

**VALIDACIÓN DE LA PRUEBA: DISTANCIA DE LANZAMIENTO PARA
LA RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE LA
COLISIÓN VEHÍCULO - PEATÓN**

**MALKA IRINA CABELLOS MARTINEZ
JOHN WILMAN ROJAS REINA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA
2006**

**VALIDACIÓN DE LA PRUEBA: DISTANCIA DE LANZAMIENTO PARA
LA RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE LA
COLISIÓN VEHÍCULO - PEATÓN**

**MALKA IRINA CABELLOS MARTINEZ
JOHN WILMAN ROJAS REINA**

Trabajo de Grado para optar el título de Físico

Director

**Jairo Luis Fuentes Perez
Físico forense (INMLCF)**

Codirector

**Rafael Cabanzo Hernandez
Magister en física**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA
2006**

*A nuestras familias
hermanos y
amistades*

AGRADECIMIENTOS

Queremos dar nuestros mas sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron parte de la realización de este trabajo y que sobre todas las cosas creyeron en el y en nosotros.

Agradecemos a nuestras familias, pues seguro que sin ellas esto habría sido casi imposible.

Agradecemos especialmente a:

Esuela de física UIS: por acogernos en su seno y darnos la oportunidad de crecer integralmente.

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses: por brindarnos la oportunidad de compartir esta valiosa experiencia con personas de tan alta calidad humana y profesional.

Jairo Luis Fuentes Pérez: más que un director es un amigo para nosotros, alguien que respetamos como persona y admiramos como profesional.

Rafael Cabanzo Hernández: por asumir su labor tan responsablemente y estar presente siempre que lo necesitamos.

Jose David Sanabria Gómez: por ser el gestor del trabajo en conjunto con el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

Estudiantes y amigos como: Ella Karina López Suárez, Freddy Dubeibe, Jorge Rueda, Paolo Ospina y en general todos los estudiantes del código 2000. A todos ellos muchas gracias.

Agradecimientos individuales:

Malka

A Dios: por darme la fortaleza en mi lucha constante por alcanzar mis sueños.

A mis padres: a mi mami Mary Luz Martínez, por ser una guerrera de la vida, por darme todo su amor y apoyo; el amor por sus hijos siempre ha sido lo principal en su vida. Gracias mamá por luchar conmigo para obtener mis triunfos. A mi papá, Luis José Cabellos le agradezco por abrirme la mirada hacia una vida profesional.

A mis hermanos: a mi hermanito, Edwin Cabellos le agradezco el haberme trazado el camino para iniciar mi vida universitaria, por ser mi apoyo siempre y el promotor de nuestra felicidad. Hoy te encuentras en un lugar mejor, contemplando la presencia de Dios, y se que tu alma se regocija de orgullo porque tu consentida da un paso en el camino de la vida. A mi hermanita, Yulieth Cabellos gracias por ser mi amiga, por estar ahí siempre para corregir o resaltar mis acciones. Gracias por darme siempre tu amor y por caminar junto a mi explorando la vida en búsqueda de nuestra felicidad.

A mis sobrinos: Natalia y David Leonardo por ser la luz de la esperanza que ilumina mi sentir.

A mi novio Carlos Mauricio Navarro Bacca, por darme todo su amor y comprensión día a día, por su incondicionalidad, porque siempre ha creído en mi y me ha visto como una triunfadora.

A todas las personas que fueron un apoyo en mi vida universitaria, gracias.

John

A mi madre: por todo lo que soy, sin ella nada de esto habría sido posible.

A mi padre: porque su recuerdo me fortaleció día a día.

A mis hermanos: porque todos me brindaron su apoyo para continuar siempre.

A mi novia: por ser la amiga mas incondicional que estuvo a mi lado estos cinco años de estudio.

TÍTULO : VALIDACIÓN DE LA PRUEBA: DISTANCIA DE LANZAMIENTO PARA LA RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DE LA COLISIÓN VEHÍCULO PEATÓN*.

AUTORES : Cabellos Martinez, Malka Irina; Rojas Reina, John Wilman**.

PALABRAS CLAVES : prueba, distancia de lanzamiento, peatón, validación, técnica, colisión, reconstrucción.

DESCRIPCIÓN : La reconstrucción analítica de accidentes de tránsito vehículo peatón, para el caso frontal, requiere de un estudio detallado de todos los parámetros que tienen incidencia en el evento, dicho estudio se puede realizar aplicando un método o prueba que utiliza la distancia a la cual es lanzado el peatón con el fin de determinar un rango para la velocidad de impacto, esto; claro está, conociendo valores aproximados para el coeficiente de fricción entre el piso y el peatón, coeficiente de fricción entre las llantas del vehículo con el piso y el tiempo de contacto del peatón con el capó.

Sin embargo, no se conocen con exactitud los límites y la fiabilidad de este método en la resolución de un caso real. En este trabajo, se valida la prueba distancia de lanzamiento empleando la norma técnica Colombiana NTC - ISO - IEC 17025, la cual se refiere a los requisitos generales de competencia que deben cumplir los laboratorios de ensayo y/o calibración como base para su acreditación.

La técnica de validación que se utilizó fue la de comparación con referencias experimentales, de tal forma, que al final se desarrolla una secuencia lógica para el uso adecuado de esta prueba en un laboratorio de física forense.

*Trabajo de Grado

**INMLCF, Jairo Fuentes Perez (Director); UIS, Rafael Cabanzo Hernandez (Codirector)

TITLE : VALIDATION OF THE METHOD: DISTANCE OF THROW FOR THE ANALYTIC RECONSTRUCTION OF THE COLLISION VEHICLE PEDESTRIAN *.

AUTHORS : Cabellos Martinez, Malka Irina; Rojas Reina, John Wilman**.

KEY WORDS : Method, throw distance, pedestrian, validation, technique, collision, reconstruction.

DESCRIPTION : The analytic reconstruction of vehicle - pedestrian transit accidents, for the frontal case, require a detailed study of all parameters that affect in the event. That study can be done applying a method or test that use the distance to the which the pedestrian is throwed, to determine a range for the impact velocity, knowing approximate values for the friction coefficient between ground and pedestrian, friction coefficient the vehicles tires and ground and the contact time of the pedestrian with the hood.

Nevertheless, the limits and the reliability of this method in the solution of a real case are not known with accuracy. In this work, the throw distance test is validate using the colombian technical standars NTC - ISO - IEC - 17025, which refers to the general requirements of competence that the test and/or calibration laboratories must fulfill as base for its acreditation.

The validation technic that was used was the comparison with experimental references, in that way, that is developed a logic secuencia for the appopriate use of this test in a laboratory of forensic physics.

*Work of Degree

**INMLCF, Jairo Fuentes Perez (Director); UIS, Rafael Cabanzo Hernandez (Codirector)

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
1. ACCIDENTES DE TRÁNSITO	4
1.1. ACCIDENTE TIPO VEHÍCULO - PEATÓN	4
1.1.1. FASES DE LA COLISIÓN VEHÍCULO - PEATÓN	5
1.2. CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES EN LA RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DEL ACCIDENTE VEHÍCULO - PEATÓN	6
1.2.1. MODELO FÍSICO PARA LA COLISIÓN FRONTAL VEHÍCULO - PEATÓN	8
2. PRUEBA DISTANCIA DE LANZAMIENTO	12
2.1. REQUISITOS	12
2.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA PRUEBA .	13
3. VALIDACIÓN DE LA PRUEBA DISTANCIA DE LANZAMIENTO	14
3.1. RECURSOS	14
3.1.1. Referenciales	14
3.1.2. Tecnológicos	15
3.1.3. Logísticos	15
3.2. METODOLOGÍA	15
3.2.1. Validación	15

3.2.2. Desarrollo	16
3.3. RESULTADOS	22
4. MANEJO DE LA PRUEBA DISTANCIA DE LANZAMIENTO	23
4.1. Procedimiento general para determinar la aplicabilidad de la prueba validada	23
4.2. Aplicación de la prueba	24
CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS	26

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Fases de la colisión vehículo - peatón	5
1.2. Diagrama de cuerpo libre del centro de masa del vehículo	8
1.3. Secuencia del accidente	9
3.1. Curvas obtenidas para el conjunto de parámetros	17
3.2. Curvas máxima y mínima permitidas por el conjunto de parámetros	17
3.3. Ajuste cuadrático para los datos experimentales con dummies	19
3.4. Ajuste cuadrático para los datos experimentales con cadáveres	19
3.5. Superposición de las gráficas 3.3 y 3.4	20
3.6. Comparación de los resultados empíricos y teóricos.	20
3.7. Superposición de las gráficas 3.2 y 3.3	21
3.8. Diferencia de las curvas máxima y mínima del rango de velocidades	22

ÍNDICE DE TABLAS

- 3.1. Datos experimentales para Dummy y Cadaver, tomados de Unfall - und Sicherheitsforschung Strabenverdehr del capítulo 5, páginas 75 -135. 18

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, los medios de transporte terrestres han jugado un papel muy importante en el desarrollo tecnológico, económico y social de la humanidad. El uso del vehículo, inicialmente impulsado por fuerza animal y posteriormente equipado con motores a vapor y de combustión interna, trajo consigo un riesgo socialmente aceptado; ya que, se presentaron accidentes con carruajes, bicicletas, trenes, automóviles, aumentando de esta forma el índice de mortalidad y morbilidad.

Los registros documentales más antiguos sobre el uso del automóvil datan de 1769, cuando el escritor e inventor francés Nicholas-Joseph Cugnot [26], presentó el primer vehículo propulsado a vapor; su prototipo se estrelló, siendo quizás éste el primero de los casos que hoy catalogamos como accidente de tránsito. Este ingenioso invento, alcanzó su mayor popularidad a comienzos del siglo XX, cuando el norteamericano Henry Ford, armó un vehículo al cual llamó Ford T, llegando a vender 15.000.000 de este ejemplar entre los años de 1908 a 1928, dejando al descubierto que este medio de transporte permanecería mucho tiempo con la humanidad.

Así como creció la población vehicular, creció el índice de accidentes de tránsito, convirtiéndose en un verdadero problema de salubridad pública. Las autoridades de países con mayor número de vehículos como USA e Inglaterra, tuvieron que empezar a establecer normas que ordenaran el tránsito y que previnieran los accidentes, sin embargo, no sólo el índice de accidentalidad siguió creciendo, también la gravedad de estos; el incremento permanente del parque automotor y el aumento de la potencia y velocidad de los mismos, incrementó la siniestralidad debida a los accidentes de tránsito, alcanzando cotas muy elevadas.

Debido a esto, las muertes por accidentes de tránsito se hicieron mas comunes y la impunidad pasó a ser parte fundamental de las estadísticas de accidentología vial. Las legislaciones incluyeron en sus códigos penales, sanciones a los responsables de las lesiones, muertes y perjuicios ocasionados en accidentes de tránsito. Los casos judiciales se incrementaron en gran medida, buscando establecer culpabilidades para poder sancionar al responsable e indemnizar a la víctima o a sus familiares, en caso que la víctima halla fallecido en un accidente vehicular. Las versiones de las víctimas, imputados y testigos eran la única evidencia, que por ser subjetiva no daba un aporte conciso al caso.

Ante este panorama, la reconstrucción analítica se presentó como una alternativa en el esclarecimiento de la investigación de accidentes de tránsito, la cual, fue inicialmente desarrollada en USA y Alemania, para luego ser implementada en el resto del mundo.

En la actualidad, las estadísticas mundiales muestran que aproximadamente el noventa por ciento de todos los accidentes de tráfico, tienen origen en factores humanos [19]. Cada año más de 1.2 millones de personas mueren en las autopistas y carreteras del mundo, millones más se lesionan o quedan discapacitadas. En algunos países, de bajos y medianos ingresos, las víctimas de accidentes de tránsito ocupan hasta el diez por ciento de las camas de los hospitales. Según la organización mundial de la salud (O.M.S.) [27], se prevé que las muertes por lesiones aumentarán de 5.1 millones en el año 1990 a 8.4 millones en el año 2020; las lesiones por accidentes de tránsito son una de las principales causas de este aumento.

A nivel mundial, los costos económicos de las lesiones causadas por accidentes de tránsito en carreteras, se calculan en 518 mil millones de dólares por año. En los países en desarrollo, los costos se estiman en 100 mil millones de dólares. En el continente americano, casi 130.000 personas mueren anualmente en las autopistas y carreteras, más de 44.500 muertes ocurren en los Estados Unidos, en donde los accidentes de tránsito son la principal causa de muerte entre los hispanos menores de 34 años de edad.

Según estadísticas de la Organización Panamericana de la Salud OPS, para el continente americano, en el año 2002 se registraron 128.908 muertes en choques de tránsito. Más del 76 por ciento de estas muertes, es decir, 98.213 casos, ocurrieron en las carreteras de Estados Unidos, Brasil, México y Colombia [28].

Las cifras reportadas en el año 2004 por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses de Colombia, dicen que las muertes por accidentes de tránsito ocupan el segundo lugar en lesiones fatales después de los homicidios, así mismo, los lesionados por esta causa equivalen a una tasa de 91.4 personas por cada cien mil habitantes, es decir, 41.397 colombianos [19].

Actualmente, cuando ocurre un accidente de tránsito en el que se producen lesiones y/o muertes en personas, la reconstrucción del accidente sigue siendo una de las pruebas más objetivas a la hora de aclarar los hechos. Esto ha obligado a que se desarrolle ampliamente la física aplicada a las ciencias forenses, empleando la mecánica clásica, siendo Alemania, seguido de USA, los principales expositores; en estos países circulan hace varios años revistas especializadas en las que se muestran los resultados teóricos y experimentales de los grupos denominados reconstruccionistas afiliados y no afiliados a los laboratorios dedicados a estas prácticas.

En la investigación de los accidentes de tránsito, los métodos usados son varios, desde la misma experimentación, pasando por técnicas computarizadas de simulación, hasta las más complejas reconstrucciones teóricas, este campo se ha venido nutriendo de bastante información proveniente de los laboratorios especializados en colisiones.

Las técnicas experimentales se utilizan básicamente para representar el accidente real y poder medir allí parámetros determinantes en cada tipo de accidente, inicialmente los experimentos se enfocaron a medir distancias de lanzamiento, huellas de frenado, lesiones principales y demás generalidades influyentes, hoy podemos decir que estos estudios son cada vez más especializados, ya que, están enfocados a la prevención de lesiones fatales en peatones y al desarrollo de construcciones geométricas en los vehículos, de tal forma que se minimicen las lesiones fatales. Las escuelas alemanas por ejemplo, utilizan análisis ex-

perimentales muy específicos para determinar la severidad de cada uno de los golpes en las personas involucradas en un accidente, ya sea esta ocupante o peatón. Los datos obtenidos permiten hacer diseños exteriores e interiores en los vehículos, que garanticen seguridad a todos los actores del tránsito.

Un experimento de colisión vehículo peatón de tipo frontal, se desarrolla usando un cadaver o dummy que se sostiene por una grúa, este se pone en la trayectoria del vehículo que ha sido acelerado controladamente y que metros antes de hacer contacto con el cuerpo, es frenado de emergencia (bloqueo de llantas) hasta colisionar con el peatón a una velocidad de impacto que es medida por mecanismos de láser. Toda la escena es filmada por potentes cámaras para diferentes velocidades de impacto, de allí se obtienen relaciones empíricas para su uso en casos reales.

El estudio experimental dió paso a la simulación por computador, que se ha tomado el campo de la reconstrucción de accidentes, debido a que permite una ilustración muy sencilla en términos de costos, comparada con la experimental; sin embargo, todos los parámetros que las técnicas de simulación utilizan son tomados de datos experimentales y de resultados teóricos de la física aplicada.

Los métodos teóricos son la síntesis de concordancia entre las leyes físicas y los resultados de las pruebas de laboratorio, los desarrollos han sido diversos [6] y cada modelo busca estar en los rangos de los datos experimentales. Por tal razón, en este trabajo se pretende utilizar los datos empíricos reportados en la literatura, para verificar la fiabilidad de un método que utiliza la cinemática traslacional para conocer la velocidad a la cual un vehículo impacta con su parte frontal a un peatón adulto. Todo esto, teniendo como dato principal, la distancia a la cual este es lanzado.

ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Los accidentes de tránsito pueden clasificarse de diferentes formas, a continuación se presenta la más usual, que es utilizada por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

CLASIFICACIÓN DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Accidentes que incluyen colisión directa:

vehículo - vehículo

vehículo - motocicleta

vehículo - peatón

vehículo - bicicleta

vehículo - semoviente (animal)

vehículo - objeto fijo.

Accidentes que no incluyen colisión directa:

volcamientos, rodamientos, caídas de ocupantes, deslizamientos, etc.

Con el fin de ampliar esta clasificación, también se presenta una descripción de los tipos de vehículos. Esta será usada en lo que sigue del trabajo.

CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS:

Vehículos ligeros: motocarros, automóviles.

Vehículos medianos: camionetas, microbuses, camperos y busetas.

Vehículos pesados: doble troque, camiones rígidos, buses y vehículos articulados.

1.1 ACCIDENTE TIPO VEHÍCULO - PEATÓN

Este tipo de accidente, involucra el contacto directo de una o varias personas con uno o varios vehículos en movimiento, este contacto puede darse con la parte frontal, lateral o posterior del vehículo. Generalmente este tipo de accidente tiene lugar entre otros casos por la presencia inesperada del peatón en la trayectoria del vehículo, luego de haber sobrepasado

un obstáculo que disminuye la visibilidad de ambos. También puede darse debido al cruce irresponsable del peatón en la vía o porque el conductor está deslumbrado por otro vehículo.

En todos los casos, el comportamiento del peatón en el accidente, depende en primera instancia de la posición relativa de su centro de masa con respecto a la geometría frontal del vehículo y esta a su vez depende de si el vehículo es ligero, mediano o pesado.

En este trabajo, se estudia únicamente el caso en que un vehículo ligero (automóvil), golpea desacelerando con el frente (defensa) a un peatón adulto cuya altura oscila entre 1.5 y 2.0 metros. En esta colisión se puede determinar el comportamiento en conjunto del movimiento del vehículo y el peatón. El análisis del movimiento de la víctima permite separar el suceso en cuatro fases que desglosan la mayor parte de la dinámica de la interacción vehículo - peatón y permite la descripción detallada del impacto de este, con el vehículo y su posterior golpe con el suelo.

1.1.1. FASES DE LA COLISIÓN VEHÍCULO - PEATÓN

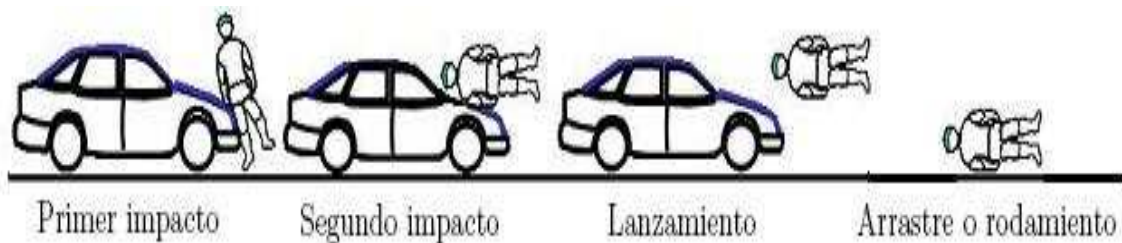


Figura 1.1: Fases de la colisión vehículo - peatón

- PRIMER IMPACTO:** Es el contacto que se presenta entre la parte frontal más saliente del vehículo (defensa) y el peatón [14]. Las lesiones debidas a este golpe se ubican según la altura del peatón y la categoría del vehículo (ver figura 1.1). Una consideración importante que se hace en esta fase, es asumir que la velocidad adquirida por el peatón debido al golpe, es igual en magnitud a la velocidad de colisión. En esta fase no se considera el movimiento rotacional del peatón.

El punto de impacto en el peatón puede variar significativamente si se trata de un adulto o de un niño [23], ya que, un peatón niño recibe el golpe en la parte alta de la pierna, mientras que un peatón adulto lo recibe en su parte baja.

El primer contacto de un peatón adulto impactado por un automóvil, se da por debajo de su centro de masa; es decir, las lesiones producidas por este golpe se ubican en sus extremidades inferiores y pueden llegar hasta el área de la pelvis, tales pueden ser: fractura conminuta de piernas, fractura de fémur [22], ruptura de ligamento en rodilla, separación púbica bilateral, dislocación sacroiliaca leve, entre otras.

- SEGUNDO IMPACTO:** Es el contacto siguiente entre el peatón adulto y otras partes frontales del vehículo (capó, vidrio panorámico) y depende de la geometría frontal del vehículo, de la altura del peatón, y de la velocidad de impacto (ver figura 1.1), la cual influye en gran medida en el tipo de lesiones. En este caso, las lesiones

se encuentran ubicadas en el tronco, cabeza y en las extremidades superiores y consisten generalmente en lesiones como: traumas craneoencefálicos, lesiones vasculares cerebrales, fractura de huesos faciales, contusión y laceración en la región occipital, traumatismos cervicales, torácicos y abdominales, entre otros.

- **LANZAMIENTO:** Debido a que el vehículo en instantes previos al impacto se encuentra en un proceso de desaceleración, el cuerpo del peatón se separa de este, para ser lanzado hacia adelante (ver figura 1.1), luego de un pequeño intervalo de tiempo en el que está en contacto, describiendo entonces una trayectoria que depende en igual forma de la geometría y velocidad del vehículo y de la altura al centro de masa del peatón; finalizando dicha fase con el contacto con el piso.
- **ARRASTRE Y/O RODAMIENTO:** Una vez termina el lanzamiento, el peatón (adulto) cae al suelo (ver figura 1.1), produciéndose un arrastre o rodamiento del cuerpo del peatón sobre la vía. Las lesiones consisten generalmente en escoriaciones, fracturas, traumatismos, etc.

1.2 CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES EN LA RECONSTRUCCIÓN ANALÍTICA DEL ACCIDENTE VEHÍCULO - PEATÓN

Las investigaciones de los accidentes vehículo - peatón, establecen que el análisis detallado de las fases y características de la colisión serán las que en últimas permitan obtener una reconstrucción analítica óptima del accidente. Es por ello que luego de tener recolectados los elementos que hacen parte de la evidencia objetiva, se hace necesario describir la dinámica del peatón en la escena del hecho.

Con base en características analizadas en las pruebas controladas que han sido realizadas con dummies [15], es posible afirmar que el movimiento del peatón está influenciado por la posición de las piernas en el momento del impacto. Si el peatón cruza de derecha a izquierda en frente del vehículo, y su pierna derecha se encuentra adelante en el momento del impacto, se produce entonces una rotación que causa que la cara golpee el capó o el parabrisas. Si el cruce es de izquierda a derecha y tiene la pierna izquierda adelante en el momento del impacto, se obtiene el mismo resultado en el golpe. Si el peatón cruza de derecha a izquierda en frente del vehículo y tiene la pierna izquierda adelante, en el momento del impacto, entonces se da una rotación del cuerpo golpeando el capó o el parabrisas con la parte posterior de la cabeza, ocurriendo de la misma forma si el peatón cruza de izquierda a derecha y la pierna derecha es la que se ubica adelante en el momento de la colisión. El otro caso que puede presentarse se da cuando las dos piernas del peatón se encuentran muy próximas, en frente del vehículo, entonces la rotación del peatón es insignificante y un lado de la cabeza impactará con el capó o parabrisas, según sea la dirección del peatón.

De esta manera se afirma, que la posición relativa del peatón con respecto al vehículo, el movimiento y la posición de las piernas antes de la colisión son de gran influencia en la severidad del golpe en la cabeza. Es importante anotar que las aceleraciones más fuertes sobre el peatón se dan, para las colisiones frontales.

La severidad de los tres tipos de impactos en la cabeza es influenciada principalmente por la velocidad que posee la cabeza en el instante que impacta con el panorámico (parabrisas), dicha velocidad disminuye con el aumento en la altura del capó [8].

Si se considera un vehículo ligero, con geometría frontal baja (máximo 80 cm aproximadamente) para una colisión frontal, se produce una velocidad de impacto de la cabeza entre 1-1.4 veces la velocidad de impacto del vehículo con el peatón, esto se presenta debido a la gran velocidad rotacional alcanzada por el cuerpo.

El rango de velocidad de impacto que corresponde a la cabeza, disminuye si la geometría frontal es cuadrada, ya que para este caso el punto de impacto se encuentra entre la defensa y el borde frontal del capó. Es así como el tipo de geometría frontal influye en la velocidad de impacto de la cabeza, además de influir en el tiempo de contacto del peatón con el capó, el cual transcurre entre el primer y segundo impacto. Si el capó es largo, se prolonga este tiempo y causa además, que la velocidad a la cual se separa el peatón, sea más baja comparada con otro tipo de geometrías. De tal forma, que las geometrías frontales que imprimen altas velocidades de impacto sobre la cabeza, usualmente producen bajas velocidades de separación.

Algunos de los parámetros que tienen poca influencia en el análisis del accidente, es la dureza del capó, las fuerzas de fricción entre el vehículo y el peatón, los reflejos del peatón o la textura del cuerpo del peatón [11].

Por otra parte, se define el área de impacto como el lugar geométrico en donde se da el primer contacto de los actores comprometidos en el hecho. Esta área, es una parte vital en la reconstrucción del accidente y para poder determinarla, en ocasiones es útil tener en cuenta accesorios del peatón tales como zapatos, sombrero, billetera, gafas e inclusive escombros del vehículo. Se debe tener en cuenta que dichos accesorios requieren de un estudio cuidadoso, debido a que podrían resultar engañosos, a causa del movimiento de vuelo libre que pudieron poseer.

Haciendo referencia a otras evidencias importantes, tales como: las lesiones [17] en el peatón, debe decirse que las de mayor severidad se dan generalmente en el primer impacto [11]. Un análisis detallado de las lesiones que se presentan en cada una de las fases del accidente [25], permite establecer una relación importante con la velocidad de colisión, ya que cuando la velocidad de impacto aumenta, con ella se eleva la gravedad de las lesiones. Es por ello que en la reconstrucción analítica de accidentes de tránsito el objetivo principal es determinar el valor más probable para la velocidad de impacto, que finalmente es uno de los parámetros solicitados por la administración de justicia.

Para el conocimiento de dicha velocidad, puede analizarse el espacio recorrido entre el punto de impacto del vehículo, la distancia recorrida en el lanzamiento y la posición final de reposo.

1.2.1. MODELO FÍSICO PARA LA COLISIÓN FRONTAL VEHÍCULO - PEATÓN

En el análisis de este tipo de accidente, se emplea la mecánica clásica como herramienta principal. Haciendo uso de ella, se describe de forma analítica cada una de las fases presentes en la colisión, lo que permite desarrollar la reconstrucción analítica.

Para este modelo físico se considera un vehículo ligero (automóvil), el cual se mueve en forma rectilínea en la dirección positiva de la abscisa (x), realizando un proceso de desaceleración, ante la presencia de un peatón (adulto) que se ubica en la trayectoria de este. El adulto es golpeado por debajo de su centro de masa (CM), con el frente del vehículo, el cual posee en ese momento una velocidad \vec{v}_{imp} .

Para el tipo de accidente que se ha descrito, lo primero que se desea conocer es la desaceleración que experimentó el vehículo en el proceso de frenado. La fuerza de rozamiento que actúa sobre él, depende del coeficiente de fricción llantas - piso (μ_v) y de la fuerza normal (N) a la superficie (piso). Con este análisis y utilizando el diagrama de cuerpo libre (ver figura 1.2), se puede encontrar la magnitud de la aceleración del vehículo:

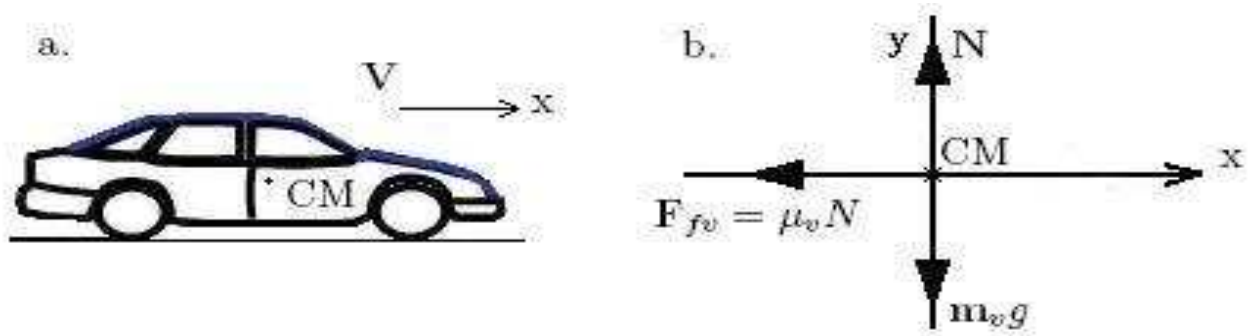


Figura 1.2: Diagrama de cuerpo libre del centro de masa del vehículo

$$\mathbf{a} = \mu_v g \quad (1.1)$$

La trayectoria del peatón tomando como referencia su centro de masa puede ser descrita dentro de tres zonas en las cuales se desglosa en detalle las cuatro fases presentes en el accidente.

1. Zona de contacto:

Aquí tiene lugar, el primer y segundo impacto [5]; es decir, el movimiento del peatón está descrito por el golpe sobre el capó y el impacto con el parabrisas hasta el inicio del lanzamiento (ver figura 1.3 a). En esta zona, se obtiene una expresión para la velocidad (V_{cai}) a la cual, el peatón se separa del vehículo.

Sabiendo que la aceleración de un cuerpo, sometido a un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado se puede expresar de la siguiente forma:

$$\vec{a} = \frac{\vec{V}_f - \vec{V}_0}{t},$$

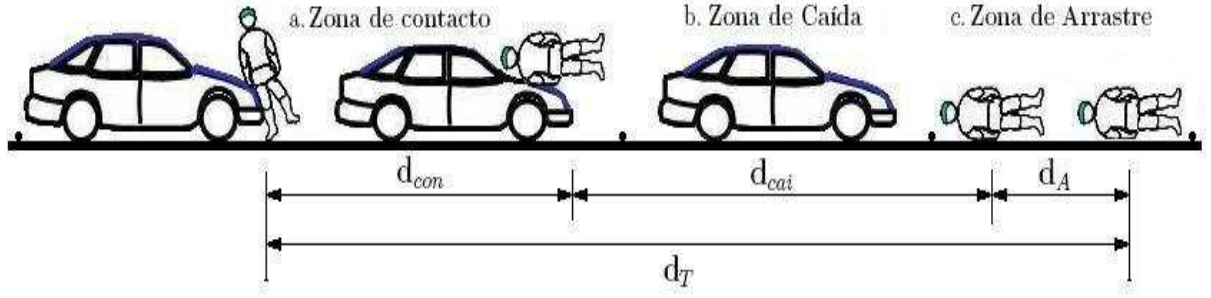


Figura 1.3: Secuencia del accidente

en primera aproximación, se aplica esta ecuación al movimiento del peatón, considerando que la velocidad con la que comienza su movimiento (\vec{V}_0) puede asumirse igual a la velocidad con la que fue impactado por el vehículo, $\mathbf{V}_{imp}(\hat{x})$ [2]. Esto, claro está, despreciando el movimiento rotacional del peatón.

La velocidad final (\vec{V}_f) por su parte, es igual a la velocidad (\vec{V}_{cai}) con la que se inicia el lanzamiento al piso, la cual, en términos de sus componentes se escribe:

$$\vec{V}_{cai} = \mathbf{V}_{caix}(\hat{x}) + \mathbf{V}_{caiy}(\hat{y})$$

en la cual $\mathbf{V}_{caiy}(\hat{y}) = 0$, asumiendo que el peatón se comporta como una partícula ubicada en su centro de masa y que cae desde allí, describiendo un movimiento semiparabólico. De la ecuación (1.1) se expresa la desaceleración del vehículo como: $\vec{a} = -\mu_v g(\hat{x})$; y siendo $\mathbf{t} = \mathbf{t}_c$ el tiempo transcurrido desde el primer impacto hasta el momento en que el peatón se separa del vehículo, se obtiene finalmente:

$$-\mu_v g = \frac{\mathbf{V}_{cai} - \mathbf{V}_{imp}}{t_c},$$

de modo que para la magnitud de (V_{cai}), se tiene:

$$\mathbf{V}_{cai} = \mathbf{V}_{imp} - \mu_v g \mathbf{t}_c \quad (1.2)$$

Según esta ecuación la velocidad a la cual cae el peatón, puede ser menor o igual que la velocidad con la que éste es impactado.

En esta zona también podemos encontrar la magnitud de la distancia (d_{con}) que recorre el vehículo durante el primer y segundo impacto, usando la ecuación, que describe la distancia recorrida por un cuerpo, sometido a un movimiento rectilíneo uniformemente desacelerado, la cual, está dada por:

$$d_{con} = \mathbf{V}_0 t - \frac{1}{2} a t^2,$$

reemplazando se obtiene:

$$d_{con} = \mathbf{V}_{imp} t_c - 4,9 \mu_v t_c^2 \quad (1.3)$$

2. Zona de Caída:

Corresponde a la fase de lanzamiento (ver figura 1.3b), aquí la velocidad inicial es

igual a \mathbf{V}_{cai} , que es la velocidad con la que finaliza la zona de contacto. Siendo éste, un movimiento en el plano, se puede descomponer en dos partes, las cuales permiten hallar el tiempo que transcurre en la caída del peatón (t_{cai}) y la longitud en x recorrida en este tiempo:

En x , se describe un movimiento uniforme para el cual:

$$d_{cai} = V_{cai}t_{cai}. \quad (1.4)$$

En y , la expresión que relaciona la altura desde la cual se considera, cae el peatón, con el tiempo que dura la caída, es:

$$\mathbf{h} = 1/2\mathbf{g}t_{cai}^2,$$

donde \mathbf{h} es la altura del centro de masa del peatón y \mathbf{g} es la aceleración debida a la fuerza de gravedad; con esto, se obtiene la siguiente expresión para el tiempo de caída:

$$t_{cai} = \sqrt{\frac{2\mathbf{h}}{\mathbf{g}}} \quad (1.5)$$

A partir de las ecuaciones (1.2 y 1.5), se encuentra la ecuación que describe la distancia de caída que recorre el peatón en esta zona:

$$\mathbf{d}_{cai} = (\mathbf{V}_{imp} - \mu_v \mathbf{g}t_c) \sqrt{\frac{2\mathbf{h}}{\mathbf{g}}} \quad (1.6)$$

3. Zona de Arrastre:

Corresponde a la distancia que recorre el peatón (ver figura 1.3c) desde el momento en que cae al piso hasta su detención final [3], despreciándose todo movimiento de rodadura. Para determinar la expresión que describe la distancia de arrastre (\mathbf{d}_A), se puede usar la ecuación:

$$\mathbf{V}'_f{}^2 - \mathbf{V}'_0{}^2 = 2\mathbf{a}d_A, \quad (1.7)$$

debido a que el peatón se detiene al final de esta zona, $\mathbf{V}'_f = 0$; la velocidad inicial \mathbf{V}'_0 es \mathbf{V}_{cai} y la aceleración que experimenta el peatón está dada por: $-\mu_p \mathbf{g}$, donde μ_p es el coeficiente de rozamiento peatón - piso.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se obtiene la expresión para la distancia de arrastre \mathbf{d}_A :

$$\mathbf{d}_A = \frac{\mathbf{V}_{cai}^2}{2\mu_p \mathbf{g}},$$

reemplazando la ecuación (1.2),

$$\mathbf{d}_A = \frac{(\mathbf{V}_{imp} - \mu_v \mathbf{g}t_c)^2}{2\mu_p \mathbf{g}} \quad (1.8)$$

Distancia de lanzamiento:

Es el espacio recorrido por el peatón, desde el punto de contacto inicial con el vehículo,

hasta el sitio donde se ubica finalmente (ver 1.3), esta distancia (\mathbf{d}_T) se obtiene sumando las ecuaciones (1.3), (1.4) y (1.8), que equivale a:

$$\mathbf{d}_T = \mathbf{d}_{con} + \mathbf{d}_{cai} + \mathbf{d}_A,$$

que de forma explícita es:

$$\mathbf{d}_T = \mathbf{V}_{imp}t_c - 4,9\mu_v t_c^2 + (\mathbf{V}_{imp} - \mu_v g t_c) \sqrt{\frac{2\mathbf{h}}{\mathbf{g}}} + \frac{(\mathbf{V}_{imp} - \mu_v g t_c)^2}{2\mu_p g} \quad (1.9)$$

Despejando en la ecuación (1.2) \mathbf{V}_{imp} se obtiene:

$$\mathbf{V}_{imp} = \mathbf{V}_{cai} + \mu_v g t_c \quad (1.10)$$

utilizando las ecuaciones (1.2) y (1.10) se encuentra para (1.9):

$$\mathbf{d}_T = \mathbf{V}_{cai}t_c + \mu_v g t_c^2 - \frac{1}{2}\mu_v g t_c^2 + \mathbf{V}_{cai}t_{cai} + \frac{\mathbf{V}_{cai}^2}{2\mu_p g},$$

organizando esta expresión se obtiene:

$$\frac{1}{2\mu_p g} \mathbf{V}_{cai}^2 + \mathbf{V}_{cai}(\mathbf{t}_c + \mathbf{t}_{cai}) + \frac{1}{2}\mu_v g t_c^2 - \mathbf{d}_T = 0 \quad (1.11)$$

Para obtener la solución de esta ecuación se aplicó la fórmula de la ecuación cuadrática, haciendo:

$$a = \frac{1}{2\mu_p g}; \quad b = (\mathbf{t}_c + \mathbf{t}_{cai}); \quad c = \frac{1}{2}\mu_v g t_c^2 - \mathbf{d}_T;$$

Se conoce entonces la expresión para obtener la velocidad de caída (\mathbf{V}_{cai}) en la fase de vuelo del peatón:

$$\mathbf{V}_{cai} = \mu_p g \sqrt{(\mathbf{t}_c + \mathbf{t}_{cai})^2 - \frac{\mu_v t_c^2}{\mu_p} + \frac{2\mathbf{d}_T}{\mu_p g}} - \mu_p g (\mathbf{t}_c + \mathbf{t}_{cai}). \quad (1.12)$$

Reemplazando en el siguiente orden, (1.12) y (1.5) en (1.10), se obtiene:

$$\mathbf{V}_{imp} = \mu_v g t_c + \mu_p g \sqrt{\left(\mathbf{t}_c + \sqrt{\frac{2\mathbf{h}}{\mathbf{g}}}\right)^2 - \frac{\mu_v t_c^2}{\mu_p} + \frac{2\mathbf{d}_T}{\mu_p g}} - \mu_p g \left(\mathbf{t}_c + \sqrt{\frac{2\mathbf{h}}{\mathbf{g}}}\right) \quad (1.13)$$

En el caso en que se conoce la longitud de la huella de frenado (\mathbf{L}), es posible obtener la velocidad del vehículo (\mathbf{V}_{FR}) en el momento en que empieza a frenar, esto se hace utilizando una ecuación análoga a (1.7), que resulta en:

$$\mathbf{V}_{FR} = \sqrt{2\mu_v g L + \mathbf{V}_{imp}^2} \quad (1.14)$$

Con este análisis físico se puede conocer la velocidad de impacto y la velocidad con que empieza a frenar el vehículo. Datos relevantes en la reconstrucción de accidentes frontales, vehículo - peatón.

PRUEBA DISTANCIA DE LANZAMIENTO

Cuando ocurre un accidente frontal de tipo vehículo - peatón, el análisis de lo ocurrido, puede desarrollarse aplicando una prueba que tiene como fundamento, el modelo físico descrito en el capítulo anterior. La aplicación de esta prueba consiste en determinar un rango para la velocidad de impacto [21] a partir de la ecuación (1.13), conociendo la distancia de lanzamiento, la altura (**H**) del peatón y rangos para los demás parámetros.

2.1 REQUISITOS

La prueba debe contar con evidencia suficiente del accidente, que permita conocer los parámetros necesarios para el análisis teórico, dicha evidencia es:

- **Informe del accidente de tránsito (croquis):** Dibujo que posee todos los detalles que se encuentran en la escena del accidente y en la zona en que sucedió, especifica entre otras cosas, la posición del norte, las mediciones del punto de impacto, de los vehículos y de las víctimas en la posición última en que quedaron después de la colisión; además, contiene las características geométricas, físicas y ambientales de la vía, y la huella de frenado cuando quedase demarcada. Estas mediciones están indicadas con respecto a un punto o puntos de referencia perfectamente definidos en el espacio [9].
- **Valoración de lesiones personales:** Describe las lesiones y datos antropométricos del peatón.
- **Protocolo de necropsia:** Es el informe que proporciona la causa de muerte del peatón en caso de presentarse.
- **Datos del vehículo como:** geometría frontal (especificando las modificaciones) y averías del vehículo como resultado del accidente. Aquí toma gran importancia el experticio técnico, la inspección judicial, fotos y videos si los hubiese.

- **Acta de levantamiento:** La realiza la policía judicial o quienes tengan funciones de policía judicial, dependiendo del lugar en que sucedió el accidente. El acta contiene todo lo referente a la escena del hecho.

2.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA PRUEBA

- **Distancia de lanzamiento (d_T):** El análisis del croquis permite realizarlo a escala y establecer el lugar donde ocurrió la colisión, para estimar la distancia de lanzamiento.
- **Coefficientes de fricción:** Dentro del material de evidencia se estudia las características de la vía, para definir los parámetros de fricción; primero, el que corresponde al rozamiento entre las llantas y el suelo que se estima entre 0.4 y 0.8 para piso húmedo y seco respectivamente; y luego el debido a la interacción del peatón y el suelo, el cual con base en pruebas realizadas con dummies se ha establecido en el rango (0.6 - 1.0) [20].
- **Altura del centro de masa (h):** Con los datos antropométricos del individuo, se tiene la altura del peatón (H), para calcular la altura del centro de masa del peatón usando la expresión $h = 0,56H$.
- **Tiempo de Contacto (t_{con}):** La geometría frontal del vehículo influye en este parámetro, ya que las estimaciones de este rango de tiempo para un automóvil, están entre (0.4 s - 0.8 s) [2].

La prueba distancia de lanzamiento permite conocer un rango para la velocidad de impacto, siempre y cuando los elementos probatorios suministrados estén completos. Pero cabe resaltar que la prueba a veces, se puede aplicar para hallar la distancia de lanzamiento a partir de la velocidad de impacto (ver ecuación 1.9). En tal caso, el analista puede valerse de métodos que le permitan hallar la velocidad de impacto, tales como el método de severidad de lesiones (AIS), método de offset; que utiliza la distancia lateral entre el primer y segundo impacto, el modelo de velocidad a partir de daños en el vehículo, entre otros.

VALIDACIÓN DE LA PRUEBA DISTANCIA DE LANZAMIENTO

La norma técnica colombiana NTC - ISO - IEC 17025 hace referencia a los requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración que un laboratorio debe cumplir para ser aprobado por esta norma y así recibir la acreditación, tiene dentro de su estructura items claves, tales como los organizacionales, sistema de calidad, control de documentos, control de registros, auditorías internas, equipos y métodos de ensayo y calibración; este último se refiere a los métodos y los procedimientos apropiados que el laboratorio debe emplear para todos los ensayos y/o calibraciones que le conciernan o estén a su alcance, entre varios puntos que tiene este importante requisito se encuentra el de la validación de métodos que según como la define la ISO se trata de confirmar por examen y suministro de evidencia objetiva el cumplimiento de los requisitos particulares para un uso específico [16]. Esta confirmación puede hacerse por ejemplo comparando con patrones de referencia o con materiales de referencia, comparando los resultados obtenidos con otros métodos.

En este proceso de validación se realiza una evaluación de la incertidumbre y del margen de error en los resultados para poder describir la fiabilidad de la prueba.

La validación de un método de ensayo y/o calibración acredita a un laboratorio para realizar dicha prueba con total confianza en sus resultados ya que además de ofrecer un análisis detallado del objeto a estudio, da una garantía de eficacia y cumplimiento al cliente.

3.1 RECURSOS

3.1.1. Referenciales

Se utilizaron datos experimentales tomados de diferentes referencias consignadas en un trabajo [10]; estos tienen gran credibilidad ya que han sido desarrollados por instituciones con alta calidad y competitividad tales como: Volkswagen A.G, Institute of Automotive Engineering, Technical University Berlin, Institute of Legal Medicine, Medical Universi-

ty Hannover, Department of Pathology, University Clinic Charlottenburg, Free University Berlin, Laboratory of Impacts, ONSER, Laboratory of Anatomy, UER Saints - Peres, Paris, University of Birmingham, Daimler Benz; los cadáveres de prueba a cargo del Laboratory of Physiology and Biomechanics Peugeot S.A./Renault.

Este macro proyecto es el pilar de esta validación, tomándose como referencia para la comparación y verificación de la eficiencia de la técnica distancia de lanzamiento. Las razones por las que se escogió esta publicación tienen que ver con la disponibilidad bibliográfica de experimentos tan detalladamente desarrollados, así como del gran número de casos que aborda esta revista. Además actualmente el acceso a experimentos desarrollados con cadáveres es muy complicado debido a que las legislaciones de muchos países ven anti-humano estas practicas. Sin embargo, se hace una breve comparación con artículos más recientes [7] con el fin de verificar la veracidad de las pruebas reportadas. Además de estas razones encontramos que los modelos de los vehículos empleados en estos experimentos son muy similares a los que actualmente transitan por las calles de Colombia.

3.1.2. Tecnológicos

Para la realización de los cálculos y los análisis necesarios en este desarrollo, se empleó un computador equipado con el software Mathematica 5.2 el cual es un programa especializado en gráficas y cálculos matemáticos, también se utilizó el editor de texto LATEX para la redacción.

3.1.3. Logísticos

El desarrollo del trabajo de validación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander y en el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses de la Regional Nororiental de tal forma que se se tuvo completa disponibilidad de espacios para el análisis forense y su respectivo complemento científico.

3.2 METODOLOGÍA

Teniendo los datos experimentales de las pruebas controladas de colisión vehículo - peatón consignadas en las referencias, puede demostrarse la veracidad de la prueba teórica.

3.2.1. Validación

Se considera validada una prueba de reconstrucción de accidentes tipo vehículo - peatón, cuando los datos experimentales para la velocidad de impacto se encuentran dentro de los

rangos establecidos por la prueba teórica, siendo este rango acorde a las necesidades del cliente, ya que es la velocidad de impacto, el dato que en últimas puede ser solicitado por este. Haciendo un análisis de diversos dictámenes desarrollados por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses de la Regional Bogotá y Nororiental se estableció que el rango máximo de variación de velocidades de impacto que da este instituto ante una investigación, es de 15 Km/h. Valor que para esta validación se establece como el límite que satisface las necesidades del cliente.

3.2.2. Desarrollo

Utilizando la ecuación (1.13) se puede establecer el rango para la velocidad de impacto de un vehículo en función de la distancia de lanzamiento, teniendo en cuenta que los valores para μ_v , μ_p , \mathbf{t}_c y \mathbf{h} varían, dependiendo de cada caso sometido a análisis; es decir, para conocer la velocidad del vehículo es necesario saber estos parámetros, o por lo menos el rango en el que se encuentran.

Debido a que en la práctica conocer valores exactos de estos parámetros para cada situación es un trabajo muy complicado, algunas instituciones se han dado a la tarea de realizar experimentos controlados para establecer los rangos más comunes de dichos parámetros y poder así utilizarlos en la aplicación de la prueba.

Para la validación de esta prueba se emplearon los siguientes rangos:

$$\mu_v \rightarrow (0.4 - 0.8)$$

$$\mu_p \rightarrow (0.6 - 1)$$

$$\mathbf{t}_c \rightarrow (0.4 - 0.8) \text{ (s)}$$

$$\mathbf{h} \rightarrow (0.84 - 1.12) \text{ (m)}$$

μ_v y \mathbf{t}_c , se tomaron de referencias especializadas, para μ_p se tuvo en cuenta el rango utilizado por el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses y para \mathbf{h} se consideró la estatura máxima y mínima que un adulto promedio presenta (1.5 m - 2m).

Una vez establecidos los rangos para estos parámetros, con la ayuda de un software especializado en cálculos matemáticos (Mathematica 5.2), se utilizó la ecuación (1.13) y se generó, una gráfica de la velocidad de impacto versus la distancia de lanzamiento, para cada combinación, de todos los posibles valores que pueden tomar los parámetros, tomando pasos de 0.1 para μ_v y μ_p , 0.1s para \mathbf{t}_c y 0.01m para \mathbf{h} .

En la figura (3.1), se muestran algunas de las curvas obtenidas para el anterior procedimiento. Como puede verse, todas ellas siguen un mismo comportamiento creciente, suave y monótono, de tal forma, que el conjunto de parámetros que describan la gráfica con mayor área bajo la curva, serán los que determinen la curva máxima, y de igual forma, el conjunto de parámetros que describan la gráfica con menor área bajo su curva, serán los que determinen la curva mínima. Dicha área, se calculó integrando cada una de las curvas entre 0 y 30m, ya que no se reportan valores experimentales para distancias superiores de treinta metros.

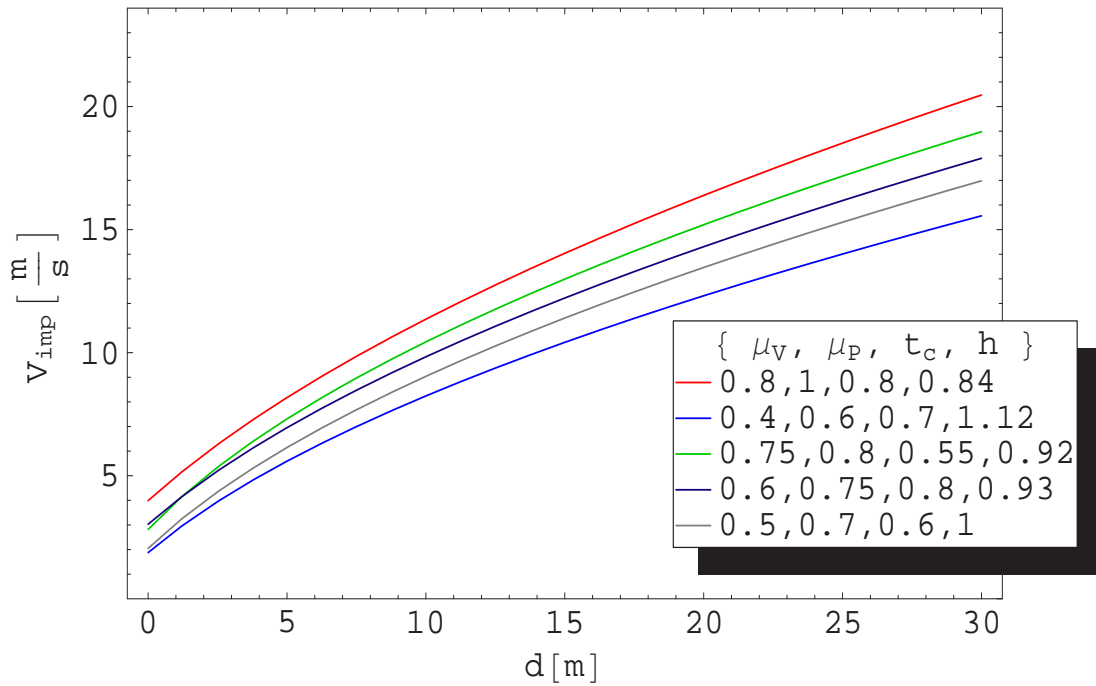


Figura 3.1: Curvas obtenidas para el conjunto de parámetros

En la figura (3.2) se muestran las curvas máxima y mínima permitidas por el conjunto de parámetros. Tales parámetros para la curva máxima son: $\mu_v = 0,8$, $\mu_p = 1$, $t_c = 0,8$ y $h = 0,84$; para la curva mínima $\mu_v = 0,4$, $\mu_p = 0,6$, $t_c = 0,7$ y $h = 1,12$.

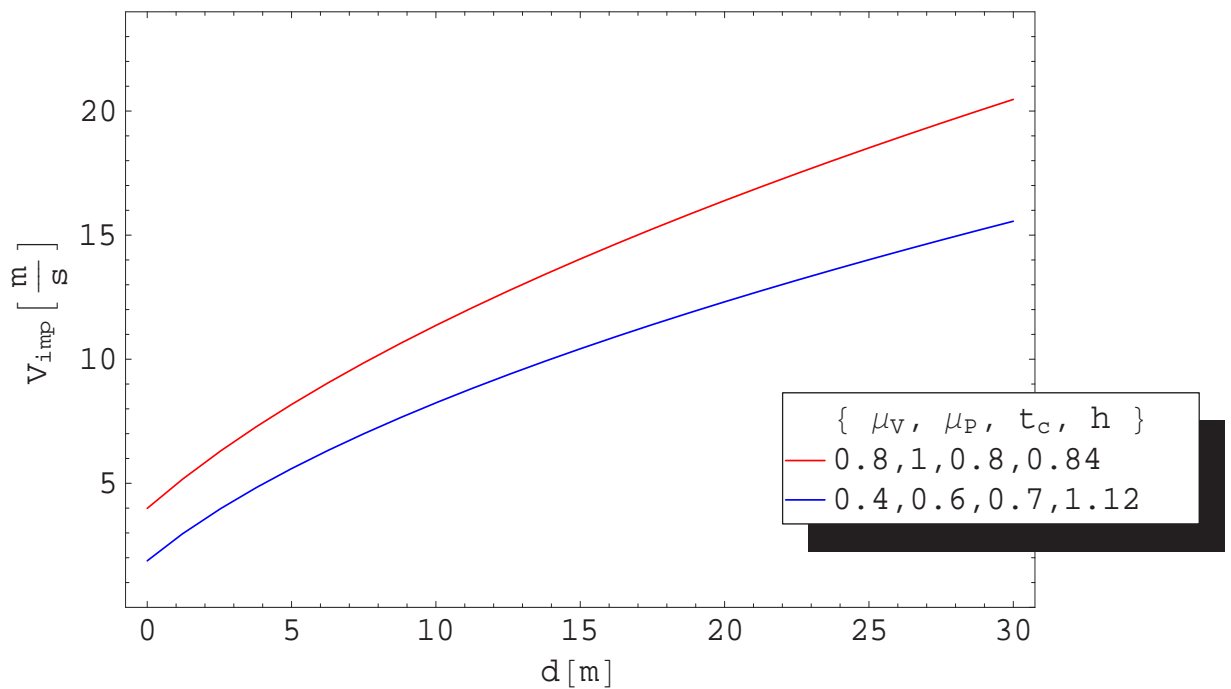


Figura 3.2: Curvas máxima y mínima permitidas por el conjunto de parámetros

El análisis de las curvas permite observar que un cambio en los parámetros μ_p , μ_v , \mathbf{h} y \mathbf{tc} generan variaciones significativas en las características de las curvas; es decir, que para cada caso real, los valores escogidos para los parámetros, son determinantes en el rango que se establece para la velocidad de impacto. Además, es de anotar que para un caso real, \mathbf{h} debe encontrarse dentro del rango que emplea esta prueba.

Por otro lado, con los datos experimentales de las pruebas desarrolladas por las instituciones que se mencionaron al comienzo de este capítulo, se realiza la tabla (3.1) para pruebas con dummies y cadáveres respectivamente.

Datos experimentales para Dummy y Cadáver			
Datos Dummy		Datos Cadaver	
$d_T(m)$	$V_{imp}(m/s)$	$d_T(m)$	$V_{imp}(m/s)$
0	0	0	0
10	9.69	8.5	9.58
9.8	9.72	15.0	11.89
11.5	11	10.2	12.22
11.2	11.03	11.5	11.14
11.8	11.03	11.8	11.03
14.7	12.56	9.8	11.47
10.6	11.14	9.2	11.17
15.2	13.25	8.8	11.33
17.9	13.31	22.5	13.25
16.0	13.28	17.4	13.06
15.9	13.33	12.8	12.53
20.5	13.5	12.2	8.83
21.0	13.89	11.9	9.06
18.4	13.64	26.6	15.56
18.1	13.11	29.5	15.42
16.3	13.25	25.5	15.44
14.8	12.94	23.6	15.69
23.4	15.22	25.6	15.67
25.7	15.89	*	*
24.4	15.44	*	*
26.2	15.53	*	*
24.0	15.97	*	*
27.0	15.97	*	*

Tabla 3.1: Datos experimentales para Dummy y Cadaver, tomados de Unfall - und Sicherheitsforschung Strabenverdehr del capítulo 5, páginas 75 -135.

Los datos consignados en la tabla 3.1 fueron ajustados por medio de una regresión cuadrática, obteniéndose la curvas de velocidad de impacto en función de la distancia de lanzamiento, que se presentan en las figuras 3.3 y 3.4 respectivamente.

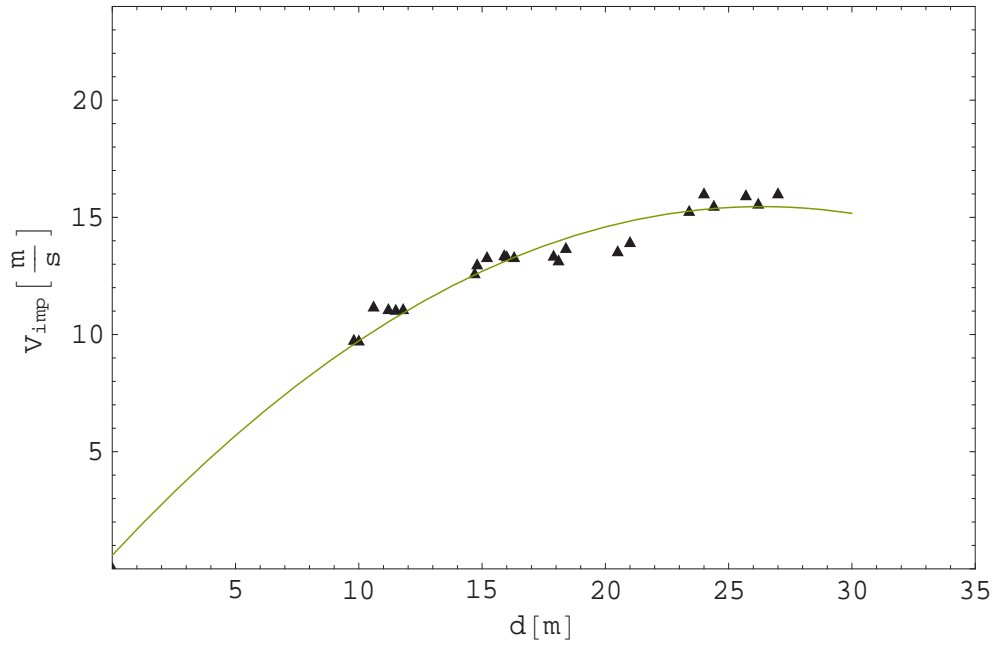


Figura 3.3: Ajuste cuadrático para los datos experimentales con dummies

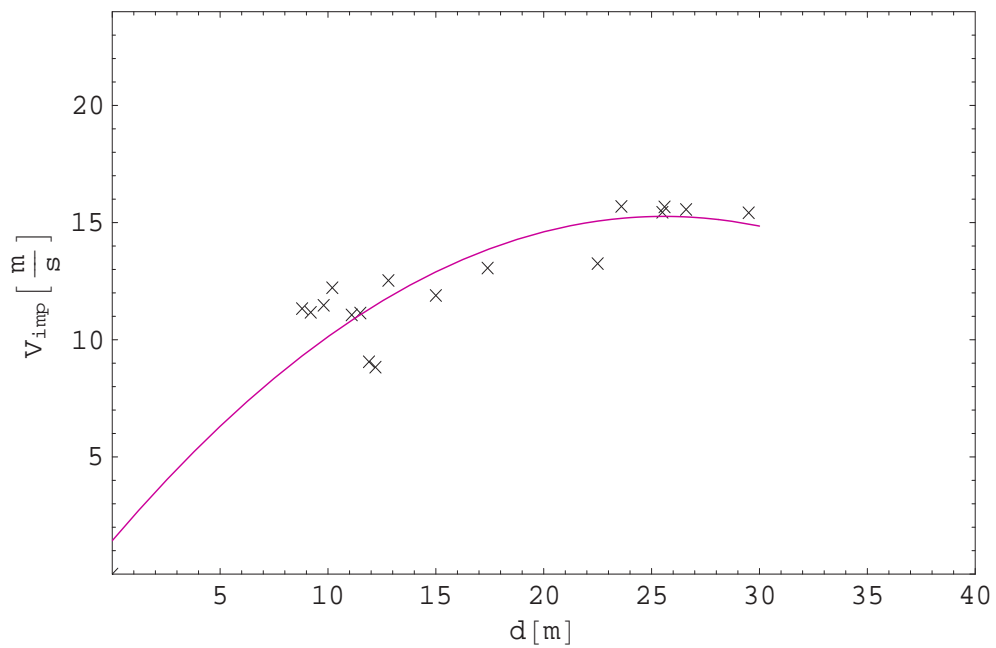


Figura 3.4: Ajuste cuadrático para los datos experimentales con cadáveres

La superposición de las gráficas mostradas en las figuras 3.3 y 3.4 permiten ver la similitud de los resultados en los experimentos con dummy y cadáver(ver 3.5).

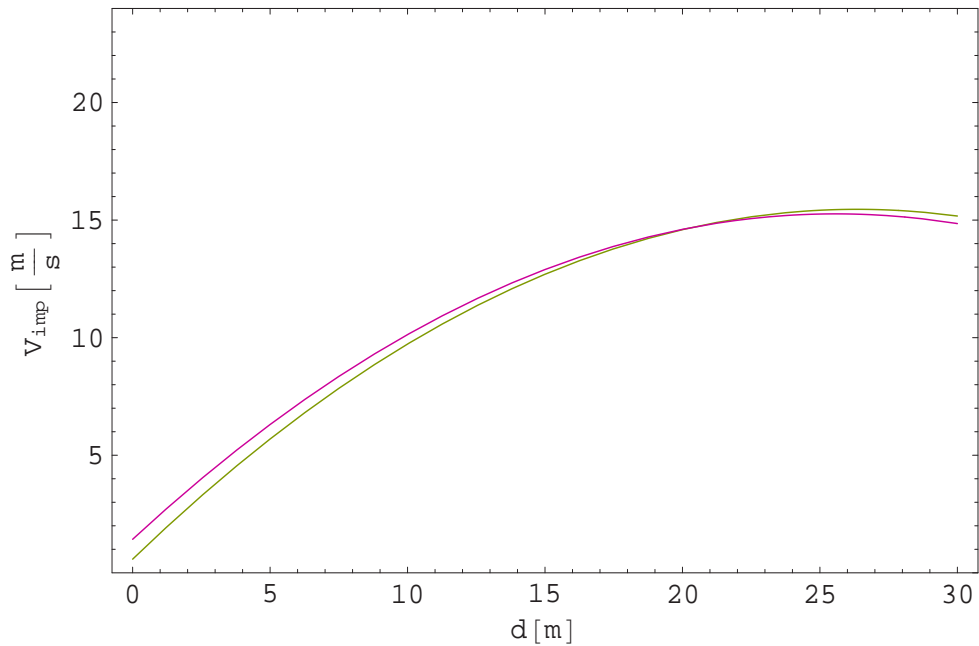


Figura 3.5: Superposición de las gráficas 3.3 y 3.4

Si se comparan los resultados empíricos y las curvas resultantes del análisis teórico (ver figura 3.6), puede observarse que todos los datos de las pruebas con dummies, se encuentran dentro del rango determinado teóricamente; además, se observa claramente que trece de los diecinueve datos de las pruebas con cadáveres, se encuentran dentro de dicho rango. Esto concuerda con las apreciaciones hechas por los analistas de los experimentos, los cuales encontraron mayor similitud al accidente real, en el caso en que las pruebas fueron desarrolladas con dummies [10]. Por tal motivo, en adelante los análisis utilizan únicamente estos datos.

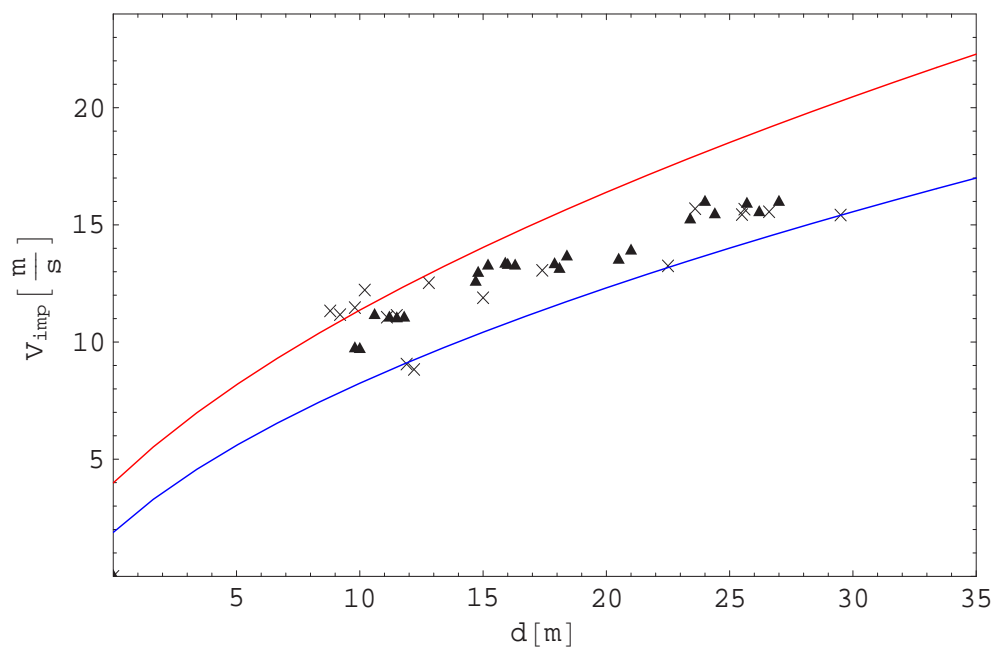


Figura 3.6: Comparación de los resultados empíricos y teóricos.

Con el fin de determinar el rango en el que el método distancia de lanzamiento se ajusta más a los datos experimentales se superpusieron las figuras 3.2 y 3.3 que se muestran en la figura 3.7:

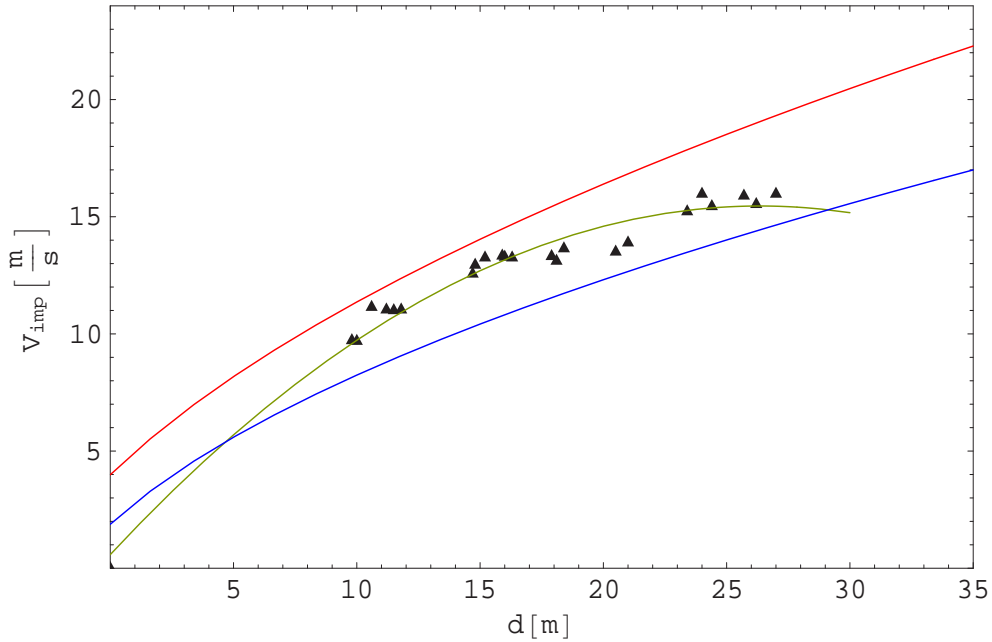


Figura 3.7: Superposición de las gráficas 3.2 y 3.3

Como se posee la ecuación para para cada una de estas curvas, entonces se halló analíticamente las coordenadas del punto de corte entre ellas, dando como resultado las coordenadas (4.68, 5.4) y (29.12, 15.3) dichos puntos de corte definen el rango de distancias de lanzamiento en el cual la prueba es mas confiable, ya que es justamente allí donde coinciden los datos experimentales con el rango teórico. De modo que la prueba es mas eficiente para el rango de distancias de lanzamiento comprendido entre 4.68 y 29.12 metros.

Con el fin de definir, en términos exactos la variación del rango de velocidades de impacto (ΔV_{imp}), en función de la distancia de lanzamiento, se restó la curva mínima de la máxima y la resultante se muestra en la figura 3.8).

La gráfica de la figura (3.8) tiene como ecuación:

$$\Delta V_{imp} = 3,53 + 9,81(-1,21 + \sqrt{0,96 + 0,2d_T}) - 5,89(-1,18\sqrt{1,06 + 0,34d_T}) \quad (3.1)$$

Esta ecuación, permite conocer la variación del rango de velocidades, sabiendo la distancia de lanzamiento. De esta forma, el rango máximo de variación de la velocidad equivale a 17 Km/h y el mínimo a 9 Km/h. Si se desea conocer la distancia de lanzamiento que corresponde a un rango de variación de velocidad de 15 Km/h (4.17 m/s), se reemplaza este valor en la ecuación (3.1) y se obtiene una distancia de lanzamiento correspondiente a: 21.03 metros.

Esta es la distancia máxima para la cual, la prueba, además de ser aplicable, cumple con las especificaciones del INMLCF en lo referente a las necesidades del cliente expuestas en la subsección 3.2.1.

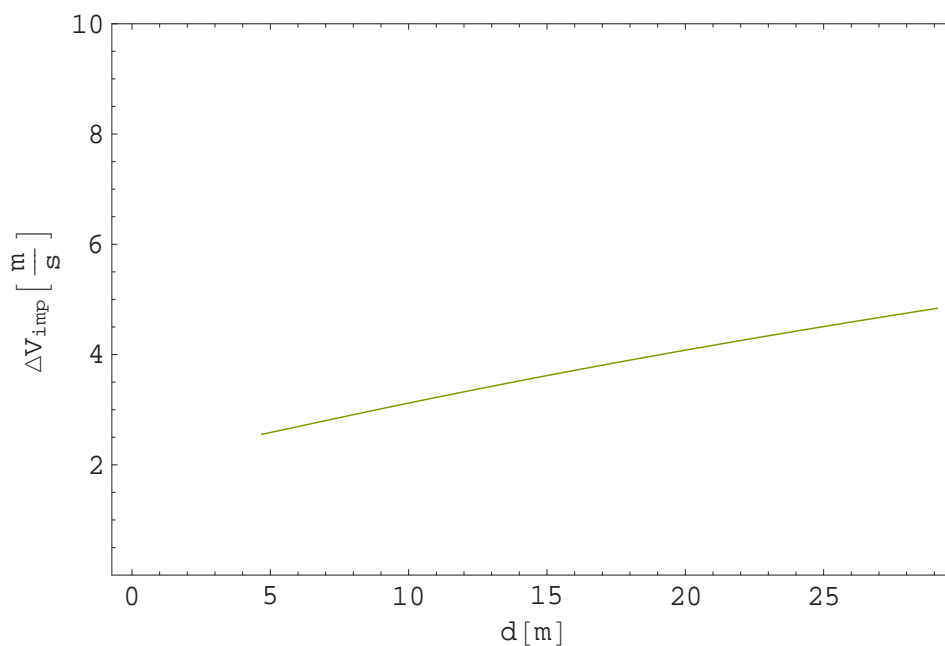


Figura 3.8: Diferencia de las curvas máxima y mínima del rango de velocidades

3.3 RESULTADOS

Se estableció el rango de variación de velocidades para cualquier distancia que se encuentre dentro del intervalo de fiabilidad; este rango, crece a medida que aumenta el valor de la distancia de lanzamiento, esto ocasiona que dicha variación pueda ser de 17 Km/h en el caso menos fiable.

Se encontró una ecuación (ver 3.1) que permite hallar el rango máximo de variación de velocidad que puede contener el resultado de un análisis para una distancia de lanzamiento específica. Esto como una medida de fiabilidad previa a la aplicación de la prueba.

Teniendo en cuenta que para el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, la importancia práctica de la validación, es mostrar resultados que satisfagan las necesidades del cliente; en este caso la administración de justicia. Se logró determinar el intervalo de mayor fiabilidad de aplicación de la prueba, el cual está en el rango de distancias de lanzamiento de 4.68 a 29.12 metros. Sin embargo el rango para la distancia de lanzamiento que satisface las necesidades del cliente se encuentra en el intervalo de 4.68 a 21.03 metros;

Se demostró que la prueba distancia de lanzamiento, de conformidad con la norma técnica Colombiana NTC - ISO - IEC 17025 es aplicable, ya que permite dar resultados que se ajustan en gran medida a las necesidades básicas que debe suplir el INMLCF en lo referente a este tipo de investigaciones.

MANEJO DE LA PRUEBA DISTANCIA DE LANZAMIENTO

La reconstrucción eficiente de un accidente de tránsito tipo vehículo peatón para un caso frontal es una labor que no solamente depende de la validación de la prueba que se utilice, ya que debe tenerse en cuenta que la secuencia lógica de pasos a seguir para saber la conveniencia o no del método a utilizar es quizás una labor que puede tomar mas tiempo que la misma aplicación de la prueba, ya que no es suficiente conocer la distancia de lanzamiento sino que se debe analizar en conjunto esta evidencia con otras igualmente importantes como: los puntos de impacto en el peatón y el vehículo, daños en el mismo, lesiones de la o las víctimas y la huella de frenada; si se cuenta con la información completa de los elementos probatorios que se relacionan con el caso es posible reconstruir la escena del accidente.

4.1 Procedimiento general para determinar la aplicabilidad de la prueba validada

Una vez se tienen los elementos probatorios de un accidente de tránsito se deben llevar los siguientes pasos para determinar si la prueba distancia de lanzamiento es aplicable al caso.

1. Verificar que el accidente corresponda a un caso de colisión frontal entre un automóvil y un peatón.
2. Que el peatón haya quedado ubicado delante del vehículo de tal forma que se pueda asumir que el vehículo se encontraba frenando al momento de la colisión
3. Que sea posible identificar el lugar del impacto; ya sea por manchas de sangre, ubicación estratégica de evidencia o por otros métodos.
4. Que del lugar del impacto al punto donde quedó ubicado el peatón haya una distancia superior o igual a 4.68 metros e inferior o igual a 29.12 metros.
5. Que se conozcan características del vehículo tales como (marca, modelo y modificaciones frontales en caso de haberlas.)

6. Que se conozcan las características físicas geométricas y ambientales de la vía.
7. Que se conozca la altura del peatón y que esta sea superior o igual a 1.50 metros e inferior o igual a 2 metros.

Nota: Los requisitos 1,2,5 y 6 se extractan del croquis entregado por las autoridades competentes, para los requisitos 3 y 4 es necesario haber desarrollado el croquis a escala. El requisito 7 puede tomarse de la necropsia o en algunos casos del croquis.

4.2 Aplicación de la prueba

Una vez verificados los anteriores requisitos se procede a establecer los rangos para t_c , μ_v , μ_p y el valor para h de la siguiente forma: Como se conoce la geometría frontal del vehículo y el rango permitido por la prueba para t_c , se hace la estimación de este parámetro teniendo en cuenta que el tiempo de contacto aumenta en vehículos con el capó largo y disminuye para vehículos con una longitud corta en el capó.

Para la determinación del rango de μ_v se analiza el estado de la vía y de las llantas del vehículo, ya que esta interacción permite o no que el vehículo se deslice al momento de frenar.

El rango para μ_p depende también del estado de la vía, además de la velocidad de caída.

El parámetro h es el más determinista y puede hallarse fácilmente como se explicó en el capítulo 3.

A continuación se reemplaza el rango para t_c , μ_v , μ_p , el valor para h y para d_T en la ecuación (1.13); de tal forma que pueda determinarse el valor máximo y mínimo para la velocidad de impacto. Una vez obtenido el rango para la velocidad de impacto, junto con el área de impacto y la huella de frenado (en tal caso de conocerse) se puede conocer la velocidad del vehículo justo antes de frenar utilizando la ecuación (1.14) y de esta forma concluir la reconstrucción analítica del accidente.

CONCLUSIONES

- La reconstrucción analítica de accidentes de tránsito tipo vehículo - peatón es un campo muy desarrollado de la física forense en algunos países, debido a que han visto la necesidad de investigar a fondo acerca de este tema con el fin de construir vehículos más seguros y dictámenes más confiables en el campo judicial.
- La prueba distancia de lanzamiento es un método de gran aplicabilidad para la reconstrucción analítica del accidente vehículo - peatón ya que el análisis empleado por esta, permite desglosar en detalle la secuencia del accidente usando parámetros físicos medibles.
- La validación de pruebas además de ser un requisito para cumplir con la norma técnica colombiana NTC - ISO - 17025 es una estrategia completa que permite medir la fiabilidad de los métodos empleados por los laboratorios de ensayo y/o calibración.
- La validación de la prueba distancia de lanzamiento, permitió comprender de mejor forma el uso de esta para obtener la reconstrucción analítica de un accidente tipo vehículo - peatón, además, facilitó el desarrollo de una secuencia lógica de pasos para establecer la aplicabilidad del método.
- Se generó un beneficio directo al Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses ya que este trabajo hace un gran aporte al programa de validación de pruebas implementado por esta institución.
- Se fortaleció la incursión de la Escuela de Física de la Universidad Industrial de Santander en lo que se refiere al nuevo Sistema Judicial Acusatorio, específicamente dando cumplimiento al artículo 204 en su código de procedimiento penal.
- Con este trabajo se hace entrega a la sociedad en general, de un procedimiento validado que se fundamenta en la misión de la Universidad Industrial de Santander así como en la del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, que en últimas buscan contribuir al fortalecimiento del estado social de derecho colombiano.

REFERENCIAS

- [1] Alonso M, Finn J, *Fisica Vol I*, Fondo Educativo Interamericano (1976).
- [2] Asthon S, *Pedestrian Accident Investigation and Reconstruction* Institute of Police Technology and Management, University of North Florida, 14 - 18 August(1989).
- [3] Becke M, Golder U, *Sliding Distances of pedestrians on wet roadways*, Verkehrson - fall und Fahrzeugtechnik, 1986(12).
- [4] Constitución Política de Colombia *Ley 600 de 2000*.
- [5] Damask, *Forensic physics of the vehicle accidents*, Physics today AC(1987).
- [6] Depriester J, Perrin C, Serre T, Chalandon S, “*Comparison of Several Methods For Real Pedestrian Accident Reconstruction*”, Criminal Research Institute of the French National Gendarmerie, French National Institute for Transport and Safety Research (INRETS) Paper Number 05 - 0333.
- [7] Eubanks J, Haight W, *Pedestrian Involved Traffic Collision Reconstruction Methodology*, SAE 921591(2001)
- [8] Fredriksson R, Haland Y, Yang J, “*Evaluation of a new Pedestrian head Injury protection system with a sensor in the bumper and listing of the bonnet´s rear part*” Autoliv Research, Sweden, Chalmers University of TEchnology, Sweden, paper number 131.
- [9] Instituto Nacional de transporte y tránsito, *Manual para diligenciar el informe de accidentes*, Imprenta Nacional de Colombia (1991).
- [10] Lenz K, Appel H, Tarriere C, Cesari *Unfall - und Sicherheitsforschung Strassenverkehr*(1982)- Hel34.Join Biomechanical Research Project KOB. Bundesanstalt fur Strassenwesen. Bereich Unfallforschung Bruher Strabe 1 Köln 51. ISSN 0341 - 5732.
- [11] Limpert R, *Motor Vehicle Accident Reconstruction and cause analysis*, Matthew Bender and Company, Inc (1999).
- [12] López D, *Técnica de “distancia de lanzamiento” empleada en la reconstrucción de colisiones vehículo - peatón*, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.
- [13] Manrique R, *Manual de referencia para la validación de técnicas analíticas. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Regional Nororiental* (1995).
- [14] Martínez L, “*Pedestrian Accident Reconstruction*”, Review and Update (1995) SAE P-12, 1983.

- [15] Nieder P, Schlumpf M, “*Motion Characteristics of Pedestrian Dummies in Collisions*”, *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 1988 (2).
- [16] *Norma Técnica Colombiana NTC - ISO -IEC 17025*, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Bogotá D.C.(2001).
- [17] “*Pedestrian Impact Injury and Assessment*” SAE P-12, 1983.
- [18] Rojas C, Jiménez J, *Informe sobre el comportamiento de las lesiones de causa externa. “Área Metropolitana de Bucaramanga”*, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Regional Nororiental (2004).
- [19] Ruíz P, *Forensis “Datos para la vida”*, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Centro de referencia Nacional sobre violencia (2004).
- [20] Simms C, Wood D, “*Coefficient of Friction in Pedestrian Throw*”, *Journal of ITAI*, vol 9 N° 1, p12-14, Jan 2000.
- [21] Simms C, Wood D, Walsh D, *Confidence limits for impact speed estimation from pedestrian projection distance*, Department of Mechanical Engineering, IJCrash 2004 Vol 9 N° 2 pp. 219 - 228.
- [22] Snedeker J, Walz F, Muser M, Lanz C, Schroeder G, “*Assessing Femur and Pelvis Injury Risk in Car - Pedestrian Collisions: Comparison of full body PMTO impacts, and a human body finite element model*”, Institute of Biomedical Engineering, University and Swiss Federal, Institute of Technology, Zurich Switzerland, Institute of Legal Medicine, Hannover Medical School Germany, paper number 05 -103.
- [23] Stürtz G, Suren E, *Analysis of the Injury Mechanism of Child - Pedestrian Accidents Through Scene Analysis*, *Automobilistische Zeitschrift* 78, 1976 (9).
- [24] *Validación de métodos analíticos “Documento controlado N° 5”* Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.
- [25] yang J, Yao J, Otte D, “*Correlation of different impact conditions to the injury severity of pedestrian in real world accidents*”, Chalmers University of Technology, Sweden, Hannover Medical University, Germany, paper N° 05 - 0352.
- [26] <http://webs.sinectis.com.ar/mcagliani/index.htm>
- [27] <http://www.who.int/es/>
- [28] <http://www.paho.org/spanish/dd/pin/whd-04main.htm>