerzo de Frenado: Menos fuerza de frenado es necesaria para desacelerar el vehículo en una pendiente positiva, dado que la gravedad ya está contribuyendo a la desaceleración.

Formula de desaceleración:

La desaceleración (α) en una pendiente positiva puede calcularse modificando la ecuación de movimiento para incluir el ángulo de la pendiente (θ):

$$\alpha = g \sin (\theta) + \frac{F}{m}$$

Donde g es la aceleración debida a la gravedad, F es la fuerza de fricción, y m es la masa del vehículo.

Desaceleración en Pendiente Negativa (Descendente):

- Una pendiente negativa implica que el camino desciende con respecto a la horizontal.
- En una pendiente descendente, la gravedad trabaja a favor del movimiento del vehículo, lo que dificulta la desaceleración.

Se identifican los efectos que componen la desaceleración:

- Fuerza de Gravedad: La componente de la fuerza de gravedad actúa en la misma dirección que el movimiento, aumentando la velocidad del vehículo si no se aplican frenos.
- Mayor Esfuerzo de Frenado: Se requiere una mayor fuerza de frenado para contrarrestar la aceleración adicional debida a la gravedad y lograr la desaceleración.
- Riesgo de Sobrecalentamiento de Frenos: En pendientes largas y pronunciadas, el uso continuo de los frenos puede causar sobrecalentamiento y pérdida de eficiencia.

La desaceleración (α) en una pendiente negativa se calcula modificando la ecuación de movimiento para incluir el ángulo de la pendiente (θ):

$$\alpha = -g \sin(\theta) + \frac{F}{m}$$

Donde g es la aceleración debida a la gravedad, F es la fuerza de fricción, y m es la masa del vehículo.

Distancia entre ejes

La reducción de la distancia entre ejes, también conocida como la reducción de la batalla o distancia entre los ejes delantero y trasero de un vehículo, tiene varias implicaciones en la dinámica, el manejo y la estabilidad del vehículo. Aquí se detallan los conceptos clave y las consecuencias de esta modificación.

- Distancia entre Ejes (Batalla): Es la distancia medida entre el centro del eje delantero y el centro del eje trasero de un vehículo. Influye significativamente en el comportamiento dinámico del vehículo, incluyendo la estabilidad, maniobrabilidad y confort de marcha.

- Reducción de la Distancia entre Ejes: Implica acortar la longitud de la batalla, lo cual puede ser realizado en el diseño del vehículo o mediante modificaciones estructurales.

Implicaciones de la Reducción de la Distancia entre Ejes:

Ventajas:

- Mejor Maniobrabilidad: Un vehículo con una distancia entre ejes más corta tiende a tener un radio de giro menor, lo que facilita las maniobras en espacios reducidos y mejora la capacidad de tomar curvas cerradas.

Es especialmente útil en vehículos diseñados para entornos urbanos donde la capacidad de maniobra es crucial.

- Mayor Agilidad: Los vehículos con una batalla más corta suelen ser más ágiles y responden mejor a las acciones del volante, lo cual puede ser beneficioso en situaciones de conducción deportiva o de emergencia.

Desventajas:

- Reducción de la Estabilidad a Alta Velocidad: La estabilidad direccional puede verse comprometida, ya que los vehículos con una distancia entre ejes más corta tienden a ser menos estables a altas velocidades.

Esto puede aumentar la sensibilidad a los movimientos de la dirección y a las perturbaciones externas, como ráfagas de viento.

- Confort de Marcha: Una batalla más corta puede reducir el confort de marcha, ya que el vehículo puede tener una respuesta más brusca a las irregularidades del camino.

Esto se debe a que las ruedas delanteras y traseras se encuentran más cerca, transmitiendo más directamente las vibraciones y baches a los ocupantes.

- Capacidad de Carga: La reducción de la distancia entre ejes puede limitar la capacidad de carga y el espacio interior, lo cual puede no ser deseable para vehículos diseñados para transportar pasajeros o carga en grandes volúmenes.

Consideraciones Técnicas:

- Centro de Gravedad: La reducción de la distancia entre ejes puede alterar la distribución del peso y el centro de gravedad del vehículo, lo que a su vez afecta la dinámica de manejo.
- Suspensión y Dirección: Las configuraciones de suspensión y dirección pueden necesitar ajustes para compensar los cambios en la dinámica del vehículo debido a la modificación de la distancia entre ejes.

DEFINICIONES Y CONCEPTOS USADOS EN EL TRABAJO

Con el fin de unificar y tratar con las mismas palabras se establecen las definiciones de algunos conceptos usados en análisis de datos.

VIDEOS

Un video es una secuencia de imágenes en movimiento que se muestra a través de un medio visual, como una pantalla de televisión, una pantalla de computadora o un proyector. Está compuesto por una serie de cuadros individuales llamados fotogramas, que se reproducen en rápida sucesión para crear la ilusión de movimiento continuo [7].

Hay diferentes formatos de video, como AVI, MP4, MOV y muchos otros, que determinan como se almacenan y comprimen los datos de video. Además, la calidad del video puede variar en términos de resolución, tasa de fotogramas, compresión y otros aspectos técnicos.

Los videos se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde el entretenimiento, como películas, programas de televisión y videos en línea, hasta fines educativos, presentaciones empresariales, tutoriales y más. La evolución de la tecnología ha llevado a mejoras significativas en la calidad de video, la accesibilidad y la facilidad de producción, lo que ha contribuido a su creciente popularidad en diversos contextos.

FOTOGRAMA

Un fotograma es una imagen individual en una secuencia de imágenes que, cuando se reproducen en rápida sucesión, crean la ilusión de movimiento. En el contexto de la cinematografía, la animación y la grabación de video, un fotograma es una única imagen estática (FOTO) que forma parte de una secuencia de fotogramas.

La velocidad a la que se presentan estos fotogramas determina la fluidez del movimiento percibido. En el cine, por ejemplo, se utiliza típicamente 24 fotogramas por segundo (fps) para crear una experiencia visual continua. Cuando estos fotogramas se reproducen rápidamente, el ojo humano percibe la transición suave de una imagen a otra, creando así la ilusión de movimiento.

La calidad de un video o animación también puede describirse en términos de resolución, que se refiere al número de pixeles en cada fotograma, y la tasa de fotogramas, que es la cantidad de

fotogramas por segundo. Cuanto mayor sea la resolución y la tasa de fotogramas, generalmente mejor será la calidad visual y la suavidad del movimiento en el video resultante [8].

Para televisión y transmisión en línea tenemos que varía según la región. En Norteamérica y partes de Asia, la mayoría de las transmisiones de televisión son a 30 fps (30 fotogramas por segundo), mientras que en Europa y otras regiones, el estándar es de 25 fps. Sin embargo, con la llegada de la televisión de alta definición (HD) y Ultra Alta Definición (UHD), se han introducido estándares más altos como 60 fps.

La grabación de video digital puede variar en términos de fotogramas por segundo según la configuración de la cámara. Por ejemplo, muchas cámaras de video digital ofrecen opciones de grabación a 24 fps, 30 fps, 60 fps e incluso 120 fps o más para capturar imágenes con mayor fluidez y calidad.

Teléfonos celulares y dispositivos portátiles, y otros dispositivos portátiles generalmente graban video a 30 fps o 60 fps en configuraciones estándar. Algunos modelos más avanzados pueden ofrecer opciones de grabación a velocidades más altas para capturar videos de cámara lenta o efectos especiales [9]. La cámara Lenta se logra cuando se reproducen los videos capturados a altas velocidades a una velocidad Normal (30 FPS).

Es importante tener en cuenta que estos valores son estándares generales y pueden variar según la configuración específica de la cámara, el equipo de grabación o las preferencias del usuario. Además, la reproducción de videos con diferentes velocidades de fotogramas en diferentes medios puede requerir conversiones y ajustes para garantizar una reproducción adecuada.

PIXELES

Los píxeles son los elementos más pequeños que componen una imagen digital. La palabra “pixcel” proviene de la combinación de las palabras “picture” (imagen) y “element” (elemento). Cada pixcel representa un punto individual en una cuadricula, y su combinación crea la imagen completa. Los píxeles son una unidad básica de información visual en pantallas, monitores y otros dispositivos digitales [10].

Cada píxel tiene un color asignado y contribuye a la formación de la imagen visual. La resolución de una imagen se expresa en términos de la cantidad total de píxeles que la componen. Por ejemplo, una resolución de 1920X1080 significa que hay 1920 píxeles a lo largo del eje horizontal y 1080 píxeles a lo largo del eje vertical, dando como resultado un total de 2.073.600 píxeles.

La calidad visual de una imagen o pantalla a menudo se asocia con la densidad de píxeles (píxeles por pulgada o PPI) y la resolución. A medida que aumenta la cantidad de píxeles en una pantalla o imagen, generalmente se mejora la calidad y la definición visual.

En el contexto de la fotografía digital, la resolución de una imagen también afecta su tamaño de archivo. Imágenes con una mayor resolución y, por lo tanto, más píxeles, tienden a ocupar más espacio de almacenamiento.

Entre otros datos que debemos tener en cuenta para el desarrollo de los casos es la teoría de los metadatos que son datos que proporcionan información sobre otros datos. En otras palabras, los metadatos son descripciones que ofrecen contexto y detalle sobre la naturaleza, origen, calidad y otros aspectos de los datos. La teoría de metadatos busca comprender, organizar, definir y gestionar estos descriptores para facilitar la interpretación y el uso efectivo de la información.

1. Definición de Metadatos:

- Descriptivos: proporcionan información sobre el contenido, título, autor, fecha, etc.
- Administrativos: detalles sobre la creación, gestión y derechos de acceso a los datos.
- Estructurales: describen la organización de datos, como la relación entre diferentes elementos.

2. Jerarquía y Relaciones:

- Los metadatos a menudo tienen una estructura jerárquica que refleja la organización de los datos subyacentes. También establece relaciones entre diferentes conjuntos de datos.

3. Interoperabilidad:

- La teoría de metadatos se preocupa por lograr la interoperabilidad, es decir, la capacidad de diferentes sistemas para intercambiar y utilizar metadatos de manera efectiva.

4. Estándares:

- Se han desarrollado estándares para la creación y gestión de metadatos, como Dublin core para metadatos descriptivos, METS para metadatos estructurales, y otros estándares específicos para diversas disciplinas y aplicaciones.

5. Uso de sistemas de la información:

- La teoría de metadatos también se aplica al diseño y desarrollo de sistemas de información, bibliotecas digitales, bases de datos y otros entornos donde la integración efectiva de la información es crucial.

6. Gestión del ciclo de vida:

- Incluye aspectos como la creación, mantenimiento, uso, preservación, y eventual eliminación de los metadatos a lo largo del ciclo de vida de los datos.

A continuación se mencionarán los programas los cuales ayudan a la reconstrucción y hallar datos específicos que se requieran, cada uno de estos programas tiene aplicaciones específicas y pueden ser herramientas valiosas en el análisis y manejo de archivos multimedia, especialmente en contextos como la reconstrucción de accidentes de tráfico y el análisis de videos.

Aquí damos una descripción de la función de los programas MediaInfo, AmperFive, Tracker y PotPlayer:

MediaInfo:

- **Función:** MediaInfo es una herramienta de software gratuita que proporciona información técnica sobre archivos de video y audio. Permite a los usuarios obtener detalles como el formato del archivo, la tasa de bits, los códecs utilizados, la duración, la tasa de fotogramas (FPS), la resolución, el idioma de las pistas de audio, y más.
- **Aplicación:** Es útil para analizar los metadatos de los archivos multimedia y verificar las especificaciones técnicas antes de la reproducción, edición o procesamiento adicional [11].

AmperFive:

- **Función:** AmperFive es una aplicación de software especializada en la reconstrucción y análisis de accidentes de tráfico. Utiliza datos de diversos

sensores, como cámaras, acelerómetros y sistemas GPS, para recrear y analizar eventos de colisión.

- Aplicación: Es utilizada por investigadores de accidentes y analistas forenses para determinar las causas de los accidentes, calcular velocidades, trayectorias, y evaluar el impacto de diferentes variables en el accidente [12]. También se usa para definir rostros y número de placas.

Tracker:

- Función: Tracker es un software de análisis de video utilizado principalmente en el ámbito educativo y de investigación para el análisis de movimiento. Permite a los usuarios rastrear y analizar el movimiento de objetos en videos, proporcionando datos como la posición, velocidad y aceleración.
- Aplicación: Es ampliamente utilizado en física y biomecánica para estudiar el movimiento de objetos y organismos, permitiendo a los investigadores y estudiantes realizar análisis detallados basados en videos [13].

PotPlayer:

- Función: PotPlayer es un reproductor multimedia gratuito y versátil para Windows, conocido por su amplia compatibilidad con diferentes formatos de archivos de video y audio, su rendimiento eficiente y su variedad de funciones avanzadas.
- Aplicación: Se utiliza para la reproducción de archivos multimedia con soporte para subtítulos, múltiples códecs, y características adicionales como la captura de pantalla, ajustes de velocidad de reproducción, y la capacidad de reproducir videos de alta definición [14].

TRACKER

Para calcular la velocidad mediante un “tracker” (rasteador), generalmente se refiere a utilizar un software o aplicación que realiza un seguimiento de un objeto en movimiento en un video y proporciona información sobre su posición en diferentes fotogramas. Aquí hay un proceso general para calcular la velocidad utilizando un tracker:

- Elige un software de Tracking: utiliza un software específico para el seguimiento de objetivos en movimiento. Algunas opciones populares incluyen Tracker, OpenCV (con Python), Adobe After Effects, o incluso algunas funciones integradas en software de edición de video como Adobe Premiere Pro.
- Carga el video: importa el video en el software de tracking. Elige el video que contiene el objeto en movimiento que deseas rastrear.
- Selecciona el objeto: selecciona el objeto que deseas rastrear en el primer fotograma del video. Esto implica definir una región de interés alrededor del objeto.
- Inicia el Tracking: el software utilizará algoritmos para seguir el objeto a lo largo de los fotogramas sucesivos.
- Registra la posición del objeto: el tracking registrará la posición del objeto en cada fotograma. Puede obtener información sobre la posición en términos de píxeles o coordenadas.
- Calcula la distancia recorrida: utiliza la información de posición registrada para calcular la distancia que el objeto ha recorrido durante un periodo de tiempo específico.
- Calcula la velocidad: la velocidad se calcula dividiendo la distancia recorrida por el tiempo transcurrido. La fórmula básica de velocidad es:
$$\text{Velocidad} = \text{Distancia} / \text{Tiempo}$$
- Calcula el tiempo transcurrido: utiliza la información de la tasa de fotogramas del video para calcular el tiempo transcurrido. Por ejemplo si la tasa de fotogramas es de 30fps y el coche se movió durante 60 fotogramas

- **Verificar unidades:** las unidades de distancia y tiempos sean coherentes para obtener una velocidad con unidades apropiadas (por ejemplo, metros por segundo; kilómetros por hora).

Es fundamental tener en cuenta que la precisión del cálculo dependerá de la calidad del seguimiento realizado por el software y de la precisión en la medición de la distancia y el tiempo. Además, es posible que necesites convertir las unidades según sea necesario para obtener la velocidad en unidades más usadas, como kilómetros por hora.

Técnica de Monte Carlo

La técnica de Monte Carlo es un método estadístico que utiliza el muestreo aleatorio y el análisis probabilístico para resolver problemas matemáticos y físicos. Se basa en la generación de números aleatorios para realizar simulaciones y obtener estimaciones numéricas de procesos complejos. Aquí se describen los principios básicos y aplicaciones comunes de la técnica de Monte Carlo:

- **Principios Básicos:**
 1. **Generación de Números Aleatorios:** Se utilizan generadores de números aleatorios para producir muestras que simulan el comportamiento de variables aleatorias en un sistema.
 2. **Simulación de Procesos:** Las muestras aleatorias se emplean para modelar y simular el comportamiento de un sistema o proceso bajo diferentes condiciones. Cada simulación proporciona un posible resultado.
 3. **Análisis Estadístico:** Los resultados de múltiples simulaciones se analizan estadísticamente para estimar las propiedades del sistema, como medias, varianzas, distribuciones de probabilidad, y otros parámetros relevantes.
 4. **Iteraciones:** Se realizan un gran número de iteraciones (a menudo miles o millones) para asegurar que los resultados sean robustos y confiables.

Las aplicaciones comunes son en física, química, finanzas, matemáticas, ciencias de la computación entre otras [15].

Definición de normas de seguridad y reglamentos aplicados en la viabilidad en Colombia.

LEY 769 DEL 2002

NORMAS Y COMPORTAMIENTOS

CAPITULO III

CONDUCCION DE VEHÍCULOS

Que en artículo 74 reza [16]. REDUCCION DE VELOCIDAD: Los conductores deben reducir la velocidad a treinta (30) kilómetros por hora en los siguientes casos:

- En lugares de concentración de personas y en zonas residenciales.
- En las zonas escolares.
- Cuando se reduzcan las condiciones de visibilidad.
- Cuando las señales de tránsito así lo ordenen.
- En aproximación a una intersección.

De acuerdo con la Ley 769 del 6 de agosto de 2002 por medio de la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre, las normas que regulan el estacionamiento en vía pública son las siguientes:

ESTACIONAMIENTO DE VEHÍCULOS. Art. 75

En vías urbanas donde esté permitido el estacionamiento, se podrá hacerlo sobre el costado autorizado para ello, lo más cercano posible al andén o al límite lateral de la calzada no menos de treinta (30) centímetros del andén y a una distancia mínima de cinco (5) metros de la intersección.

LUGARES PROHÍBIDOS PARA ESTACIONAR. Art. 76

1. Sobre andenes, zonas verdes o zonas de espacio público destinado para peatones, recreación o conservación.
2. En vías arterias, autopistas, zonas de seguridad, o dentro de un cruce.
3. En vías principales y colectoras en las cuales expresamente se indique la prohibición o la restricción en relación con horarios o tipos de vehículos.
4. En puentes, viaductos, túneles, pasos bajos, estructuras elevadas o en cualquiera de los accesos a estos.
5. En zonas expresamente destinadas para estacionamiento o parada de cierto tipo de vehículos, incluyendo las paradas de vehículos de servicio público, o para limitados físicos.
6. En carriles dedicados a transporte masivo sin autorización.
7. En ciclorrutas o carriles dedicados o con prioridad al tránsito de bicicletas.
8. A una distancia mayor de treinta (30) centímetros de la acera.
9. En doble fila de vehículos estacionados, o frente a hidrantes y entradas de garajes o accesos para personas con discapacidad.
10. En curvas.
11. Donde interfiera con la salida de vehículos estacionados.
12. Donde las autoridades de tránsito lo prohíban.
13. En zona de seguridad y de protección de la vía férrea, en la vía principal, vías secundarias, apartaderos, estaciones y anexidades férreas.

NORMAS PARA ESTACIONAR.

En autopistas y zonas rurales, los vehículos podrán estacionarse únicamente por fuera de la vía colocando en el día señales reflectivas de peligro, y en la noche, luces de estacionamiento y señales luminosas de peligro. Art. 77

LEY 1811 DEL 2015

Artículo 14. Modifíquese el artículo 63 de la ley 769 de 2002 Código Nacional de Tránsito, el cual queda así:

Artículo 63. *Respeto a los derechos de los peatones y ciclistas.* Los conductores de vehículos deberán respetar los derechos e integridad de los peatones y ciclistas, dándoles prelación en la vía [17].

Para determinar la distancia requerida para no estrellarse con un carro estacionado, es esencial comprender y aplicar los conceptos de distancia de frenado y distancia de reacción. Aquí se explican estos conceptos y se proporciona un método para calcular la distancia total necesaria para detenerse de manera segura.

Distancia de Reacción:

- Es la distancia que recorre un vehículo desde el momento en que el conductor percibe un peligro hasta que aplica los frenos.
- Depende del tiempo de reacción del conductor, que suele ser de aproximadamente 1 a 1.5 segundos en condiciones normales.

Distancia de Frenado:

- Es la distancia que recorre un vehículo desde que se aplican los frenos hasta que se detiene completamente.
- Depende de varios factores, incluyendo la velocidad del vehículo, las condiciones de la carretera, el estado de los frenos y los neumáticos, y las condiciones meteorológicas.

ANALISIS DE CASOS

Caso 1.

En la ciudad de Pitalito (Huila) el día 06 de Julio del 2021 a las 08:35 horas, en la intercesión de la carrera 4 con calle 10, ocurre el accidente de tránsito donde resulta involucrados una motocicleta línea pulsar y la camioneta volvo ambas conducidas por hombres; para el análisis del caso se entregan el plano topográfico (IPAT) y las evidencias digitales obtenidos de cámaras de seguridad, en la cual se observa que la camioneta iba con su respectivo direccional para girar hacia el lado izquierdo al cambio de la señal del semáforo; al iniciar la marcha es impactado por la motocicleta en la parte delantera del lado izquierdo; la motocicleta y el ocupante por el impacto lateral sale desplazado y choca más adelante con un poste; el motociclista queda herido y posteriormente muere.



Imagen 1 Intercesión del lugar de los hechos: Carrera 4 con calle 10 Pitalito Huila.

Como parte de la rutina de investigación de un accidente de tránsito se hace visita y reconocimiento del lugar de los hechos para levantar y confrontar las medidas necesarias.

Este es el caso para la solución del evento: se hizo un levantamiento de datos en el sitio (Datos correspondientes a medidas que puedan ser visibles y permanezcan en el tiempo) y fundamentalmente que puedan ser contrastados por el interesado. Para el caso específico se tomó como referencia las juntas de expansión que hay en la superficie en material de concreto de la vía de carrera 4 con calle decima sobre el carril que transitaba la motocicleta.

La metodología aquí usada se basa en el conteo de la cantidad de cuadros en los que se puede visualizar una referencia determinada del vehículo, para este caso 1 se toma cuando pasan por la primera línea de la placa huella en la vía. Observada al atravesar todo el ángulo de visión de la cámara haciendo uso del Tracker, software de código abierto, analizando en este caso el video aportado de la cámara ubicada en el establecimiento comercial del frente del lugar de los hechos.

- Procedimiento para calcular la velocidad de la motocicleta.



Imagen 2 Desplazamiento de la motocicleta en fotogramas.

Teniendo en cuenta que la información obtenida del tracker, reporta una frecuencia de 29,898 FPS o cuadros por segundo (CPS). En consecuencia un fotograma o cuadro tiene la duración de: 1 segundo / 29,898 FPS = 0,03344s.

Como el número de cuadros aportados por el Tracker es de 7 fotogramas entonces el tiempo (t) empleado en esa filmación es de: $7 * 0,03344s. = 0,234$ s.

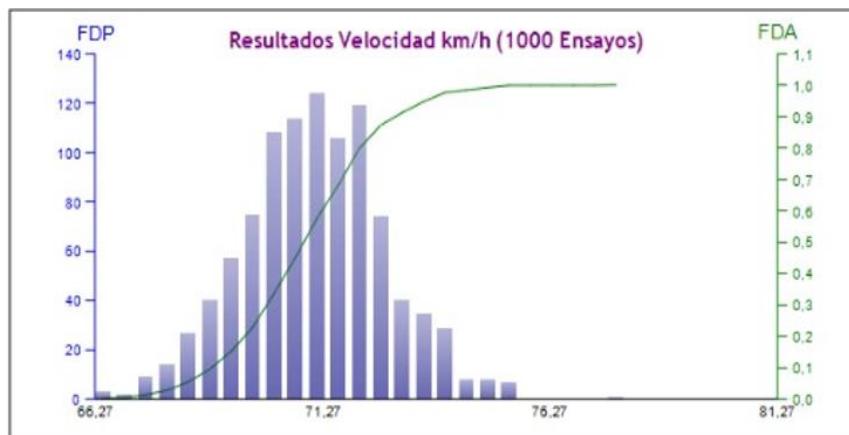
La distancia recorrida en ese tiempo, considerando una velocidad constante y teniendo como referencia la imagen No.2, por la motocicleta es la distancia (d) entre las juntas de expansión que hay en la superficie en material de concreto, la cual es de 4,60 metros.

Haciendo uso de la ecuación de la cinemática para velocidad constante $d = v*t$ y despejando v se obtiene: velocidad, $v = d/t = 4,60 m / 0,234 s = 19,66 m/s$ o su equivalente en Km/h de $19,66 \times 3,6 = 70,76$ km/h

La velocidad del vehículo No. 1 la motocicleta de acuerdo al resultado es de: 70,76 km/h

Para contrastar los resultados se hace uso de la técnica de Monte Carlo, la cual hace una iteración de las variables en 1000 oportunidades para establecer la velocidad máxima y mínima y la desviación estándar.

Resultados estadísticos usando la Técnica de Monte Carlo:



Grafica 1 velocidad de motocicleta.

FDP: función de densidad de probabilidades.

FDA: función de densidad acumulativa.

Número de pruebas: 1000

Velocidad mínima: 65 km/h

Velocidad máxima: 68 km/h

Velocidad media: 70 km/h

Desviación estándar: 1,50

Haciendo la comparación de los resultados usando los metadatos y la ecuación 1 (ecuación para velocidad constante) concuerda que los resultados están en un rango similar de 70 km/h para la motocicleta.

- Procedimiento para el cálculo de velocidad de vehículo 2



Imagen 3 Desplazamiento del vehículo.

Teniendo en cuenta que la información obtenida del tracker, reporta una frecuencia de 29,898 FPS o cuadros por segundo (CPS). En consecuencia un fotograma o cuadro tiene la duración de: 1 segundo / 29,898 FPS = 0,03344s.

Como el número de cuadros aportados por el Tracker es de 32 fotogramas entonces el tiempo (t) empleado en esa filmación es de: $32 * 0,03344s. = 1.070 s.$

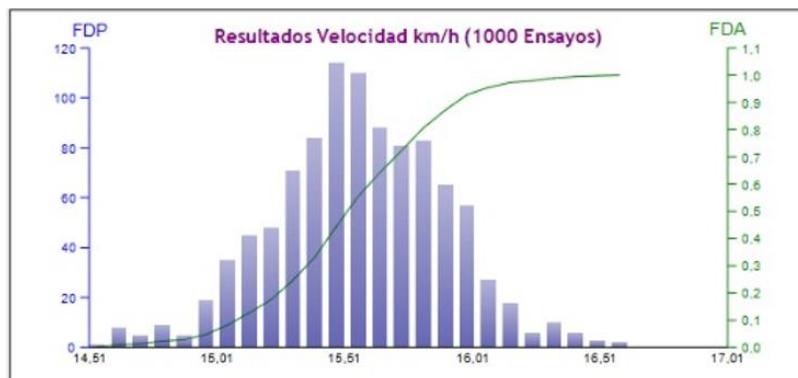
La distancia recorrida en ese tiempo, considerando una velocidad constante y teniendo como referencia la imagen No.3, del vehículo, es la distancia (d) entre las juntas de expansión que hay en la superficie en material de concreto, la cual es de 4,60 metros.

Haciendo uso de la ecuación de la cinemática para velocidad constante $d = v*t$ y despejando v Se obtiene: velocidad, $v = d/t = 4,60 m \div 1.070 s = 4.299 m/s$ o su equivalente en km/h de $4.299 \times 3,6 = 15.476 \text{ km/h}$

La velocidad del vehículo No. 2 el carro, de acuerdo al resultado es de: 15 km/h

Para contrastar los resultados se hace uso de la técnica de Monte Carlo, la cual hace una iteración de las variables en 1000 oportunidades para establecer la velocidad máxima y mínima y la desviación estándar.

Resultados estadísticos usando la Técnica de Monte Carlo:



Grafica 2 Velocidad del Vehículo.

FDP: función de densidad de probabilidades.

FDA: función de densidad acumulativa.

Número de pruebas: 1000

Velocidad mínima: 14 km/h

Velocidad máxima: 16 km/h

Velocidad media: 15,528 km/h

Desviación estándar: 0,337

Haciendo la comparación de los resultados usando los metadatos y la ecuación 1 (ecuación para velocidad constante) concuerda que los resultados están en un rango similar de 15 km/h para el vehículo.

Caso 1 Presentado por la Contraparte

Se entiende por contraparte la posición expuesta mediante un informe técnico sustentado por una de las partes que intervienen en la generación de una situación crítica.

Para el caso No. 1, se realizó una observación detallada del peritaje expuesto por la contraparte en la audiencia del informe técnico sustentado, identificando errores en el análisis original que afectaron la precisión de los resultados al calcular las velocidades de la motocicleta y del vehículo involucrado. Mediante una reevaluación cuidadosa y la aplicación de metodologías más rigurosas, se identificó y corrigió estos errores, proporcionando una solución más precisa y fiable en la determinación de las velocidades.

Para realizar los planteamientos físicos, se hace uso de la herramienta CrashMath de la licencia software forense TRIMBLE FORENSICS REVEAL, en el cual permite al reconstructor de accidentes resolver y documentar ecuaciones matemáticas.

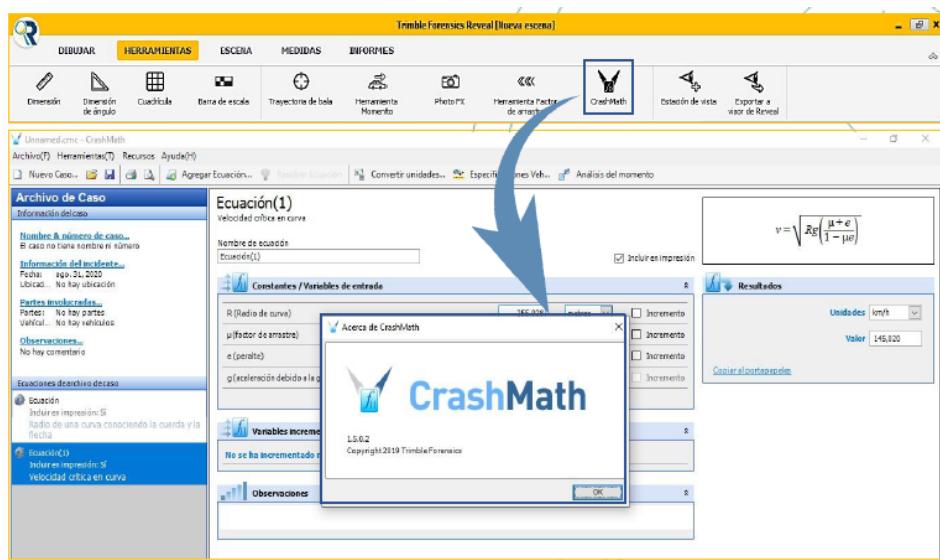


Imagen 4 software.

Velocidad mínima constante a lo largo de una distancia determinada por unidad de tiempo de la motocicleta.

Ecuación aplicada para determinar velocidad de la motocicleta:

$$V=d/t$$

| VALOR(ES) DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
|---|----------|-------|
| d (distancia) (Distancia entre ejes Motocicleta) | metros | 1,363 |
| T (tiempo) | segundos | 0,098 |

Resultado(s) para V (velocidad) (km/h) 50,069

Tabla 1 Datos utilizados en el planteamiento de la ecuación para determinar velocidades.

Datos utilizados en el planteamiento de la ecuación para determinar velocidades.

Para realizar el tratamiento de medición de tiempo, se utilizó la herramienta de edición de video ADOBE PREMIER PRO y se verificó cada uno de los videos si presentaban algún tipo de modificación o alteración que afecte el renderizado del clip, encontrando que a pesar que fue grabado sobre pantalla, no sufrió afectación del movimiento y se da como aptos para análisis de tiempo; para el caso del archivo (VideoUnoAccidenteTransito (2).mp4) tiene una duración total de 0,5 segundos y un peso de 1,88 Mb, para el tratamiento de verificación de tiempo y distancia para plantear cálculos físicos de velocidad, para determinar la distancia de recorrido, se tuvo en cuenta con la longitud total de las dimensiones técnicas de la motocicleta (distancia entre ejes), la cual corresponde a **1,363 metros**, una vez obtenido este dato, se procede a determinar el tiempo cero (0) segundos, en el momento que la llanta delantera de la motocicleta, hiciera contacto con un punto de referencia en el lugar de los hechos, en este caso, corresponde a la franja de la baldosa del concreto de la vía como se aprecia en la Imagen N° 7, de tal forma que se corta el video para obtener el tiempo **cero (0) segundos**.

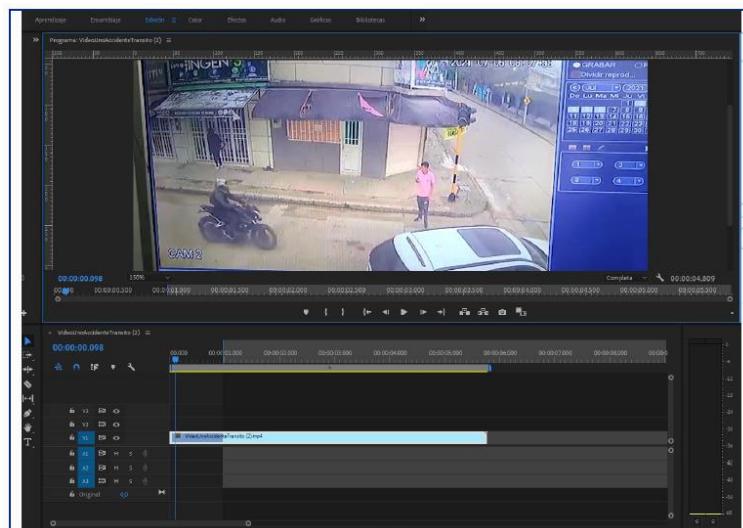


Imagen 5 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoUnoAccidenteTransito (2).mp4).

- En base a la metodología de edición antes explicada, se procede a renderizar el video hasta que la llanta trasera se ubique encima de la franja de la baldosa de concreto, en la

que la motocicleta, recorre un tiempo de **0,098 segundos** como se aprecia en la imagen N° 5.

- En base a lo anterior, y con el ánimo de ser imparcial en la obtención del tiempo de recorrido de la motocicleta, fue necesario realizar otra prueba con otro video Clip, con el fin de corroborar si la medición de tiempo coincide con la determinada en la PRUEBA 1.

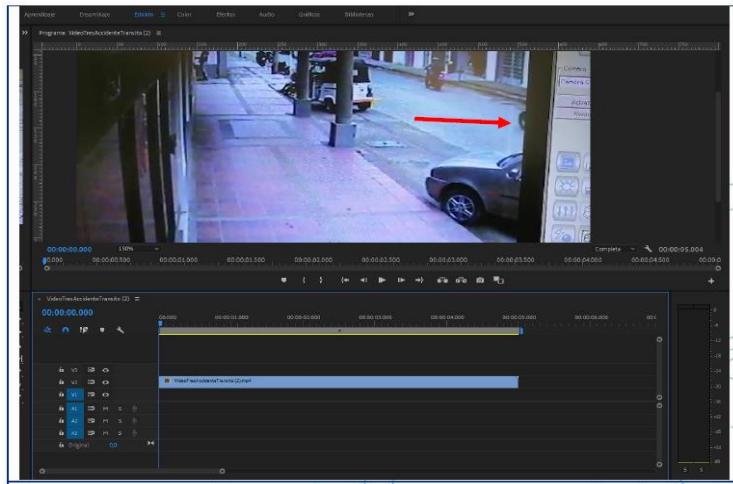


Imagen 6 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoTresAccidenteTransito (2).mp4).

- En la imagen N° 6, se señala con una flecha color rojo, la rueda delantera de la motocicleta desde el eje central, la cual el borde lateral derecho de la pantalla interna, será utilizada como punto de referencia para poder medir el tiempo, dejando como punto de partida del tiempo de **cero (0) segundos**.
- Posteriormente se refleja la distancia final de recorrido de la motocicleta para medir el tiempo, donde el eje trasero de la motocicleta, se ubica en la línea de borde derecho de la pantalla interna partiendo de la medida base de distancia de ejes de **1,363 metros** de la motocicleta. Una vez realizada la segunda prueba, se encontró que el tiempo de recorrido en dicho video, era el mismo tiempo de **0,098 segundos** determinado al video de la PRUEBA 1.

[NOTA: las dimensiones de los vehículos fueron consultadas en las fichas técnicas de cada vehículo conforme al tipo de vehículo, marca y línea.]

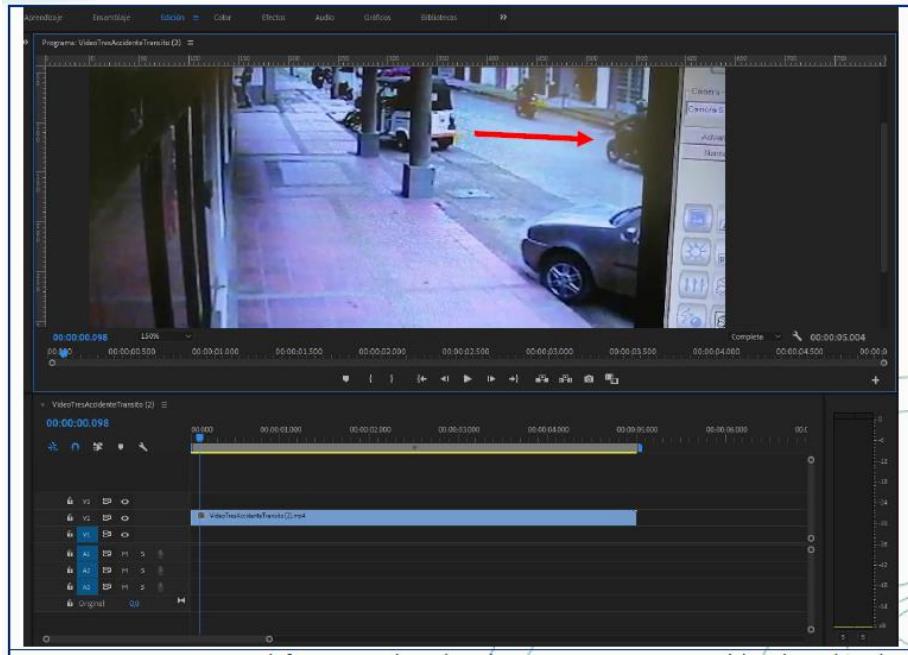


Imagen 7 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoTresAccidenteTransito (2).mp4).

Pasos para la solución

$$d = \text{distancia} = 1,363 \text{ metros}$$

$$T = \text{tiempo} = 0,098 \text{ segundos}$$

$$V=d/t$$

$$V=1,363 / 0,098$$

$$V=13,908$$

$$\mathbf{V = \text{velocidad m\'ınima de la motocicleta} = 13,908 \text{ m/s} = 50,069 \text{ km/h}.}$$

- Velocidad mínima constante a lo largo de una distancia determinada por unidad de tiempo de la camioneta.

Ecuación aplicada para determinar velocidad de la camioneta:

$$V=d/t$$

Datos utilizados en el planteamiento de la ecuación para determinar velocidades.

| VALOR(ES) DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
|--|----------|-------|
| d (distancia) (Longitud total camioneta) | metros | 4,688 |
| T (tiempo) | segundos | 0,993 |

Resultado(s) para V (velocidad) (km/h) **19,996**

Tabla 2 Datos utilizados en el planteamiento de la ecuación para determinar velocidades.

Datos utilizados en el planteamiento de la ecuación para determinar velocidades.

- Para el cálculo de velocidad de la camioneta, se tuvo en cuenta las dimensiones de longitud total del vehículo de las mismas características, según la marca y línea, el cual corresponde a una distancia de **4,688 metros**, al analizar el clip de video (VideoDosAccidenteTransito (2).mp4) con la misma dinámica del anterior vehículo, pero a una sola prueba, se determina un tiempo de recorrido de **0,993 segundos**.

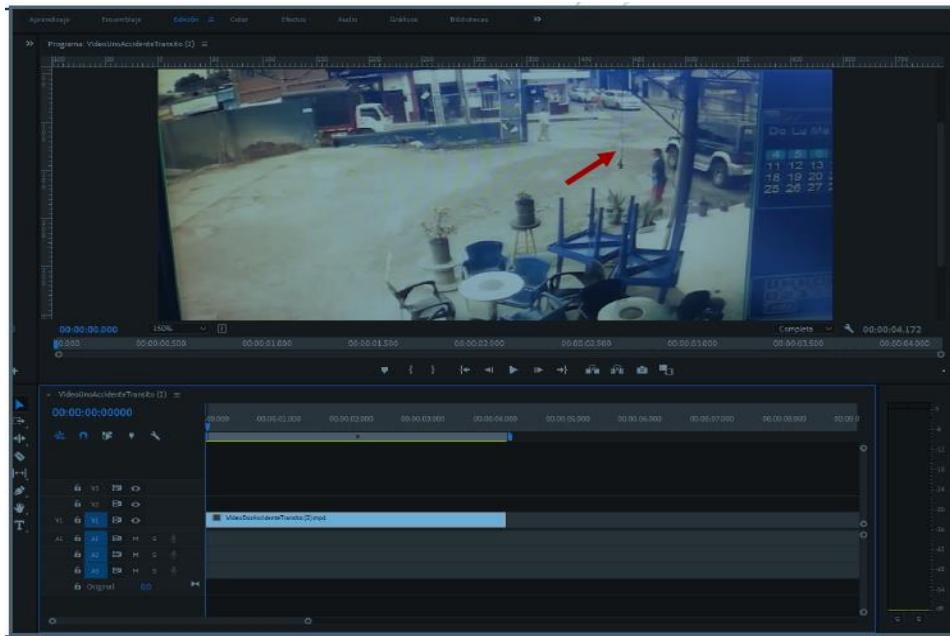


Imagen 8 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoDosAccidenteTransito (2).mp4).

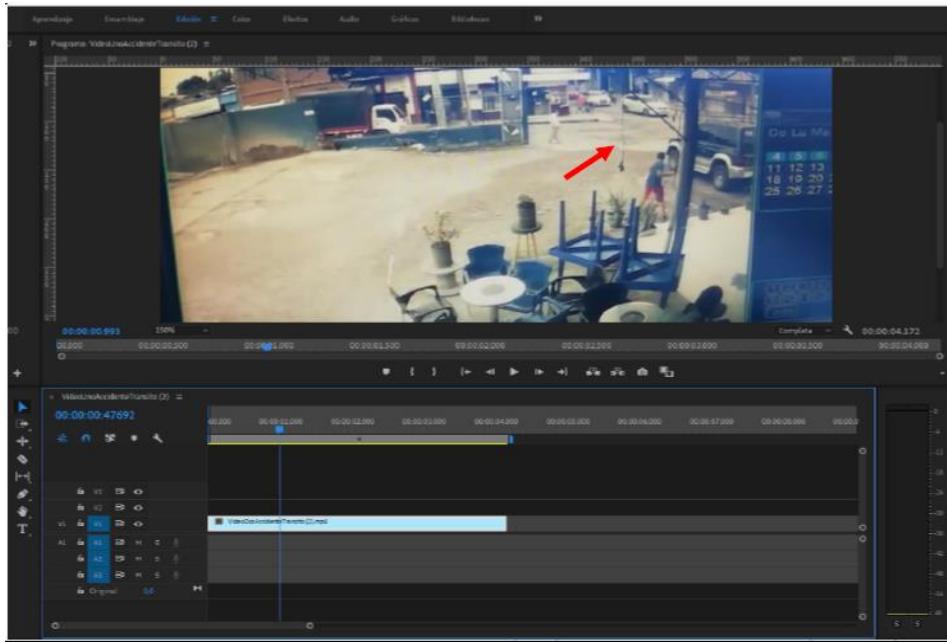


Imagen 9 fotograma editor de video ADOBE PRMIER PRO, del archivo de video (VideoDosAccidenteTransito (2).mp4).

En complemento a lo anterior me permito inferir que como punto de referencia del lugar de los hechos para realizar el trabajo de definir el tiempo de recorrido, se tuvo en cuenta un cable o cuerda suelta como lo señala con flecha roja en las imágenes 8 y 9 donde al paso del vértice delantero derecho y el vértice trasero derecho, permitió establecer un tiempo de recorrido de **0,993 segundos**; por otro lado, el suscrito consideró que no es necesario realizar más pruebas de tiempo de recorrido con otro video, toda vez que los otros no permite realizar ese proceso de análisis, además la velocidad de la camioneta, es muy baja, ya que parte de reposo e inicia su marcha en proceso de aceleración.

Pasos para la solución

$$d = \text{distancia} = 4,688 \text{ metros}$$

$$T = \text{tiempo} = 0,993 \text{ segundos.}$$

$$V=d/t$$

$$V= 4,688 /0,993$$

$$V=4,721$$

$$V = \text{velocidad mínima de la camioneta} = 4,721 \text{ m/s} = 16,996 \text{ km/h.}$$

Correcciones del caso 1 de la Contraparte.

En el caso 1 de la contraparte, para hallar la velocidad a la que se desplazaban los vehículos, se tiene en cuenta la distancia entre ejes, valor que toma de la ficha técnica de la marca y corresponde a 1,363 metros de longitud para la motocicleta, este dato es el que aplica a la fórmula para obtener velocidad; para obtener el tiempo nos proporciona la referencia de donde lo toma, (ver Imagen No 4). El tiempo que se aplica para calcular la velocidad es 0,098 segundos, el cual es procesado por el programa ADOBE PRMIER PRO; reemplazando en el software CrashMath obteniendo una velocidad de 13,908 m/s equivalente a 50,069 km/h siendo la velocidad hallada de la contraparte.

Analizando el video por medio de Tacker obtenemos el tiempo de cada fotograma; sabiendo que en 1 segundo se generan una secuencia de fotogramas de 30 (FPS), así 1/30 es el tiempo empleado para la toma de 1 fotograma o su equivalente a 0,033 segundos, aplicando la ecuación para velocidad constante y realizando el cálculo obtenemos: $V = d/t$

Distancia tomada de entre ejes de la motocicleta 1,363 metros

Tiempo 0,033 segundos

$$V = 1,363 \text{ m} / 0,033 \text{ s}$$

$$V = 41,30 \text{ m/s, equivalente a } 148,69 \text{ km/h}$$

Para hallar la velocidad a la que se desplazaba el vehículo tiene en cuenta la distancia entre ejes tomado de la ficha técnica de la marca y corresponde a 4,688 metros de longitud, este dato es el que aplica a la fórmula para obtener la velocidad; para obtener el tiempo nos da la referencia de donde lo toma, (ver Imagen No 6). El tiempo que se aplica para calcular la velocidad es 0,993 segundos, el cual es procesado por el programa ADOBE PRMIER PRO; reemplazando en el software CrashMath se obteniendo una velocidad de 4,721 m/s equivalente a 16,996 km/h hallado por la contraparte.

Ahora lo que debieron aplicar es:

Distancia entre ejes del vehículo 4,688 metros

Tiempo 0,033 segundos

$V=4,688m/0,033s$

$V=142,060m/s = 511,418 \text{ km/h}$

Revisando el software ADOBE PRIMER PRO con el que se realizó el análisis y analizando los metadatos obtenemos que el video que se aplicó tiene una secuencia variable de fotogramas entre mínimo 22,506 FPS y máximo 30,040 FPS.

```
MediaInfo:  
Contenedor:  
Duración : 9 s 365 ms  
Tasa de bits general : 1 703 kb/s  
Velocidad de fotogramas : 29,898 FPS  
Fecha de etiquetado : 2023-09-06 13:42:45 UTC  
Pista:  
ID códec : avc1  
Duración : 9 s 332 ms  
Ancho : 640 píxeles  
Alto : 352 píxeles  
Relación de aspecto : 16:9  
Modo velocidad fotogramas : Variable  
Velocidad de fotogramas : 29,898 FPS  
Velocidad fotogramas mínima : 22,506 FPS  
Velocidad fotogramas máxima : 30,040 FPS  
Estándar : NTSC  
  
ffprobe:  
codec_name=h264  
codec_long_name=H.264 / AVC / MPEG-4 AVC / MPEG-4 part 10  
profile=High  
codec_type=video  
codec_time_base=104981/6277500
```

Imagen 10 Metadatos caso 1.

Lo que notamos al momento de hallar la velocidad de la motocicleta y el vehículo de la contraparte en la corrección es una velocidad superior a la que calculamos, haciendo el proceso con el tiempo correspondiente nos da como resultado velocidades muy altas, haciendo una observación de donde es tomado aparentemente el tiempo de los fotogramas identificamos que no distinguieron que el programa cuenta con un módulo de muestra de audio y este es el que aplicaron a la ecuación y reemplazaron como se muestra en la Imagen No. 5, tiempo tomado para hallar la velocidad de la motocicleta, siendo el dato de muestra del audio y no del tiempo del fotograma lo cual altera el resultado de la investigación del accidente de tránsito. El mismo proceso lo hicieron para hallar la velocidad del vehículo.

En la edición de video, los programas permiten ajustar manualmente la sincronización del audio y video para corregir cualquier desincronización. Herramientas como Final Cut Pro, Adobe Premiere, y otros tienen opciones para desplazar el audio en relación con el video.

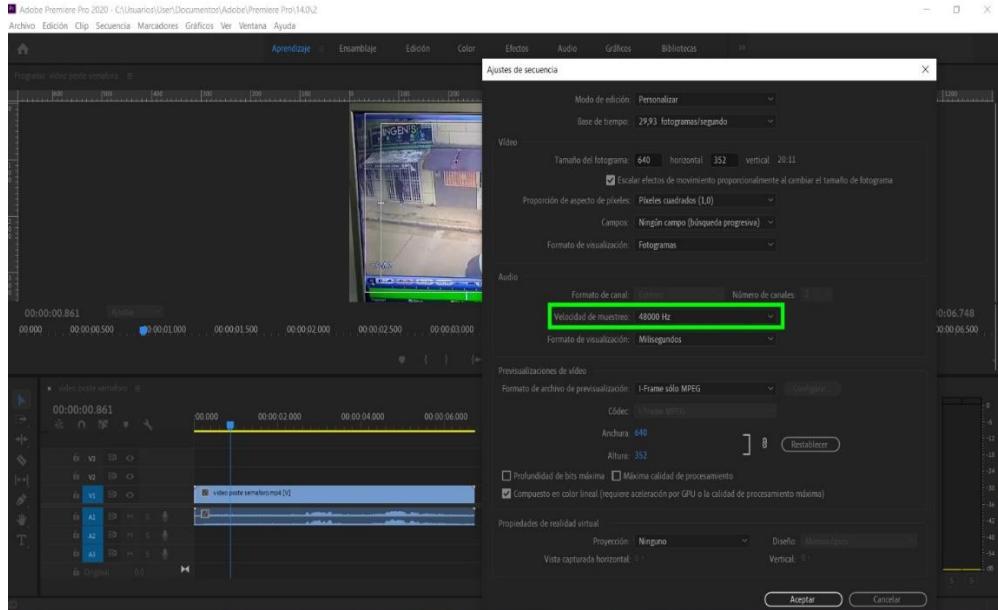


Imagen 11 Muestreo de Velocidad de audio.

Para un fotograma con 30 FPS:

- Duración de un fotograma: 30ms (0,03333 segundos)

- Distancia recorrida por el sonido:

$$\text{Distancia} = 343 \text{ m/s} \times 0,03333 \text{ s} = 11,4 \text{ m}$$

Con esto queremos identificar la velocidad de muestreo del sonido aplicado en el programa Adobe player, hallando la distancia que recorre para un fotograma de 30(FPS)

En unidades de muestra de audio esto sería entre 44,1kHz o 48kHz

$$1/44.100 \text{ s} = 23 \times 10^{-6} \text{ s muestra de unidad de audio.}$$

Estas diferencias ilustran cómo las propiedades intrínsecas de las ondas de sonido y de la luz afectan su comportamiento y velocidad en distintos contextos físicos.

| Características | Velocidad del Sonido | Velocidad de la Luz |
|-----------------------|--|---|
| Naturaleza | Onda Mecánica | Onda Electromagnética |
| Medio de Propagación | Necesita un medio material | Puede viajar en el vacío |
| Velocidad en el aire | 343 m/s (20°C) | 299.792.458 m/s |
| Dependencia del medio | Depende de la densidad y temperatura del medio | Constante en el vacío, varía en medios materiales |
| Tipo de Onda | Longitudinal | Transversal |

Tabla 3 Características velocidad del sonido y velocidad de la luz.

Los dispositivos pueden tener distintos tiempos de latencia para audio y video, lo que puede causar desincronización. Los sistemas modernos suelen intentar compensar estas diferencias automáticamente.

Para explicar porqué tomo el módulo de muestra de audio para el análisis se plantea la hipótesis que el audio que se toma del video es único del dispositivo móvil de donde se regrabó, siendo el sonido del entorno donde se encontraban, teniendo en cuenta que el video original posiblemente no tenga audio. Para el caso que el video original contenga audio podemos concluir que el sonido en el video regrabado va a ser mejor calidad que el aportado para este análisis.

Caso 2

En la ciudad de Pitalito ocurre el accidente de tránsito, clase atropello, hechos ocurridos el 11 de octubre del año 2021 a las 07:20 horas, en la intersección de la carrera 1, frente a la nomenclatura número 17-18; para el caso se entregan como evidencias el plano topográfico (IPAT) y videos de cámara de seguridad, en el accidente de tránsito resultan involucrados: un automóvil, marca Chevrolet, línea Spark Standar, cuyo conductora resulta ilesa en el del hecho. Un peatón femenino se desplazaba en sentido vertical y el automóvil en sentido perpendicular, pasando

por el semáforo y es atropellado por el automóvil, ocasionándole lesiones que posteriormente le causan su fallecimiento.



Imagen 12 intercesión de los hechos.

Para el conteo de fotogramas, en la verificación manual de velocidad de fotogramas por segundos de acuerdo a los metadatos del video, se usó el software de código abierto Tracker, el video grabado de cámara que se encuentra ubicada en el establecimiento comercial Okey, el cual cumple con esta condición ángulo para poder realizar el proceso de hallar las diferentes variables.



Imagen 13 Desplazamiento del vehículo.



Imagen 14 Desplazamiento del vehículo en fotograma.

De acuerdo a la información de los metadatos obtenidos con Tracker es de 15.000 cuadros por segundos (CPS), con velocidad variable de 14.925 mínima y 15.152 máxima.

Con la relación Cantidad de cuadros / cuadros por segundos (variables) = podemos determinar el tiempo (segundos) empleado en esas imágenes.

$$6/15.000=0,4 \text{ s}$$

El resultado del coeficiente antes mencionado, será ahora el divisor por la distancia en metros de los dos puntos de referencia (A y B), que para este caso se usó las juntas de expansión que hay en la superficie en material de concreto, la cual es de 7,90m (ver imagen No. 15).



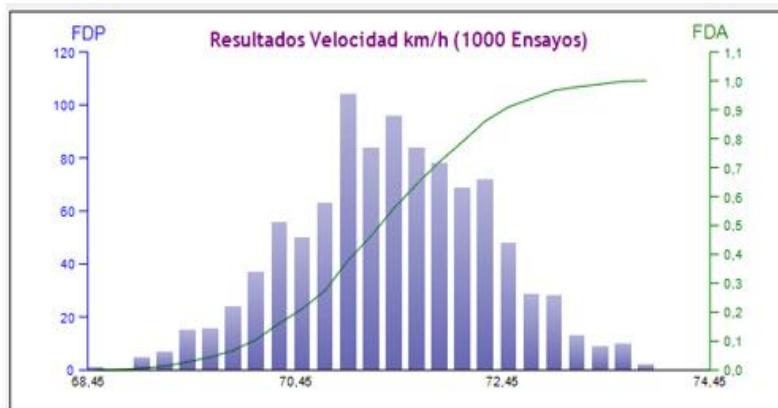
Imagen 15 Medida de la distancia que recorre el automóvil en los fotogramas seleccionados.

$$\text{Velocidad} = \text{Distancia AB /segundos}$$

$$V=7,90\text{m}/0,4\text{s}=19,75\text{m/s}$$

$$19,75\text{m/s} \times 3,6 = 71,2\text{km/h}$$

Resultados estadísticos Usando la Técnica de Montecarlo:



Grafica 3 Velocidad de automóvil.

FDP: función de densidad de probabilidades.

FDA: función de densidad acumulativa.

Número de pruebas: 1000

Velocidad mínima: 68 km/h

Velocidad máxima: 74 km/h

Velocidad media: 71 km/h

Desviación estándar: 0,94

CÁLCULO DE VELOCIDAD DEL PEATÓN

Para el cálculo de tiempo del peatón, se realiza el análisis del video, corresponde a la cámara ubicada dentro del establecimiento comercial Santa Barbara Motor's, se identifica el inicio de la acción de cruzar la segunda calzada caminando, comenzando en el fotograma 2450, seguidamente acelera su marcha en el fotograma 2479 y terminado en el fotograma 2493 el atropello.

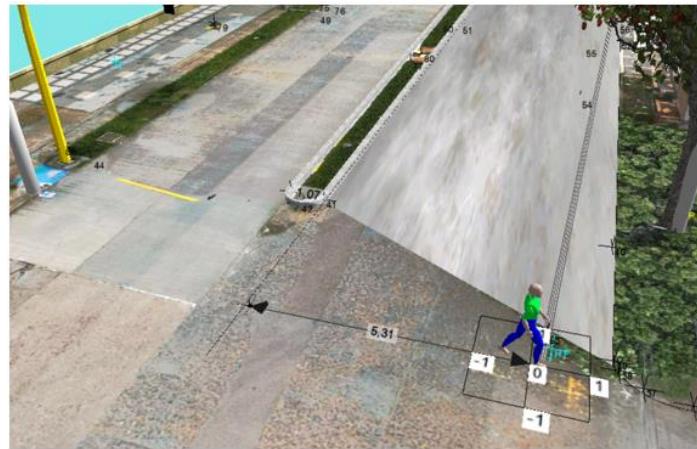


Imagen 16 Desplazamiento del peatón.

Cantidad de cuadros registrados caminando (30) / frecuencia de registro en cuadros por segundos 15 (constante) = 2 segundos

Cantidad de cuadros registrados corriendo (14) / frecuencia de registro en cuadros por segundos 15 (constante) = 0,93 segundos.

Total, de tiempo 2,93 segundos

Velocidad constante del peatón:

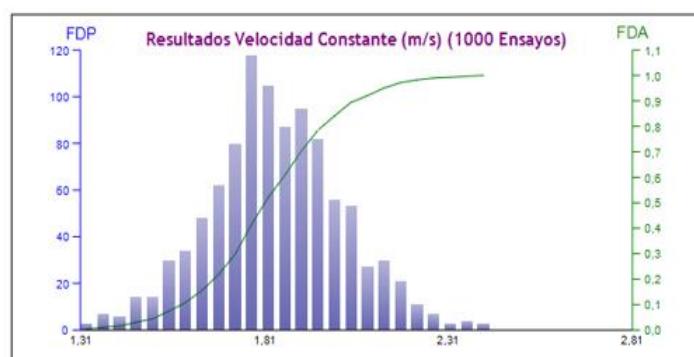
$$v = \frac{d}{t}$$

Donde:

t= tiempo total calculado por fotogramas 2,93 segundos.

d= distancia obtenida con el software trimble forensics de $5,31 \pm 1$ metros.

Resultados estadísticos Usando la Técnica de Montecarlo:



Grafica 4 Velocidad del peatón.

FDP: función de densidad de probabilidades.

FDA: función de densidad acumulativa.

Numero de pruebas: 1000.

Velocidad mínima: 1,28 m/s o 4,62 km/h.

Velocidad máxima: 2,41 m/s o 8,67 km/h.

Velocidad media: 1,82 m/s o 6,56 km/h.

Desviación estándar: 0,18.

- **Tiempo de percepción-reacción**

Tomar una acción evasiva requiere la identificación de peligros, la toma de decisiones y la implementación de acciones evasivas. El tiempo requerido para la identificación del peligro se suele denominar tiempo de percepción. El tiempo requerido para la toma de decisiones y para comenzar la implementación de acciones evasivas generalmente se conoce como tiempo de reacción. El tiempo de percepción-reacción es el tiempo requerido para identificar un peligro, tomar la decisión de qué hacer para evitar el peligro y comenzar la implementación.

Resuelto por otro medio con plano topográfico.

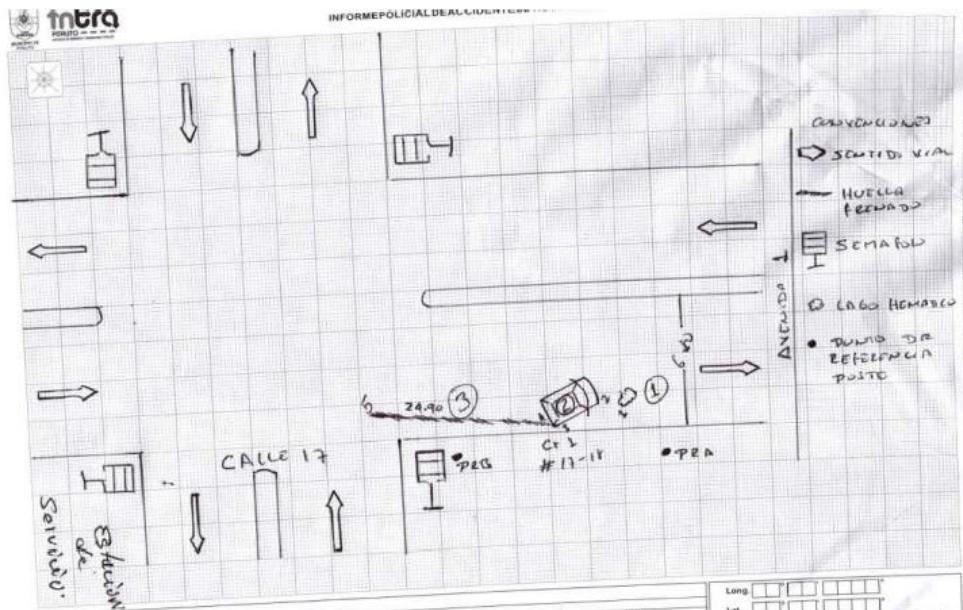


Imagen 17 Croquis del informe policial del Accidente de Tránsito.

CÁLCULO DE VELOCIDAD CON MODELO DE FRICTION SIMPLE DE ACUERDO A LA DISTANCIA DE HUELLA DE FRENADO.

De acuerdo a las características de la huella y la distancia fijada en actos urgentes, se procede a realizar el cálculo de velocidad con el siguiente modelo:

$$V = \frac{\sqrt{2 * g * \mu * d + 1}}{2 * g * \mu * t}$$

Donde:

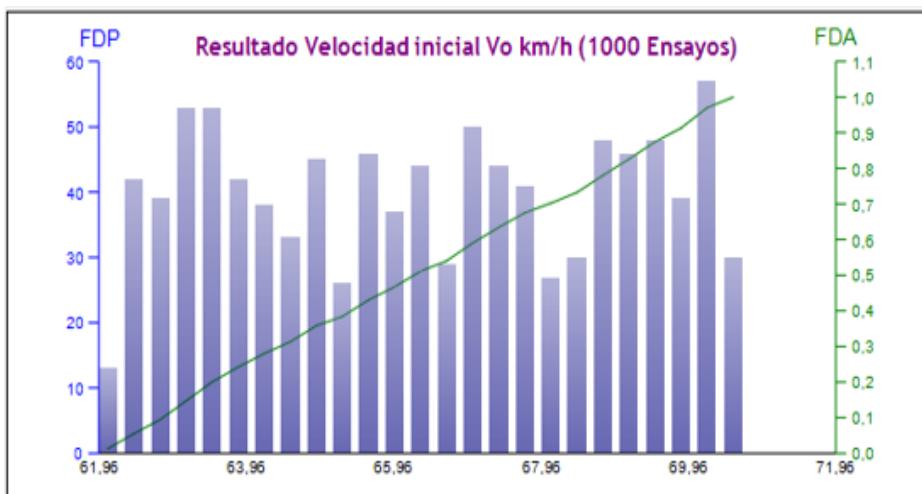
g = gravedad 9.8 m/s².

μ = coeficiente de fricción de acuerdo a la superficie concreto (0,52-0,66).

d = distancia de la huella de frenado 24,9 metros.

t = tiempo de reacción mecánica

Resultados empleando la técnica de Monte Carlo:



Grafica 5 Velocidad del automóvil calculado con huella de frenado.

FDP: función de densidad de probabilidades.

FDA: función de densidad acumulativa.

Número de pruebas: 1000

Velocidad mínima: 62 km/h

Velocidad máxima: 71 km/h

Velocidad media: 66 km/h

Desviación estándar: 2,45

El resultado del modelo matemático muestra valores de la velocidad del automóvil después del impacto de 62 km/h y 71 km/h valores que se superponen con respectos al modelo anterior de 68 km/h y 74 km/h, por lo cual considero tomar los valores de 62 km/h o 17,22 m/s y 74 km/h o 20,55 m/s, con el fin de considerar todos los valores posibles.

Todos los cálculos se realizan con el programa simulador Risk calculator, complemento de Microsoft Excel, el cual permite realizar las simulaciones con la técnica de Monte Carlo, técnica que analiza el comportamiento de la ecuación empleada, considerando todo el rango de las variables y como resultado encuentra los valores máximos y mínimos, como también el más probable dentro de los datos hallados en 1000 iteraciones (1000 repeticiones del proceso), se anexó los resultados.

CONCLUSIONES

- Mediante el uso de evidencia digital, como videos, se identificó y analizó los datos obtenidos, permitiendo calcular la velocidad a la que se desplazaba cada vehículo involucrado en los accidentes de tránsito de los casos estudiados.
- Utilizando el software Tracker, se analizaron los videos de los casos de accidentes de tránsito, realizando el conteo manual de fotogramas. Mediante los metadatos, se identificó que en el caso 1, la tasa de fotogramas era de 29,898 FPS, resultando en 0,033 segundos por imagen, y en el caso 2, la tasa de fotogramas era de 30 FPS, también resultando en 0,033 segundos por imagen.
- Para el peritaje del caso 1 de la contraparte se comparó los resultados propuestos; analizando las velocidades se obtiene que son diferentes comparado con el caso desarrollado por medio de Tracker; en la revisión del caso se identificó que aplica en el programa la línea de tiempo de la muestra de audio del programa Adobe Player siendo esto lo que alteró el resultado en las velocidades propuestas.
- Se resalta la necesidad de seguir investigando y desarrollando y aplicando metodologías más precisas y eficientes para la reconstrucción de accidentes de tránsito, así como la capacitación continua del personal encargado de llevar a cabo este tipo de análisis forense.
- Los resultados obtenidos en los casos analizados muestran la importancia de considerar factores como la velocidad de los vehículos y el tiempo de reacción de los conductores para comprender la cinemática del evento y establecer las secuencias del desarrollo de los accidentes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de transporte (2023). Resolución *RAD_S* de **F_RAD_S** obtenido de [SERVI001 \(wto.org\)](https://www.wto.org)
- [2] <https://www.who.int/publications/i/item/global-status-report-on-road-safety-2023>.
- [3] Organización Mundial de la Salud, OMS (2024). Cifras de accidentes de tránsito a nivel mundial. Obtenido de [Organización Mundial de la Salud \(who.int\)](https://www.who.int)
- [4] Agencia Nacional de Seguridad Vial (2024). Cifras y estadísticas. Obtenido de <https://www.mintransporte.gov.co>
- [5] Comité de Seguridad Vial Policía Nacional, seccional de tránsito y transporte Huila (2023) Índice de datos región Huila. Obtenido de [Seguridad Vial | Policía Nacional de Colombia \(policia.gov.co\)](https://www.policia.gov.co).
- [6] Cinemática (2024). Obtenido de [¿Qué son las fórmulas cinemáticas? \(artículo\) | Khan Academy](https://www.khanacademy.org)
- [7] National Institute of Standards and Technology (NIST). (2019).
- [8] Campisi, P., & Le Callet, P. (2011). Visual Quality Assessment for Natural and Medical Image Processing. CRC Press.
- [9] White, C. (2020). The DSLR Filmmaker's Handbook: Real-World Production Techniques.
- [10] Bordwell, D., & Thompson, K. (2010). *Film Art: An Introduction*. McGraw-Hill Education.
- [11] MediaArea.net. (2023). MediaInfo: Technical Information about Media Files.
- [12] Academic references and case studies from AmperFive applications. (2023).
- [13] Brown, D. (2023). *Tracker Video Analysis and Modeling Tool*. Open Source Physics.
- [14] Daum Communications. (2023). *PotPlayer: Advanced Multimedia Player for Windows*.
- [15] Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). *The Monte Carlo Method*. Journal of the American Statistical Association.

[16] Congreso de la República de Colombia. (2002). *Ley 769 de 2002: Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 44.932 de 7 de agosto de 2002.

[17] Congreso de la República de Colombia. (2015). *Ley 1811 de 2015: Por medio de la cual se otorgan incentivos para promover el uso de la bicicleta en el territorio nacional y se modifica el Código Nacional de Tránsito*. Diario Oficial No. 49.697 de 21 de octubre de 2015.