

INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ATROPELLAMIENTOS O ATROPELLOS

MARIO MURRIETA FOURNIER¹ // JUAN ANTONIO CARRERAS ESPALLARDO

Al ser este un trabajo capítulo entre un autor mexicano y otro español la terminología empleada es mixta. Así atropellamiento (México) equivale a atropellos (España). Así, hechos o accidentes de tránsito equivale a accidentes de tráfico o siniestros viales en España.

I. PUNTO DE PARTIDA

Todas las técnicas usadas para la investigación y reconstrucción de accidentes de tránsito, cualquiera que estos sean, son actos encaminados a obtener los medios de prueba que nos llevaran a conocer, de manera más aproximada, la verdad de lo ocurrido; son diligencias encaminadas a la obtención de elementos probatorios en general. Cuanto más depuradas sean estas técnicas, mejores serán los resultados obtenidos.

Cuando tratamos de investigar y reconstruir un atropellamiento nos encontramos con la problemática que dicho acontecer es menos entendible que cualquier accidente o siniestro de tránsito en donde participan uno o varios vehículos. Este tipo de investigaciones es más demandante y complicado porque en el intervienen dos cuerpos (vehículo y peatón) de masa y peso diferente que se mueven a distintas velocidades, y en algunos casos, en diferentes sentidos.

Este trabajo se refiere a una secuencia típica de los eventos en un atropellamiento, el movimiento del vehículo y del peatón previos al impacto, durante la colisión y hasta que ambos finalmente detienen su movimiento.

Se debe aclarar que cuando se habla del movimiento de peatón no se refiere a la dirección con la que se dirigía sino a la velocidad con la que este caminaba o corría antes del impacto y a la velocidad con la que fue proyectado.

¹ Experto y profesor universitario en hechos de tránsito (México)

Se presentaran una serie de métodos para analizar a los peatones envueltos en este tipo de situaciones, incluyendo una revisión de las técnicas para calcular la velocidad del impacto del vehículo y finalmente se verán algunas pruebas para realizar una comparativa de las diferentes formas de análisis para tener un marco referencial para evaluar estos métodos.

II. EL ATROPELLO A PEATONES

Este tipo de siniestros viales es especialmente relevante en zona urbana, donde se produce el mayor número de fallecidos y heridos graves. Las estadísticas reflejan un descenso anual en estos fatídicos daños, con algunas diferencias que rompen la escala de descenso continuado cada año por lo que todavía hay mucho trabajo que realizar pues son también muy elevadas a pesar de la reducción.

Un atropello es un accidente de circulación ocurrido entre un vehículo y una persona que por lo general no es conductor, aunque también se puede considerar atropello cuando la diferencia de masas entre vehículos es muy grande, como por ejemplo un accidente entre un camión articulado y una bicicleta.

Estudios realizados sobre los atropellos nos dicen que, los que se producen a una velocidad inferior a 32 Km/h, muere el 10 % de los atropellados, pero si la velocidad está por encima de 64 km/h este porcentaje llega hasta el 90 %. Son cifras alarmantes que dejan al descubierto la fragilidad de las personas y la mayor atención que merecen en la investigación y reconstrucción de siniestros viales.

Según datos estadísticos de la Dirección General de Tráfico, en el año 2012 fallecieron en España 376 peatones en accidentes de tráfico, lo que supone el 20 % del total de fallecidos. 1.916 resultaron heridos graves, el 18 % del total de heridos graves y 8.859 fueron heridos leves, el 8 % del total correspondiente. Su índice de letalidad fue 3,4, casi el doble del índice para la totalidad de usuarios que fue 1,6. En las vías interurbanas fallecieron 144 peatones, suponiendo el 38 % de los peatones fallecidos y el 10 % del total de fallecidos en estas vías, y 810 resultaron heridos, siendo su índice de letalidad 15,1, casi 6 veces mayor que para el total interurbano, que fue 2,6. En las vías urbanas fallecieron 232 peatones, el 62 % del total de peatones fallecidos y 9.965 resultaron heridos. El índice de

letalidad de los peatones en las vías urbanas fue 2,3, más del triple de la tasa total en estas vías que fue 0,7 y en estas vías uno de cada dos fallecidos por accidente de tráfico era un peatón.

Peatones fallecidos, heridos graves y leves e índice de letalidad según vías interurbanas y urbanas. Año 2012

Tipo de vía	FALLECIDOS		HERIDOS GRAVES		HERIDOS LEVES		ÍNDICE DE LETALIDAD
	Número	%	Número	%	Número	%	
Vías interurbanas	144	38%	317	17%	493	6%	15,1
Vías urbanas	232	62%	1.599	83%	8.366	94%	2,3
Total	376	100%	1.916	100%	8.859	100%	3,4

En las vías interurbanas en 2012 han fallecido 144 peatones, de los cuales 33 eran mayores de 74 años, el 23 %, el siguiente grupo de edad con mayor participación porcentual fue el de 65 a 74, con el 16 %, seguido del grupo de 35 a 44 años con el 15 %. En cuanto a los peatones heridos graves es también el grupo de edad de mayores de 74 años el que mayor participación ha tenido, el 17 % de los peatones heridos graves pertenecía a ese grupo de edad.

Peatones fallecidos, heridos graves y leves e índice de letalidad según grupos de edad: Vías Interurbanas. Año 2012

Edad	FALLECIDOS		HERIDOS GRAVES		HERIDOS LEVES		ÍNDICE DE LETALIDAD
	Número	%	Número	%	Número	%	
De 0 a 14	2	1%	19	6%	53	11%	2,7
De 15 a 24	11	8%	23	7%	58	12%	12,0
De 25 a 34	15	10%	43	14%	66	13%	12,1
De 35 a 44	21	15%	38	12%	68	14%	16,5
De 45 a 54	19	13%	46	15%	51	10%	16,4
De 55 a 64	18	13%	42	13%	42	9%	17,6
De 65 a 74	23	16%	44	14%	56	11%	18,7
De 75 y más	33	23%	53	17%	69	14%	21,3
Desconocido	2	1%	9	3%	30	6%	4,9
Total	144	100%	317	100%	493	100%	15,1

En las vías urbanas fallecieron 232 peatones, el 44 % de ellos tenían más de 74 años y el 21 % tenían entre 65 y 74 años. En cuanto a los peatones heridos graves, el 26 % tenía más de 74 años y el 15 % entre 65 y 74 años.

Peatones fallecidos, heridos graves y leves e índice de letalidad según grupos de edad: Vías Urbanas. Año 2012

Edad	FALLECIDOS		HERIDOS GRAVES		HERIDOS LEVES		ÍNDICE DE LETALIDAD
	Número	%	Número	%	Número	%	
De 0 a 14	9	4%	177	11%	1.261	15%	0,6
De 15 a 24	8	3%	130	8%	948	11%	0,7
De 25 a 34	12	5%	104	7%	895	11%	1,2
De 35 a 44	14	6%	152	10%	928	11%	1,3
De 45 a 54	11	5%	158	10%	931	11%	1,0
De 55 a 64	23	10%	185	12%	889	11%	2,1
De 65 a 74	48	21%	232	15%	841	10%	4,3
De 75 y más	102	44%	411	26%	1.220	15%	5,9
Desconocido	5	2%	50	3%	453	5%	1,0
Total	232	100%	1.599	100%	8.366	100%	2,3

En 2012 los peatones fallecidos en vías interurbanas supusieron el 10 % de los fallecidos en esas vías, porcentaje idéntico al del año 2011. En cuanto a la participación en vías urbanas supusieron el 50 % de los fallecidos en esas vías, un porcentaje similar al de 2011 que fue el 49 %.

Respecto de 2011 los peatones fallecidos han disminuido un 1 %, en las vías interurbanas el descenso fue del 9 %, mientras que en las vías urbanas se ha producido un aumento del 5 %.

En cuanto a los peatones heridos graves, se ha producido un aumento de los mismos en las vías interurbanas, el 6 %, y un descenso del 1 % en las vías urbanas.

Evolución de los peatones fallecidos. Vías interurbanas y urbanas; años 2003-2012

Tipo de Vía	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Variación 2012/2011	Variación Interanual 2003-2012
Vías interurbanas	424	340	348	317	287	236	201	193	158	144	-9%	-11%
Vías urbanas	363	343	332	296	304	266	269	278	222	232	5%	-5%
Total	787	683	680	613	591	502	470	471	380	376	-1%	-8%

Evolución de los peatones heridos graves. Vías interurbanas y urbanas; años 2003-2012

Tipo de Vía	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Variación 2012/2011	Variación Interanual 2003-2012
Vías interurbanas	728	579	575	540	529	428	368	373	300	317	6%	-9%
Vías urbanas	2.039	2.136	2.051	1.919	1.783	1.634	1.585	1.586	1.616	1.599	-1%	-3%
Total	2.767	2.715	2.626	2.459	2.312	2.062	1.953	1.959	1.916	1.916	0%	-4%

III. REVISIÓN DE UNA SECUENCIA DE COLISIONES

Para la investigación y reconstrucción de atropellamientos es muy importante entender y comprender la secuencia de eventos que se llevaron a cabo al impacto o contacto inicial y cada uno de los que se desarrollaron después de dicho impacto, de la misma manera que se analiza cualquier otra colisión de vehículos de motor. El atropellamiento de peatón es normalmente mal entendido lo que origina que las evidencias físicas de mayor importancia no siempre están bien documentadas. Este fenómeno ocurre con más frecuencia en este tipo de casos que en cualquier otro tipo de siniestros.

Si no entendemos con claridad las diferentes causas que ocasionan un atropellamiento, las presunciones de posibles acciones posteriores del cuerpo del peatón o del vehículo son totalmente inútiles.

Los atropellamientos pueden parecer eventos superficialmente simples... "El señor caminaba con dirección a la avenida, fue golpeado por el vehículo y cayó ahí"....Sin embargo al analizar todo el proceso del accidente o siniestro, uno aprende que ciertos sucesos por muy simples que se vean, como "la forma en que caminó hacia la avenida" son usualmente más complicados.

Se debe tomar en cuenta "En dónde y cómo" el peatón entró en la avenida, "dónde" se encontraba cuando fue golpeado por el vehículo y la relación angular entre el peatón y el vehículo. Es importante, y casi nunca sea hace, determinar la velocidad con la que el peatón caminó o corrió hacia la avenida.

Las velocidades de los peatones al caminar o correr están frecuentemente relacionadas con su propio peso, con el peso que llevan encima (bultos, maletas etc.), si iba solo o en grupo, o si tenía o presentaba algún impedimento físico aparente o no.

Cuando analizamos la alineación del impacto entre las dos partes participantes, usualmente nos dice cómo y por dónde el peatón entró a la avenida y dónde fue golpeado. También determinará, de alguna manera, hacia donde se moverá el cuerpo del peatón después de ser golpeado, implicando también, para donde se moverá el cuerpo sobre el vehículo y después sobre la vía.

Efectuar una investigación y reconstrucción de un atropellamiento de manera simple y superficial constituye una verdadera trampa en donde muchos de los investigadores caen, y como consecuencia de esta acción, el resultado de su análisis no es el adecuado, carece de

veracidad y resulta fácilmente refutado por otros investigadores. Otra trampa también lo es cuando la investigación se sobre-complica, es decir, cuando el investigador toma en cuenta datos inexistentes, difíciles de demostrar o, en su caso, que no tienen solución posible. Estas situaciones son fáciles de evitar entendiendo la secuencia típica de los eventos en este tipo de accidentes.

En la mayoría de los casos, la secuencia de eventos en una colisión con peatones, sigue un patrón conocido o cae en un grupo de eventos ordenados fáciles de identificar. Solamente y en muy pocas circunstancias ese orden varía significativamente.

Esta secuencia general de eventos, en un atropellamiento, empieza con el peatón entrando al camino, o en otros casos, cuando el vehículo se sale del mismo y entra en un área donde se encuentran peatones. En cualquiera de los dos casos, el punto en el cual, tanto el peatón como el vehículo, entran en un área de contacto marca el inicio del atropellamiento.

IV. LA PERCEPCIÓN VISUAL, DETECCIÓN, IDENTIFICACIÓN Y TIEMPO DE REACCIÓN

Esta primera fase inicial, donde el peatón y el vehículo entran en un área de contacto, marca el principio de un periodo de percepción visual y reacción por parte del conductor y del peatón. La percepción visual es el primer proceso cognoscitivo a través del cual ambos sujetos (conductor y peatón) captan información de su proximidad. Es durante la primera porción del intervalo de percepción que el peatón se hace potencialmente visible al conductor del vehículo y este es visible al peatón. En la mayoría de los casos el vehículo será más discernible al peatón que en forma contraria.

Siguiendo este punto, las partes entrarán en una fase de observación e identificación. Si no hay detección de un objeto, no puede haber comienzo de una percepción y por obviedad no habrá un proceso de respuesta. La respuesta (reacción) es producto de la identificación y detección.

Se debe asumir que la percepción de peligro y la reacción es un fenómeno no limitado solo al conductor del vehículo, sino que también debe aplicarse al peatón.

Cuando una persona tiene que realizar una acción de respuesta a un estímulo dado (en este caso visual), transcurre un cierto tiempo entre la recepción del estímulo y la ejecución

de la acción, este intervalo de tiempo se conoce como tiempo de reacción de una persona. El tiempo de reacción está dado por dos aspectos: El primero es el tiempo de tránsito del estímulo en los órganos sensibles correspondientes. El segundo tiene que ver con el tiempo que pasa entre los impulsos nerviosos y el movimiento muscular.

El tiempo de reacción, llamado también latencia de la respuesta, comprende el tiempo de los órganos de los sentidos, el tiempo cerebral, el tiempo del nervio y el tiempo muscular.

Es importante mencionar que el breve análisis que realiza el conductor para seleccionar una maniobra, utiliza un determinado tiempo (tiempo de reacción), tiempo durante el cual un conductor no ha ejecutado la maniobra y su vehículo continúa en movimiento, recorriendo una distancia (Distancia de Reacción) la cual se determina de acuerdo con el tiempo utilizado para analizar y evaluar el peligro y la velocidad del vehículo.

En este sentido, la decisión del conductor, su reacción, debe ser la de continuar conduciendo sin quitar la vista del peatón, pero mirando hacia una situación más peligrosa que pueda desarrollarse.

El conductor habiendo visto e identificado el peligro potencial (nos referimos al peatón como “Peligro potencial” dependiendo de la percepción de este sobre el vehículo y las acciones o inacciones del mismo), le ha asignado un nivel de relativa prioridad. Él debe tomar una decisión; debe comenzar la fase de reacción. En este momento, el conductor va a encontrar solamente dos alternativas posibles: un cambio de velocidad y/o un cambio de dirección, esto se debe a que hubo detección y una decisión afirmativa para actuar. En este sentido también se debe considerar la no acción del conductor como una elección posible, sin embargo, la no acción del conductor nos debe indicar que no hubo detección o identificación del peatón.

Al hablar de un cambio de velocidad no solo hablamos de una disminución de la misma, aunque parezca absurdo, también hablamos de un posible incremento. Este cambio de velocidad puede ser combinada con un cambio de dirección, desviándose a la derecha o izquierda.

Es importante tomar en cuenta que la reacción del conductor no es el único factor decisivo. La decisión de acción o la decisión de no acción del peatón debe influenciar la consecuencia del suceso.

Al final de la fase de percepción y reacción de todo el evento, asumiendo que ni el conductor ni el peatón son capaces de evitar la colisión, uno puede determinar que las dos partes involucradas han pasado a un punto de no escape y la colisión es inminente.

Una vez que se haya pasado el punto de no escape y eliminado cualquier acto que pueda intervenir, habrá, de alguna manera, el impacto.

V. EL IMPACTO

Los pasos que llevan a la resolución de un atropellamiento son:

Impacto (vehículo-peatón).

Aceleración del cuerpo del peatón.

Movimiento del cuerpo del peatón sobre la tapa del motor del vehículo.

Movimiento del cuerpo del peatón, del vehículo hacia el suelo y;

Movimiento del cuerpo del peatón en el suelo.

Otros autores establecen en sus obras cuatro pasos en los atropellamientos:

Impacto único o primario, que consiste en el contacto con la defensa o el paragolpes del vehículo, seguido del secundario, aquel que se produce contra el capó, los focos delanteros, etc.

Caída.

Arrastre y;

Aplastamiento .

Sin embargo se debe establecer que estos pasos son mencionados de manera general y son pocos los que realizan un estudio profundo entre paso y paso.

Se debe establecer con toda claridad que en la mayoría de los atropellamientos, cuando el peatón es impactado por la parte frontal de un vehículo en movimiento, experimentará los eventos en el orden listado, y cuando no es así, los pasos no serán fácilmente definidos, ejemplo: Cuando un vehículo golpea con su parte lateral a un peatón.

El impacto es pues el punto en donde alguna parte del vehículo y el peatón hacen contacto.

La mayoría de los accidentes o siniestros entre peatones y vehículos ocurren cuando los primeros hacen contacto con la parte frontal de los segundos estando estos en movimiento. Es menos frecuente que el peatón tenga contacto con las partes laterales o la parte posterior

de un vehículo. En este documento se asumirá que el peatón es golpeado por la parte frontal de un vehículo.

Siguiendo el impacto inicial, las acciones y dinámicas entre el peatón y el vehículo dictan el grado en el que el peatón es acelerado por el vehículo y después es “sacado” o “lanzado” sobre el vehículo.

En el caso de vehículos con el frente tosco (ejemplo: Vans o Vanette), este lanzamiento no es muy pronunciado, de igual forma sucede en una situación en la que el peatón es un niño pequeño y su centro de masa está por debajo de la superficie horizontal de la tapadera del motor del vehículo que impacta.

El evento de la colisión establece la fase de aceleración del peatón y es en la que esencialmente el vehículo “saca” al peatón del suelo y acelera al mismo en una elevación rotativa.

Después de haber sido “sacado” del piso, el peatón es proyectado en el aire o hay movimientos en y sobre el vehículo. Una proyección adelantada (se definirá más adelante) es un ejemplo de una situación en la que el peatón se mueve inmediatamente en la misma dirección que el vehículo que lo golpea, en vez de experimentar la aceleración rotativa sobre la tapa del motor.

Cronológicamente existe un corto periodo de tiempo, en donde el peatón es “atrapado” por la parte frontal del vehículo, lo que origina que este sea desplazado en la misma dirección con la que transitaba el vehículo, este movimiento de aceleración o desplazamiento que sufre el peatón puede estar, en algunos casos, cerca de la velocidad con que transitaba el vehículo.

Cuando ocurre el contacto inicial entre la parte frontal del vehículo (generalmente el área de la defensa) y el peatón (usualmente en las piernas), concede una aceleración rotativa en el peatón. En el caso típico de un vehículo con el frente “chato” el movimiento del peatón hacia la tapa del motor ocurre entre los primeros 100 milésimas de segundo (Figura 1).



Figura 1.

Después del impacto inicial y del principio de una aceleración rotativa del cuerpo del peatón, la percepción es típicamente la de que el peatón es “lanzado al aire y de regreso al parabrisas”. En realidad a menos que el peatón esté inicialmente corriendo con dirección a la parte frontal del vehículo que golpea, este no tiene velocidad en la dirección al parabrisas del vehículo. Lo que se observa es un efecto de salto en el cual al cuerpo del peatón está siendo golpeado por los contornos del vehículo cuando este pasa a través de la posición del peatón a la hora del impacto.

Supongamos que un peatón está caminando de Este a Oeste tratando de cruzar una avenida con tránsito con dirección hacia el Norte. El peatón lleva un vector de velocidad hacia el Oeste y el vehículo tiene un vector de velocidad hacia el Norte. Ninguno de los dos tiene un componente de velocidad con dirección hacia el Sur. Cuando el peatón es golpeado por el vehículo, el impacto le da al cuerpo de éste una apariencia de “movimiento” hacia el parabrisas del vehículo el cual está al “Sur”. De hecho, lo que está ocurriendo es que el vehículo se está moviendo con dirección Norte a través de la ubicación del peatón al momento del impacto. El impacto primero acelera la parte baja del cuerpo del peatón.

Continuando con nuestro ejemplo del peatón adulto, la aceleración es típicamente debajo del centro de la masa del cuerpo, lo que provoca una rotación del peatón que hace que la parte baja del cuerpo de éste se mueva con dirección al Norte con el vehículo, mientras que la porción alta de su cuerpo continua moviéndose con dirección al Oeste; la dirección en la que el peatón iba caminando. Debido a la combinación de una velocidad con dirección al Oeste y la aceleración rotativa del impacto, el cuerpo del peatón adquiere un componente de velocidad en el cual debe ser descrito como una dirección Oeste-Suroeste.



Debido a la aceleración rotativa y desde que la parte baja del cuerpo del peatón es movida, a causa del impacto, en una dirección diferente a la de su parte superior, esta última rueda hacia la parte frontal del vehículo.

Asumiéndose que el cuerpo del peatón permanece como una masa sencilla maltratada después del impacto, esta masa es acelerada por el vehículo a cierta velocidad no más alta que la del vehículo que la golpea y con la misma a la dirección en el momento del impacto.

Para propósitos meramente analíticos consideraremos que la velocidad del impacto del vehículo que golpea, en ningún caso, será menor que la velocidad del peatón después del impacto.

La forma para poder determinar la velocidad del peatón y del vehículo, antes, durante y después del impacto se analizará más adelante en este documento, en el entendido de que el vector de velocidad y dirección original del peatón se debe de establecer en cualquier trabajo de investigación y reconstrucción, a menos que se compruebe de manera definitiva

y contundente que el peatón se encontraba sin movimiento (parado) sobre la vía al momento del impacto.

En el ejemplo anterior, el peatón tiene una velocidad y dirección hacia Oeste al momento de ser golpeado por el vehículo, aunque la masa y la velocidad del vehículo que golpea es mucho más grande que la del peatón, el componente de energía cinética de este tendrá un efecto en las acciones de movimiento del peatón después del impacto y deberá, sin embargo, ser establecida en nuestro trabajo de reconstrucción e investigación. Normalmente, el peatón proyectado sobre la parte frontal de un vehículo deberá manifestar algún movimiento en relación con el componente de su propia velocidad inicial.

El vector de velocidad del vehículo deberá influir en la dirección y velocidad del peatón a través de su parte frontal. Este movimiento es menos notable entre más rápido transite el vehículo al momento del impacto y más pronunciado a menor velocidad. El movimiento debe ser restringido por el propio diseño del vehículo.

El resultado es que el peatón cae y rota sobre la parte frontal del vehículo. El contorno de la tapa del motor altera o detiene la velocidad rotativa original del cuerpo del peatón y después lo “saca” o “empuja” para que el vehículo se mueva por debajo de éste, es decir, se mueve por debajo de la parte superior del cuerpo del peatón, levantándolo del suelo mientras que la altura horizontal, referente al suelo, de la parte frontal del vehículo aumenta.

Si el vehículo que golpea transita con la velocidad suficiente para “levantar” el cuerpo del peatón, éste será llevado sobre la parte frontal del mismo vehículo hasta el parabrisas, lo que causa un movimiento adicional que podría, en un momento determinado, llevar directamente el cuerpo del peatón hacia el parabrisas.

Una vez que el cuerpo del peatón está en el parabrisas, si la velocidad de impacto es elevada, el cuerpo será llevado hacia arriba del techo del vehículo (Figura 2).



Figura 2.

Es imprescindible hacer notar que solo en raras y contadas ocasiones el cuerpo del peatón romperá y atravesará el parabrisas de los vehículos comerciales certificados, debido a la manufactura especial (Normas Oficiales) con que se fabrican.

La fase de movimiento del cuerpo del peatón sobre el vehículo (en el supuesto caso que el cuerpo no es “atrapado” por cualquiera de las partes del vehículo tal como el parabrisas), éste después de experimentar ciertos movimientos comienza a desmontarse o a caerse propiamente del vehículo. Este movimiento hacia el piso es simplemente el resultado de que el vehículo continúe su movimiento inicial más allá del cuerpo del peatón con una velocidad superior a la que el mismo cuerpo pueda asimilar o la del vehículo disminuyendo su velocidad a un ritmo mayor que el cuerpo del peatón.

Si un vehículo golpea a un peatón y continua en su dirección original a una velocidad constante, el cuerpo del peatón experimentará una de las tres direcciones posibles:

- 1.- Permanecerá en la parte frontal del vehículo cerca o en contra del parabrisas.
- 2.- Será empujado hacia el parabrisas y se resbalará fuera del vehículo hacia el piso a un costado de éste.

3.- Si la velocidad es muy excesiva, será proyectado por arriba del parabrisas y techo del vehículo y caerá atrás del mismo. (Figura 3).



Figura 3.

Si el cuerpo del peatón es de alguna manera lanzado desde la tapa del motor hacia el parabrisas, habrá alcanzado el mismo vector de velocidad que el vehículo que lo atropella.

Si el cuerpo se mueve hacia el parabrisas, habrá alcanzado aproximadamente la misma velocidad que el vehículo e, inicialmente, el mismo vector velocidad.

Si el cuerpo no es “atrapado” por el parabrisas, y el diseño convexo del mismo rechaza el cuerpo a un lado del vehículo y sale despedido, el cuerpo tendrá una dirección de salida diferente a la del vehículo en el momento de la separación, aunque tendrán probablemente la misma velocidad.

Si el cuerpo es lanzado al parabrisas y por encima del techo, no tendrá probablemente la misma velocidad que la del vehículo.

Alternativamente, si el vehículo empieza a detenerse, generalmente como resultado de la aplicación de los frenos, probablemente decelerará más deprisa que el cuerpo del peatón, mientras que éste está todavía en el aire o en el vehículo.

Por ejemplo: El valor del coeficiente de fricción de una vía es de 0.69, el vehículo disminuirá su velocidad a razón de 6.7 m/s^2 . El cuerpo de un peatón resbalándose de la superficie de un vehículo, a través de la tapa del motor con un coeficiente de fricción de 0.3, disminuirá su velocidad de 2.9 m/s^2 .

El siguiente fenómeno experimentado por el peatón es una abrupta aceleración negativa cuando el cuerpo impacta en el suelo. El cuerpo puede, entonces, volver a volar brevemente, y de nuevo retorna al suelo y experimenta otra abrupta deceleración.

El cuerpo del peatón puede caerse o rodar alguna distancia en el suelo. Puede también deslizar otra distancia. Cada tipo de movimiento y el grado de deceleración experimentado por el cuerpo del peatón durante ese movimiento es una función de la velocidad del cuerpo y del ángulo en el que se golpea por primera vez con el suelo, así como también del valor del coeficiente de fricción o rozamiento entre el cuerpo y la superficie del suelo.

El cuerpo humano, en algunos casos, se detiene más rápido que el vehículo que se haya frenado a partir de su primer contacto. En este caso, el cuerpo puede quedarse “atrapado” o “enganchado” bajo la parte frontal del vehículo en un impacto secundario y ser arrastrado por el vehículo alguna distancia hasta que el vehículo alcanzará su posición final.

Las Posiciones Finales (PF) son las que adoptan los vehículos, personas y objetos cuando llegan a la inmovilidad después del evento.

El movimiento del cuerpo del peatón por encima del vehículo y después hacia el suelo, los podemos clasificar de la siguiente manera:

Trayectoria de envolvimiento / transporte.

Proyección hacia adelante.

Voltereta sobre los guardafangos /aleta.

Voltereta sobre el techo y;

Salto mortal.

VI. TRAYECTORIA DEL ATROPELLAMIENTO

Como ya se estableció, existen varias maneras de catalogar el movimiento del cuerpo del peatón por encima del vehículo y después hacia el suelo, a este tipo de movimiento lo llamaremos trayectorias.

La trayectoria que sigue el cuerpo del peatón atropellado es resultante de una serie de variables en las que destacan el movimiento de su centro de gravedad, su peso, talla y posición al momento del impacto, así como también influyen la velocidad con la que transita el vehículo, el tipo de frente del mismo, la existencia o no de maniobra de frenado o un cambio brusco de dirección.

Aunque la clasificación anterior no es exhaustiva, aproximadamente, el 80% de los casos de colisión frontal considerados pueden ser clasificados dentro de una de las cinco trayectorias básicas. Se ha observado que la trayectoria biodinámica post-impacto del peatón está influenciada por alguna de las variables de la colisión, como sería la geometría y configuración del vehículo y peatón, la velocidad de impacto del vehículo y la ausencia o presencia de maniobra de frenada del vehículo. De un total de 300 casos de colisión frontal considerados, 241 presentaban datos suficientes, y también podrían ser correctamente clasificados dentro de alguna de las cinco trayectorias biodinámicas. Describiremos las trayectorias de la siguiente manera:

Trayectoria de envolvimiento

Esta es la más común de las categorías, generalmente implica un vehículo decelerando. Este modelo se desarrolla cuando un vehículo, golpea con su frente al peatón, determinando que la parte superior del cuerpo (cabeza y tronco) rote sobre el vehículo y abrace la tapa del motor, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4.

Mientras el vehículo sigue con su trayectoria, el peatón continúa su aceleración hacia delante con respecto al piso, pero como lo hace con una velocidad menor a la del automóvil, se va acercando en dirección su cabina o al habitáculo, hasta producirse el segundo contacto esta vez con la tapa del motor o borde inferior del parabrisas. Por la maniobra de frenado, el vehículo se desacelera y el peatón comienza a separarse de la tapa del motor, dado que su velocidad ahora se hace mayor con respecto a la velocidad en desaceleración del vehículo, siendo finalmente lanzado hacia delante del frente al mismo vehículo. La velocidad de impacto desarrollada en este modelo es de unos 30 Km/h. Generalmente en este tipo de atropellamientos los peatones no son sobrepasados o arrollados por los vehículos.

Proyección hacia delante

La proyección hacia delante es la segunda categoría de trayectoria más común en la que están implicados niños.

Cuando un peatón es impactado por encima de su centro de gravedad, como ocurre con los vehículos de frente alto y vertical (tipo Vans, 4 x 4, Omnibus, etc.) es lanzado hacia delante del frente del vehículo.

Cuando el peatón es de talla pequeña como en el caso de un niño, también se producirá una proyección frontal, aun tratándose de un automóvil de frente bajo tipo turismo, dado que el centro de gravedad del peatón también se encontrará por debajo del punto de impacto.

La característica principal de este tipo de atropellamientos es que fundamentalmente solo existe un único impacto del peatón con el vehículo. El vehículo desacelera cuando golpea al peatón, entonces el peatón cae al piso y se mueve hasta la posición final, como se contempla en la Figura 5 y con la rotación de la Figura 6.



Figura 5.

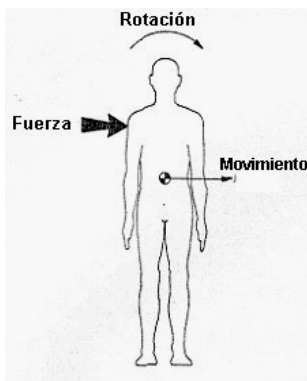


Figura 6.

La velocidad de impacto para esta categoría es encontrada por debajo de los 10 Km/h. En esta categoría se ven involucrados vehículos que no frenan durante la secuencia del

impacto, y que lo hacen hasta después. Se hace notar que aun con velocidades bajas el vehículo puede arrollar el cuerpo del peatón.

VOLTERETA SOBRE EL GUARDAFANGOS



La categoría de trayectorias de volteo o voltereta sobre el guardafangos se da tanto para vehículos frenando como para aquellos que no lo están. Este modelo se suele presentar cuando el peatón es golpeado cerca de alguna de las partes izquierda o derecha (esquinas o ángulos) del frente del vehículo, realizando una trayectoria por encima y hacia afuera del guardafangos.

Las velocidades medias en atropellos con volteos sobre la aleta están en torno a los 40 Km/h. Finalmente el peatón cae al suelo a un costado del automóvil, fuera de su zona de desplazamiento. (Véase Figura 7).

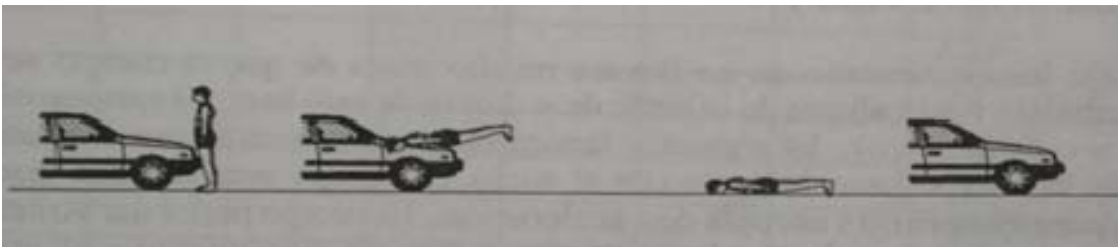


Figura 7.

VOLTERETA SOBRE EL TECHO

Este tipo de trayectorias se dan cuando el peatón tiene su centro de masa más arriba al de la orilla principal de la tapa del motor, el peatón es elevado por el aire como resultado de la

velocidad del impacto y/o por el diseño del vehículo que es suficiente para alzar el centro de la masa del mismo peatón sobre el techo.

Esta trayectoria es consecuencia de un impacto a muy alta velocidad, donde el cuerpo termina cayendo por detrás del vehículo tras golpear en el techo o contra el maletero o cajuela. En esta trayectoria el vehículo está acelerando o no frena hasta después del impacto (véase Figura 8) y con la rotación que se muestra en la Figura 9.

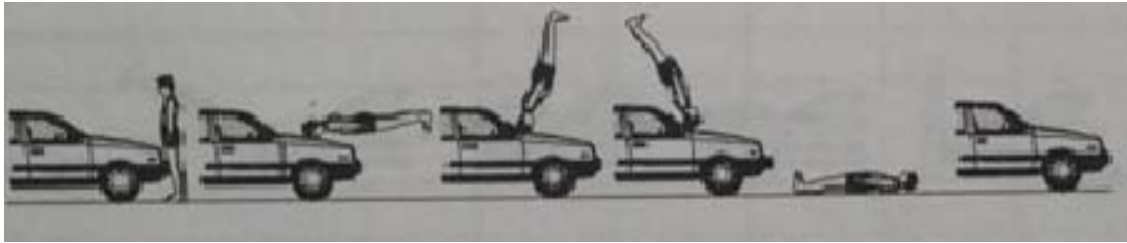


Figura 8.

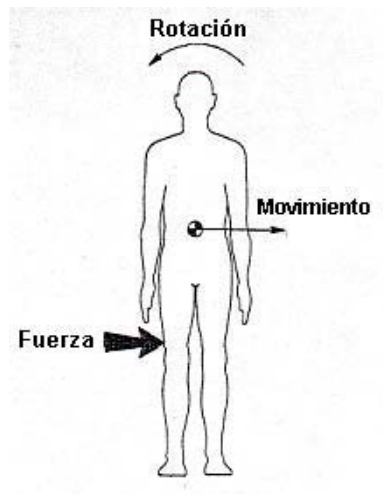


Figura 9.

En los trabajos de investigaciones se demostró que este tipo de trayectoria no es común a velocidades por debajo de 32 km/h. La velocidad de impacto es aproximadamente de 60 Km/h.

SALTO MORTAL

El “salto mortal” es la trayectoria de colisión menos común de todas. Este hecho está documentado que ocurre en un porcentaje menor al 2% de los atropellamientos a peatones.

Este tipo de trayectorias de los cuerpos de los peatones es una extensión de la trayectoria tipo “voltereta sobre el techo” con la diferencia que debido a la alta velocidad del impacto

y/o el impacto con una parte baja del cuerpo, la energía impartida al peatón es suficiente para causarle que prácticamente “salte” en el aire antes de tener contacto con el piso. (Véase Figura 10). La velocidad media de impacto documentada para este tipo de atropellamientos está sobre 60 km/h.

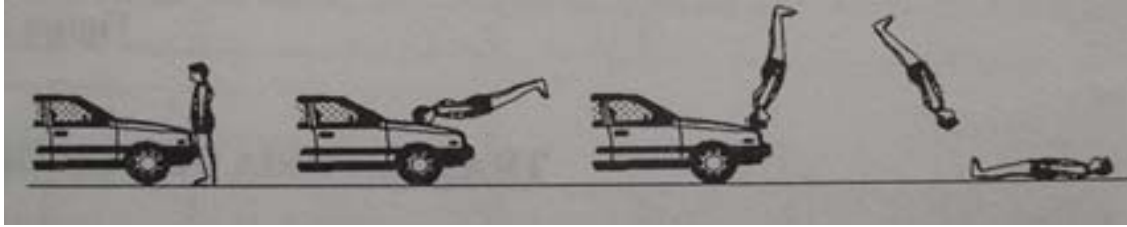


Figura 10.

VII. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

En los siniestros viales con atropello es muy importante realizar una inspección ocular en condiciones óptimas para resolver una serie de cuestiones que debemos plantearnos y procurar dar respuesta mediante su investigación.

Existen preguntas clave como por ejemplo: ¿De dónde venía el peatón? ¿Por dónde accedió a la calzada? ¿Qué dirección llevaba? ¿Punto del atropello? ¿Condiciones de visibilidad entre ambos? ¿Angulo con el que el peatón se adentró en la calzada? ¿Maniobras evasivas? ¿Punto de “aterrizaje” del peatón? ¿Punto final en el que quedo el peatón? ¿Velocidades de peatón y vehículo? ¿Lugar de caída de otros elementos? Y otras de similar importancia.

VIII. TÉCNICAS PARA CALCULAR LA VELOCIDAD DE IMPACTO DEL VEHICULO

Como se estableció al principio, las técnicas para la investigación y reconstrucción de los atropellamientos se han desarrollado más lentamente que las mayorías de las técnicas para investigar y reconstruir los otros tipos de accidentes de tránsito. Esto se debe a tres grandes causas:

- 1.- Una significativa eliminación de datos técnicos importantes al momento de la investigación.

2.- Por la dificultad para obtener (particularmente en términos de pruebas) fuentes de información confiables ya que las existentes se limitan a ser simples presunciones, y

3.- Por modelos matemáticos basados primordialmente en aplicaciones de teorías solamente.

Desde 1971 se han realizado esfuerzos para calcular la velocidad del impacto de un vehículo basado en el movimiento de la masa del peatón como resultado del mismo impacto.

IX. SCHMIDT & NAGEL

En 1971 la firma SCHMIDT & NAGEL, se dirigieron a la investigación y reconstrucción de atropellamientos usando un fórmula empírica basada en datos de laboratorio. Esta fórmula va dirigida a la diferencia entre la altura del centro de la masa del peatón, en el momento justo del impacto, y la altura máxima proyectada de ese mismo centro de la masa en una trayectoria después del impacto.

$$V_x = \sqrt{\mu^2(h) + e - \mu(h)}$$

Dónde $e = 2 \cdot \mu \cdot g \cdot dt$

El valor de la altura (h) puede ser obtenido de forma precisa en el laboratorio con la ayuda de cámaras de alta velocidad y con una malla de fondo, pero no es algo que un investigador que llega después del accidente pueda localizar en el mismo lugar de los hechos. Un testigo puede declarar “el peaton se vio como si fuera lanzado a la altura de esa casa”, pero esa altura no es exacta o verificable como para tomarse en cuenta a manera de una evidencia física.

El coeficiente de rozamiento o coeficiente de fricción usualmente se representa con la letra griega μ (mu), y expresa la oposición al deslizamiento que ofrecen las superficies de dos cuerpos en contacto. El coeficiente de fricción μ que debe usarse en el método de atropellamiento para peatones es el que existía en el momento de ocurrir el accidente entre el peatón proyectado y la superficie del pavimento en la cual este rebota y desliza. Más

adelante veremos la forma de calcularlo en el mismo lugar de los hechos sin recurrir a las tablas.

Después del desarrollo de la ecuación de SCHMIDT & NAGER, una serie de fórmulas fueron desarrolladas asumiendo que la trayectoria del cuerpo del peatón después del impacto era un movimiento de dos fases.

Se habla de un modelo de DOS FASES cuando se asume que al instante del impacto y proyección del cuerpo del peatón este cae al piso y de desliza subsecuentemente a su posición final (véase Figura 11).



Figura 11.

X. STCHERBATCHEFF

El trabajo realizado por STCHERBATCHEFF fue derivado originalmente en unidades de sistemas internacionales, posteriormente lo realizó en el sistema inglés. En 1975 STCHERBATCHEFF realizó experimentos con maniquíes de niños y adultos a velocidades de impacto entre 10 a 40 Km/h, el resultado de su estudio fue que la distancia de lanzamiento del adulto está unida por dos parámetros, a saber:

La velocidad de colisión.

La intensidad en que el vehículo va frenando.

Basado en su experimentos, STCHERBATCHEFF desarrolló una fórmula para determinar la velocidad del vehículo en el momento del impacto. Los estudios de STCHERBATCHEFF se apoyaron en un coeficiente de fricción combinado de deslizamiento y lanzamiento al aire con un valor de 0.4 a 0.71.

$$d_{tm} = \frac{V_m^2}{2 \times a_m} + (0.03 \times V_m \times a_m) \quad d_t = \frac{V_{veh}^2}{2 \times a} + (0.0091 \times V_{veh} \times a)$$

XI. MODELO EMPÍRICO DE APPEL

En 1975, Appel et al., realizó una serie de ecuaciones donde relacionaba la velocidad de impacto del vehículo con la distancia de proyección. El estudio se basó en una muestra de 137 accidentes reales ocurridos en Hannover y Berlín, y las ecuaciones indicadas a continuación, deben de aplicarse por pares para obtener un rango de valores. Por ejemplo, si el atropello lo realiza un vehículo de frontal elevado a un adulto, deben de usarse el intervalo de valores de V obtenidos con la ecuación de vehículo de frontal elevado y la ecuación de adulto como se muestra en la Tabla 1. Con estas ecuaciones, se obtienen valores bastante aproximados en el caso de niños, pero sobreestima la velocidad en el caso de adultos.

Tabla 1. Ecuaciones publicadas por Appel et al.

Appel et al.		
CARACTERÍSTICAS		VV en m/s
VEHÍCULO	FRONTAL ELEVADO	$V = \sqrt{\frac{D}{0,084}}$
	FRONTAL BAJO	$V = \sqrt{\frac{D}{0,065}}$
PEATÓN	ADULTO	$V = \sqrt{\frac{D}{0,070}}$
	NIÑO	$V = \sqrt{\frac{D}{0,088}}$

XII. COLLINS

En 1979 COLLINS presentó una fórmula en la cual inicialmente quiso determinar la distancia del lanzamiento del peatón con una velocidad conocida y la altura del centro de la masa del mismo.

Para poder implementar la fórmula de COLLINS en su forma original, se deben repetir las velocidades asumidas o resolver la fórmula original usando una ecuación cuadrática.

$$D = \frac{V_v \cdot \sqrt{H}}{7,97} + \frac{V_v^2}{254,5 \cdot \mu}$$

En la ecuación V_v es la velocidad del vehículo en Km/h. D es la distancia de proyección del peatón en metros. H es la altura del centro de gravedad (CDG) del peatón expresada en metros. μ es el coeficiente de rozamiento (recordemos que Collins utiliza 0,8 para todo tipo de superficies). Esta ecuación solo es aplicable para proyecciones frontales, dando resultados erróneos para proyecciones con volteo.

Normalmente, los investigadores y reestructores de atropellamientos tienen un primer indicio de la distancia en la que fue lanzado el peatón después del impacto y buscan calcular la velocidad a la que transitaba dicho vehículo en base a esa misma distancia.

En su libro, Collins establece que el valor del coeficiente de fricción debe ser de 0,8 para todas las superficies, lo que consideramos no da resultados exactos, en virtud de que cada superficie tiene distintos coeficientes de fricción.

XIII. MÉTODO DE APPEL-SEARLE CORREGIDO

En 1983, SEARLE se enfrentó a esta dificultad determinando la velocidad de proyección de peatones y ciclistas envueltos en accidentes. Su trabajo se refirió a una determinación de alcance de altas y bajas velocidades de impacto usando un juego de tres fórmulas.

En la primera:

$$V_{P.MÍNIMA} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (D - \mu \cdot H)}{\cos \theta + \mu \cdot \sin \theta}}$$

Siendo VP la velocidad de proyección del peatón en m/seg. D la distancia de proyección del peatón en metros. H la altura del CDG del peatón en metros. θ el ángulo de proyección del peatón post-impacto y μ el coeficiente de rozamiento de peatón/suelo.

Como el ángulo de protección se desconoce en un principio, mediante la derivación de la velocidad respecto al ángulo e igualando a cero, se obtiene el ángulo de salida para el cual se alcanzará la distancia D, partiendo de una velocidad mínima, siendo este $\theta = \arctg \mu$.

De esta forma se establece la segunda fórmula:

$$V_{P.MÍNIMA} = \sqrt{\frac{2 \bullet \mu \bullet g \bullet (D - \mu \bullet H)}{1 + \mu^2}}$$

Esta ecuación nos da la velocidad mínima a la que debió proyectarse el peatón, para que se alcance la distancia D suponiendo que en el impacto hubiese salido proyectado con un ángulo óptimo de lanzamiento.

La tercera fórmula establece la velocidad de proyección máxima:

$$V_{P.Máxima} = \sqrt{2 \bullet \mu \bullet g \bullet (D - \mu \bullet H)}$$

Aplicando las dos últimas ecuaciones podremos obtener un intervalo máximo y mínimo de velocidades a las que salió proyectado el peatón. La aplicación de este método al caso de un peatón que es atropellado por un vehículo y proyectado hacia el frente del mismo, al tiempo que éste frena es otro caso particular de aplicación de esta ecuación. El método se aplica a atropellos de peatones con trayectorias de tipo Wrap, aplicándolo, podemos determinar la velocidad de proyección del peatón, conociendo la distancia de proyección D y la altura del CDG del peatón (H). El método descrito por SEARLE se deriva de la ecuación de la velocidad deducida para una partícula aplicada al centro de gravedad (G) del peatón el cual se mueve en un plano vertical.

En este modelo se tienen en cuenta los golpes y rebotes que sufre la partícula contra el suelo y por eso se lo denomina “caída, rebote y deslizamiento”. (Véase Figura 12)

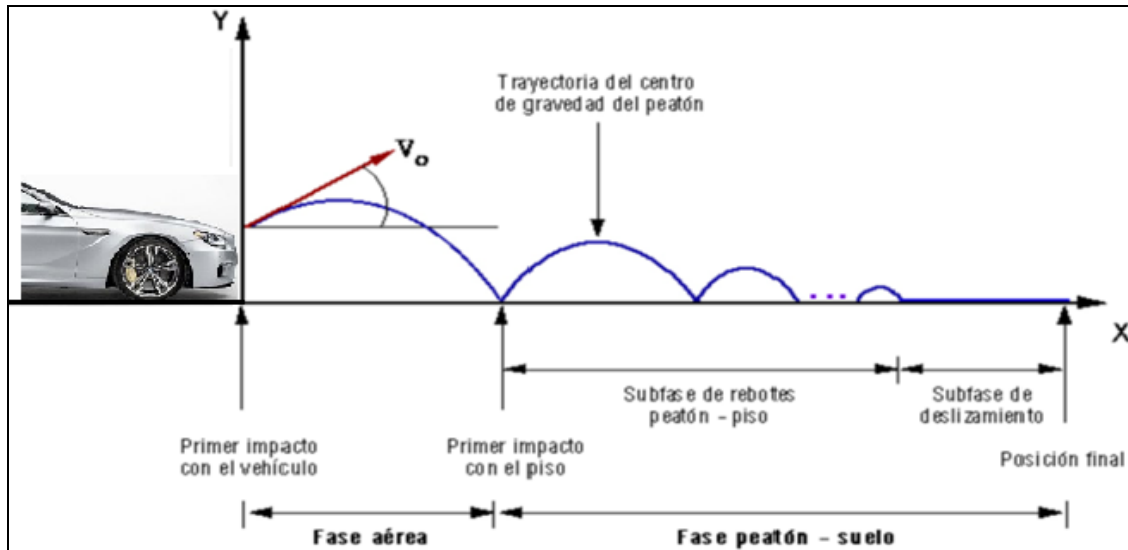


Figura 12.

El trabajo de SEARLE se enfrentó a la dificultad diferenciando entre varias porciones del movimiento después del impacto del peatón o ciclista. En este trabajo, el autor recomienda para el peatón un coeficiente de fricción de 0,66 para el asfalto (seco o mojado) y 0,79 para el césped (seco o mojado) creando con esto un considerable debate en la investigación y reconstrucción de atropellamientos, ya que de igual manera que el anterior, con este sistema no se pueden alcanzar resultados exactos en razón de que cada superficie en contacto tiene diferentes coeficientes de fricción, y añadiendo que este coeficiente es tan variable que no es igual en una misma superficie estando mojada o seca.

CORRECCIONES A LA FÓRMULA

Existen cuatro correcciones que se pueden aplicar en función de distintas variables. Estas correcciones no se darán en todos los atropellos pero en aquellos donde el investigador observe que hay variables que hagan aconsejable su aplicación habrá de aplicarlas para obtener resultados más objetivos.

1. Suponiendo que el peatón rueda en lugar de deslizarse.

Para un coeficiente de rozamiento de 0,1 se aplicaría una reducción del 0,4 %
 Para un coeficiente de rozamiento de 0,2 se aplicaría una reducción del 1,5 %
 Para un coeficiente de rozamiento de 0,3 se aplicaría una reducción del 2,8 %
 Para un coeficiente de rozamiento de 0,4 se aplicaría una reducción del 3,9 %
 Para un coeficiente de rozamiento de 0,5 se aplicaría una reducción del 4,6 %
 Para un coeficiente de rozamiento de 0,6 se aplicaría una reducción del 4,9 %
 Para un coeficiente de rozamiento de 0,7 se aplicaría una reducción del 4,8 %
 Para un coeficiente de rozamiento de 0,8 se aplicaría una reducción del 4,3 %
 Para un coeficiente de rozamiento de 0,9 se aplicaría una reducción del 3,5 %
 Para un coeficiente de rozamiento de 1,0 se aplicaría una reducción del 2,5 %

2. Suponiendo que hubiésemos escogido un μ de 0,7 y este tuviese otro valor. Habitualmente para peatones con ropa normal consistente en prendas de algodón o fibras comunes y un asfalto seco, se adoptan valores para μ de 0,7, pero si este fuese distinto y hemos adoptado 0,7, el porcentaje de error cometido sería:

μ de 0,4	14 %
μ de 0,5	8 %
μ de 0,6	3 %
μ de 0,7	0 %
μ de 0,8	2 %
μ de 0,9	3 %
μ de 1,0	3 %

3. Incremento por la pendiente de la calzada. En este caso de que el atropello se produzca en pendiente, el μ corregido = $\mu \cdot \pm$ pendiente.

4. Si consideramos $H=0$. Si adoptásemos $H=0$, la fórmula de la velocidad de proyección del peatón sería:

$$V_{P.MÍNIMA} = \sqrt{\frac{2 \bullet \mu \bullet g \bullet D}{1 + \mu^2}}$$

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO (VV)

Con los cálculos anteriores se obtendrán resultados sobre la velocidad mínima a la que salió proyectado el peatón (velocidad de proyección - VP), pero faltaría determinar la velocidad de circulación del vehículo en el momento del impacto (VV).

De las observaciones experimentales realizadas por Searle, obtuvo los siguientes valores de Eficacia de proyección (EP) y Velocidad del vehículo (VV) referidos a la talla del peatón y frontal del vehículo

EFICACIA DE PROYECCIÓN - SEARLE			
PEATÓN	FRONTAL DEL VEHICULO	EP	VV
ADULTOS	BAJO	64,0 %	1,5625· VP
	ALTO	74,4 %	1,1344· VP
NIÑOS	BAJO	72,7 %	1,1376· VP
	ALTO	83,1 %	1,2034· VP

XIV. CAÍDA Y DESLIZAMIENTO CUADRÁTICO

En 1985, el DR BANKS & EUBANKS comenzaron a trabajar en una fórmula para calcular la proyección del peatón después del impacto. Este trabajo inicial compitió con trabajos anteriores que se enfrentaron con movimientos de caídas y deslizamientos del

peatón en una secuencia de colisión. Estas fórmulas fueron inventadas para ser aplicadas en atropellamientos donde intervienen vehículos cuyo frente es achatado como Vans y camiones grandes así como atropellamientos de niños y vehículos grandes.

En general esta fórmula fue hecha para situaciones en donde las condiciones establecen que existió una proyección hacia el frente.

El valor del coeficiente de fricción del deslizamiento del peatón es determinado por la experiencia del usuario y no las propuestas por los autores.

$$a = \frac{1}{2 \bullet a} \quad b = \frac{\sqrt{1 \bullet h}}{g} \quad c = -d_t$$

XV. WOOD

$$d_{tm} = \frac{v_m^2}{2 \bullet \mu_p \bullet 9,81} + \mu_p \bullet d_0$$

En 1986, WOOD desarrolló una fórmula que usa la altura diferencial del centro de la masa del peatón y la orilla principal de la tapa del motor del vehículo. Esta fórmula en su estado principal determina la distancia del lanzamiento del cuerpo del peatón con una velocidad de impacto conocida. Desarrollando de nueva cuenta la fórmula para resolver la velocidad del impacto se basa en esta ecuación:

$$v_{veh} = \sqrt{[d_t - (\mu_p \times h)] \times 2\mu \times g}$$

WOOD desarrolló una fórmula para determinar el coeficiente de fricción usando los estudios realizados por SEVERY, KUHNEL Y STURTZ & SUREN. En estos estudios se documentaron un total de 27 atropellamientos con maniqués de adultos con camionetas y maniqués de niños con vehículos tipo Sedán. Las velocidades de estas pruebas fueron entre 4,4 m/s y 17,89 m/s.

XVI. LIMPET

En 1989, LIMPert presentó una fórmula que resuelve la velocidad de impacto basada en una distancia de proyección conocida del cuerpo del peatón. En su libro, LIMPert escribe que su fórmula está basada en una velocidad entre $\pm 2,5$ millas/hora, con un coeficiente de fricción comenzando de 0,7 a 1,2.

Esta fórmula solo es aplicable cuando un vehículo se encuentra frenando en el momento del atropello. La ecuación original en el sistema Anglosajón (Imperial) de unidades es:

$$V_v(\text{mph}) = 6,6 \cdot \left(\sqrt{8,4 \cdot \mu^4 + \mu \cdot D} \right) - 20 \cdot \mu^2 \pm 2,5 \text{mph}$$

Donde V_v es la velocidad del vehículo en millas por hora, D es la distancia de proyección del peatón en pies y μ es el coeficiente de rozamiento del vehículo con la calzada.

Otra presentación de la misma ecuación en unidades del Sistema Internacional es:

$$V_v = 10,62 \cdot \sqrt{8,4 \cdot a^4 + \frac{a \cdot D}{0,348}} - 30,19 \cdot a^2 \pm 4,02 \text{Km/h}$$

Donde V_v es la velocidad del vehículo en kilómetros por hora, D la distancia de proyección del peatón en metros y a es la aceleración del vehículo (desaceleración) expresada en g. Considerando que la desaceleración del vehículo adquiere el valor de $a = \mu \cdot g$ podemos transformarla en:

$$V_v = 10,62 \cdot \sqrt{8,4 \cdot \mu^4 + \frac{\mu \cdot D}{0,348}} - 30,19 \cdot \mu^2 \pm 4,02 \text{Km/h}$$

XVII. CLARK

En 1989, Clark diseñó una fórmula para calcular la velocidad del vehículo basado en un “área”, la cual fue definida como la distancia en que el peatón atravesó horizontalmente mientras estaba sobre la orilla principal de la tapa del motor del vehículo.

Esta fórmula toma en cuenta el ángulo del parabrisas como el ángulo de salida o proyección del cuerpo del peatón. El Dr. Clark escribió que si el peatón, durante el contacto con el vehículo, NO llega a tocar el parabrisas, esta fórmula NO SE APLICA. En el trabajo del Dr. CLARK no hay valores específicos de fricción.

$$V = \frac{\text{espacio} \bullet g}{(2 \bullet \text{sen} \theta) \bullet \cos \theta \bullet g}$$

XVIII. NORTH WESTERN UNIVERSITY

En 1989, la UNIVERSIDAD DEL NOROESTE ofreció una fórmula para los atropellamientos de peatones por camiones grandes y Vans; generalmente se usaron vehículos con el frente “achataado”. Esta fórmula fue ofrecida como aplicable en los casos en los que la tapa del motor del vehículo es mayor a la altura del centro de la masa del peatón.

Esta fórmula está representada por cuatro cálculos separados, y deben ser usados en el orden en que se muestran.

$$d_f = (2 \bullet \mu \bullet h) - (2 \bullet h) \bullet \sqrt{\mu^2 - \frac{\mu \bullet d_t}{h}} \quad d_s = d_t - d_f$$

$$v = d_f \bullet \sqrt{\frac{g}{-2 \bullet h}} \quad v = \sqrt{2 \bullet a \bullet d_s}$$

El valor para Vf y Vs deberán ser iguales si los cálculos son correctos. Esta fórmula no se debe aplicar en un atropellamiento en el cual la masa central del peatón es mayor a la altura de la tapa del motor del vehículo.

Este método está basado en la misma teoría que la cuadrática de caída y deslizamiento y usa una cantidad de valores para el coeficiente de fricción o deslizamiento de ,45 a ,6.

XIX. BARZELEY

En 1991, BARZELEY Y LACY desarrollaron una fórmula que puede ser usada si el vehículo no frena previo a la hora del impacto. Esta fórmula requiere que la distancia del punto de impacto a la posición final estén incluidas, la del peatón lanzado por el aire, así como la de cualquier movimiento de desplazamiento. Ningún ofrecimiento es hecho en el trabajo original o derivado de esta fórmula o un valor recomendado de fricción.

$$S = \sqrt{58 + (24 \bullet d) - 7,6}$$

XX. GALLI

En 1990, GALLI desarrolló una fórmula para determinar la velocidad de un vehículo cuando golpea a un peatón. Fue desarrollada originalmente para usarla cuando un peatón cae fuera del vehículo y va deslizándose sobre el piso. La fórmula de GALLI puede ser aplicada usando el valor de fricción encontrado en el trabajo de SEVERY que es de ,8 a 1,2.

XXI. EUBANKS

Es importante el estudio de esta fórmula de EUBANKS porque deja atrás las investigaciones sobre atropellamientos de peatones basada en las dos fases del movimiento del cuerpo del peatón después del impacto.

$a = \frac{1}{64,4 \bullet f_p}$	$b = \frac{d_{tapa-motor}}{v_{peatón} \bullet sen\theta} + \sqrt{\frac{h_{tapa-motor}}{16,1}}$	$c = -d_t$
----------------------------------	--	------------

f_p es el coeficiente de fricción del peatón.

θ es el ángulo entre la trayectoria precolisión del vehículo y la dirección del peatón de viajes.

$d_{tapa-motor}$ es la distancia del punto de contacto inicial entre el vehículo y el peatón, y la proyección o salida del mismo.

$v_{peatón}$ es la velocidad del peatón pre-impacto.

$h_{tapa-motor}$ es el punto más alto de contacto en el vehículo

d_t es la distancia de los daños del vehículo / lesiones de los peatones

La fórmula desarrollada en 1986 y publicada en 1994 en su libro de texto sobre la reconstrucción de accidentes de peatones, JERRY EUBANKS, se basa en la presunción de que el cuerpo del peatón atropellado se mueve en una trayectoria de dos fases.

A) La caída del peatón, del vehículo hacia el suelo.

B) Una vez en el suelo, el cuerpo se desliza hasta su posición final. Sin embargo propone una tercera fase para el movimiento del cuerpo del peatón.

C) Esta tercera fase de la trayectoria del cuerpo del peatón después del impacto, es la parte en donde el peatón entra en contacto con (generalmente sobre) el vehículo, siendo “acarreado” el cuerpo del mismo peatón, antes de caer al suelo. (Véase figura 13).

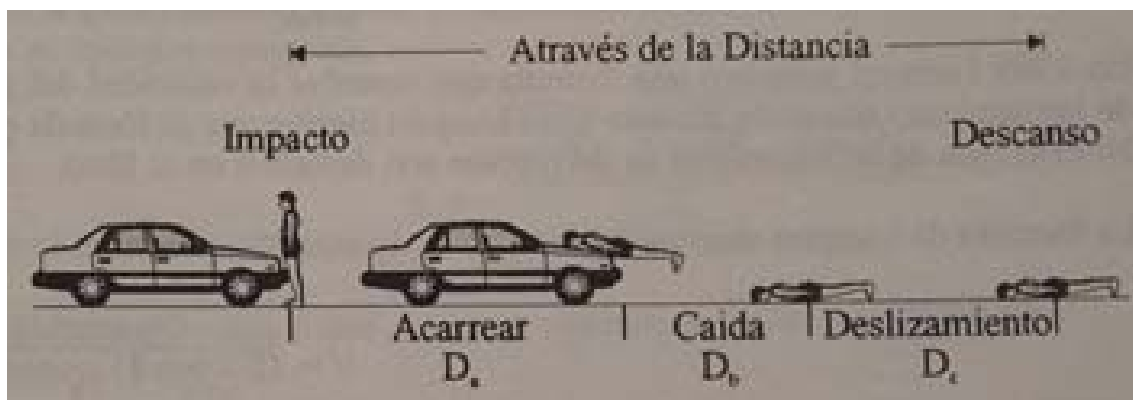


Figura 13.

El análisis de la trayectoria de tres fases se basa en la transición desde el punto de impacto (PI) a su posición final (PF), específicamente cuando el desplazamiento del cuerpo del peatón puede ser descrito mientras:

Viaja sobre el vehículo.

Viaja por el aire; y

Viaja sobre el suelo.

Las distancias recorridas por el cuerpo del peatón en cada una de las fases deben ser analizadas como una función de la velocidad total desconocida de vehículo al momento del impacto. La suma de las porciones es considerada como la distancia total desde el Punto de Impacto (PI) al Punto de descanso (PD) del cuerpo del peatón; el resultado de esta suma es precisamente la ecuación cuadrática mostrada, la cual resuelve la velocidad del vehículo al momento del Impacto. En este análisis el valor del coeficiente de fricción del deslizamiento

del peatón es determinado por las experiencias del usuario y no las propuestas por los autores

XXII. EVANS Y SMITH

En 1999, propone que la velocidad del vehículo V_V estará con un 95% de probabilidad contenida en el intervalo:

$$V_V = 3,58 \bullet \sqrt{D} - 2,16m/s \text{ y } V_V = 3,58 \bullet \sqrt{D} + 2,16m/s$$

También presenta una ecuación para la velocidad mínima absoluta del vehículo para una distancia de proyección según la cual:

$$V_{VMÍNIMA} = 3,03 \bullet \sqrt{D} \text{ --- } m/s$$

XXIII. HARPEL et al.

En el año 2000, propone que considerando V_V en Km/h y D en metros, se pueden usar las siguientes ecuaciones:

Proyección frontal:	$V_V = 11,4 \bullet \sqrt{D} - 0,4(\pm 10,5km/h)$
Proyección con volteo:	$V_V = 12,7 \bullet \sqrt{D} - 2,6(\pm 9km/h)$
Datos combinados:	$V_V = 12,3 \bullet \sqrt{D} - 1,9(\pm 9,5km/h)$

XXIV. TOOR et al.

En el año 2003 proponen:

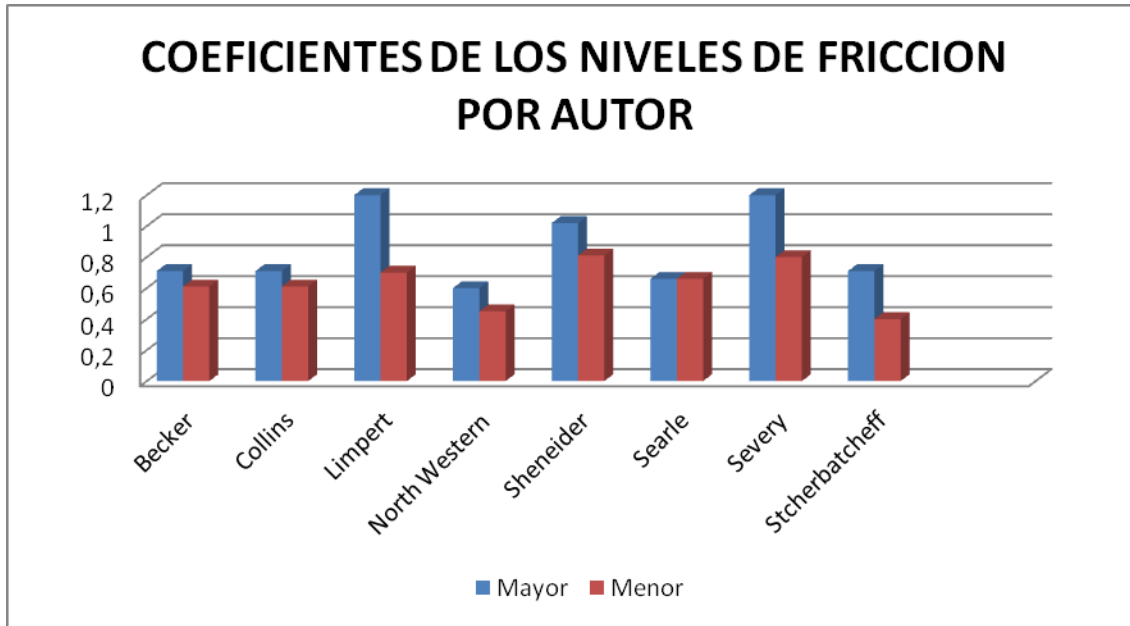
Proyección frontal $VV = 8,25 \cdot D^{0,61}$ o Intervalo de predicción entre el 15 y el 85 percentil: $\pm 7,7$ Km/h o Intervalo de predicción entre el 5 y el 95 percentil: $\pm 12,2$ Km/h
Proyección con volteo $VV = 9,84 \cdot D^{0,57}$ o Intervalo de predicción entre el 15 y el 85 percentil: $\pm 5,8$ Km/h o Intervalo de predicción entre el 5 y el 95 percentil: $\pm 9,2$ Km/h
Datos combinados $VV = 9,19 \cdot D^{0,59}$ o Intervalo de predicción entre el 15 y el 85 percentil: $\pm 6,5$ Km/h o Intervalo de predicción entre el 5 y el 95 percentil: $\pm 10,2$ Km/h

* VV en Km/h y D en metros.

XXV. VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN PARA EL DESLIZAMIENTO DEL CUERPO DE LOS PEATONES EN UN ATROPELLAMIENTO.

En algunas de las ecuaciones que estudiamos, quedó por demás claro que cada uno de los autores han establecido lo que, en su opinión era el coeficiente de fricción del cuerpo del peatón deslizando sobre la superficie de rodamiento o en otra superficie. El cuadro comparativo expuesto demuestra la relación de los diferentes valores de fricción usados por los autores mencionados.

Como complemento de los autores previos, HELGO SHCNEIDER recopiló un documento con los resultados de la comparación de accidentes experimentados en laboratorio y el obtenido en accidentes reales.



XXVI. CONCLUSIONES SOBRE APLICACIONES Y LIMITACIONES DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS PARA LA INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE LOS ATROPELLAMIENTOS

La investigación y reconstrucción de un atropellamiento está seriamente limitada por la falta de información documentada o recolectada en el mismo lugar de los hechos y en la cual se basa dicha investigación.

Cuando la información no es documentada correctamente o no está disponible para el investigador, las técnicas descritas con anterioridad para calcular la velocidad de impacto del vehículo en un atropellamiento no pueden ser aplicadas, porque sencillamente la información es insuficiente.

Debemos entender que cada accidente donde se involucran peatones son diferentes uno del otro, por lo cual existen atropellamientos donde todas las técnicas estudiadas simplemente no aplican por la naturaleza misma del atropellamiento.

De igual manera, en los casos en que la información está disponible, es correcta y puede ser desarrollada, estas técnicas pueden determinar efectivamente la velocidad del vehículo en un atropellamiento.

En todas las pruebas de laboratorio, casi todas las técnicas descritas produjeron un valor de velocidad con un rango aceptable para la velocidad de impacto, en la inteligencia que la

fórmula propuesta por la Universidad del Noroeste no fue aplicada a la prueba de choque porque el centro de la masa del maniquí usado (Dummy) estaba sobre la orilla principal del vehículo que golpea.

Los atropellamientos amenazan a los analistas con discusiones sobre las formas sobre la colisión misma, primordialmente por la falta de información necesaria. Sin embargo, de manera reiterativa manifestamos que cada técnica estudiada puede ser aplicada siempre y cuando se tenga la información apropiada.

Muchas Gracias.

XXVII. REFERENCIAS

Ashon, S., Pediestrar Accident Investigation and Reconstruction, IPTM, August 1989.

Olson, P. L., Driver Perception Response Time, Society of Automotive Engineers (Sae)
SAE Technical paper # 890731

Schmidt, D.N and Nagel, D. A. (1971). Pediestrar impact case study.

Fatal Accident Reporting system 1990, USDOT, National Highway Traffic Safety
Adminisstration.