



ACTA DE EVALUACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL

Año académico 2016/17

DOCTORANDO: MUÑOZ RODRÍGUEZ, JOSÉ CARLOS
D.N.I./PASAPORTE: \*\*\*\*1174F

PROGRAMA DE DOCTORADO: D327 DOCTORADO EN CRIMINALÍSTICA
DEPARTAMENTO DE: TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES
TITULACIÓN DE DOCTOR EN: DOCTOR/A POR LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

En el día de hoy 21/06/17, reunido el tribunal de evaluación nombrado por la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado y Doctorado de la Universidad y constituido por los miembros que suscriben la presente Acta, el aspirante defendió su Tesis Doctoral, elaborada bajo la dirección de PEDRO GIL JIMÉNEZ .

Sobre el siguiente tema: ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LOS MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE IMPACTO EN ATROPELLOS A PEATONES Y SU VALIDACIÓN CON HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS DE SIMULACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁFICO

Finalizada la defensa y discusión de la tesis, el tribunal acordó otorgar la CALIFICACIÓN GLOBAL³ de (no apto, aprobado, notable y sobresaliente): SOBRESALIENTE

Alcalá de Henares, 21 de junio de 2017

EL PRESIDENTE

Fdo.: FLO. S. DAVIER PÁEZ

EL SECRETARIO

Fdo.: HILARIO GÓMEZ

EL VOCAL

Fdo.: GERMAN LUIS GONZALEZ

Con fecha 29 de junio de 2017 la Comisión Delegada de la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado, a la vista de los votos emitidos de manera anónima por el tribunal que ha juzgado la tesis, resuelve:

- Conceder la Mención de "Cum Laude"
No conceder la Mención de "Cum Laude"

La Secretaria de la Comisión Delegada

FIRMA DEL ALUMNO

Fdo.: JOSÉ CARLOS MUÑOZ RODRÍGUEZ

³ La calificación podrá ser "no apto" "aprobado" "notable" y "sobresaliente". El tribunal podrá otorgar la mención de "cum laude" si la calificación global es de sobresaliente y se emite en tal sentido el voto secreto positivo por unanimidad.

INCIDENCIAS / OBSERVACIONES:



## DOCTORADO EN CRIMINALÍSTICA

Estudio y análisis de los modelos para la estimación de la velocidad de impacto en atropellos a peatones y su validación con herramientas informáticas de simulación de accidentes de tráfico

## TESIS DOCTORAL

Autor: José Carlos Muñoz Rodríguez  
Director: Dr. D. Pedro Gil Jiménez

Alcalá de Henares, 2017



**D. PEDRO GIL JIMÉNEZ**, Profesor Titular de Universidad del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad de Alcalá y Director de la presente Tesis Doctoral,

HACE CONSTAR:

Que el trabajo descrito en la presente memoria, titulado “**Estudio y análisis de los modelos para la estimación de la velocidad de impacto en atropellos a peatones y su validación con herramientas informáticas de simulación de accidentes de tráfico**”, ha sido realizado bajo mi dirección por **D. José Carlos Muñoz Rodríguez**, dentro del programa de **Doctorado en Criminalística (D-327)**, reuniendo méritos suficientes para optar al grado de Doctor, por lo que puede procederse a su depósito y lectura.

Alcalá de Henares, 10 de marzo de 2017

Pedro Gil Jiménez



MERCEDES TORRE ROLDÁN, Profesora Titular de Química Analítica y Secretaria Técnica del IUICP

**HACE CONSTAR:**

Que el trabajo descrito en la presente memoria de tesis titulada “Estudio y análisis de los modelos para la estimación de la velocidad de impacto en atropellos a peatones y su validación con herramientas informáticas de simulación de accidentes de tráfico”, ha sido realizado en este Instituto Universitario por D. José Carlos Muñoz Rodríguez, bajo la dirección del Dr. Pedro Gil Jiménez, Profesor Titular del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad de Alcalá.

Dicha tesis reúne los requisitos necesarios para su presentación y defensa.

Y para que conste a los efectos oportunos, se firma la presente en Alcalá de Henares, a 10 de marzo de 2017.

Fdo. Mercedes Torre Roldán  
Secretaria Técnica del IUICP





*A mi esposa, Ana, y a mis hijos,  
Cristina y Carlos, por estar ahí...*

*A mi familia y amigos*

Agradecimientos:

Al Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Policiales (IUICP) por ser un referente en Europa e Iberoamérica con la impartición del programa de Doctorado en Criminalística y su decidido apoyo a la labor que desarrollan los miembros de las FCSE en las distintas áreas científicas que se emplean en la investigación policial.

Al Dr. D. Pedro Gil Jiménez, Director de esta tesis, por su paciencia, tiempo, consejos y recomendaciones que, sin duda, han hecho mejorar el resultado de la misma.



# RESUMEN

A la hora de dictar sentencias relacionadas con los atropellos a peatones por parte de la Autoridad Judicial existen dos cuestiones claves para poder determinar la responsabilidad de los conductores implicados en el accidente. La primera cuestión es la velocidad a la que se produjo el mismo, y si ésta se encontraba dentro de los límites reglamentariamente establecidos. La segunda cuestión estaría referida a la evitabilidad del accidente por parte del conductor del vehículo, es decir, si circulando el vehículo a la velocidad calculada, el accidente era evitable para su conductor, o en el caso de que la velocidad calculada fuese superior a la reglamentaria, determinar si el accidente se podría haber evitado circulando el vehículo dentro de los límites establecidos. Dando respuesta a estas dos cuestiones, al juzgador se le facilitará su labor a la hora de poder determinar si la conducta mostrada podría ser imprudente o no, y en el caso de ser imprudente si esta imprudencia sería grave o menos grave.

La hipótesis de trabajo de esta tesis consistirá en su primera fase en un estudio pormenorizado de doce métodos o modelos físico-matemáticos de cálculo existentes (según autores) para estimar la velocidad del vehículo en el momento del atropello a peatones a partir de la distancia de proyección (modelos teóricos o empíricos), y otro método a partir de los desperfectos en el vehículo. Realizado este estudio se obtendrán datos agrupados en tablas con valores relativos a la distancia de proyección obtenida, utilizando dichos modelos, circulando los vehículos en el momento del atropello a distintas velocidades conocidas de impacto; además, en caso que el método lo permita, se establecerán diferentes variables para analizar igualmente su influencia en el resultado final.

La segunda de las fases, una vez obtenidos los datos de la primera, será validar esos resultados con el programa informático Virtual Crash, como programa de nueva generación para la simulación de accidentes de tráfico, diseñado para realizar cálculos en tiempo real a través de un PC y que además permite ver los resultados

de la simulación en movimiento en 3D desde diferentes posiciones, a escala y generando tablas y gráficos con dichos resultados. Las variables que se introducirán en el programa irán referidas a distintos tipos de vehículos, velocidades de atropello, frenadas en su caso, tipos de peatones, etc.

Así, se han simulado 1435 atropellos, de los cuales 222 han debido de ser invalidados por diferentes anomalías sufridas durante su realización (normalmente transporte o arrastre del peatón por el vehículo); de esta forma, el porcentaje de simulaciones válidas ha llegado a alcanzar casi un 85%, siendo considerado dicho dato suficiente para la realización del estudio y la comparativa a realizar.

El objetivo final del presente trabajo será validar los resultados obtenidos, bien por métodos analíticos, bien por métodos de estimación de la velocidad en base a los desperfectos sufridos por los vehículos, con el programa Virtual Crash, así como comprobar la influencia que tienen las variables introducidas en los métodos y en el programa informático, determinando en su caso, en función de los resultados obtenidos, para qué tipo de atropello y peatón es más adecuado el método o modelo estudiado.

De esta manera se obtendrá una guía útil, actualizada y veraz a la hora de la elección de los modelos de cálculo físico-matemáticos más adecuados para su utilización en accidentes por atropello a peatones.

# ABSTRACT

When the Judicial Authority has to sentence a crime related to pedestrian run over by a car, there are two key issues in determining the liability of the drivers involved in the accident. The first question is to determine the speed at which it occurred, and whether it was within the permitted limits; the second question is if the driver could have avoided the accident. In other words, if the vehicle was circulating at the calculated speed, it is important to know if the accident was avoidable for its driver or, if the calculated speed was above the limits, we have to determine if the accident could have been avoided if the speed was within the permitted limits. When answering these two questions, it will be more simple for the judge to determine whether the conduct might be imprudent or not, and in the case of a reckless behavior, if this imprudence would be serious or less serious.

In the first phase of this thesis, the working hypothesis will consist in a detailed study of twelve methods or physical-mathematical models of calculation (according to various authors) to estimate the speed of the vehicle at the time of the pedestrian impact by the car based on the projection distance (theoretical or empirical models), and another method from the damages in the vehicle. This study will obtain data grouped in tables with values related to the calculated distance of the projection, using these models, circulating the vehicles at different speeds known impact. In addition, if the method allows, different variables will be established to analyze also their influence on the final result.

The second phase, once obtained the data of the first, will validate these results with the Virtual Crash software, as a new generation program for the simulation of traffic accidents, designed to perform calculations in real time through a PC and also it is possible to see the simulation results in 3D movement from different positions in a scale, and generating tables and graphs with those results. The variables that will be introduced in the program will be referred to different types of vehicles, speed of the vehicle at the time of impact with the pedestrian, braking if applicable, types of pedestrians, etc.

Thus, 1435 pedestrian run over by a car have been simulated. Two hundred and twenty two of these simulations have been invalidated by different anomalies during the completion (usually because the pedestrian has been transported or dragged by the vehicle); with this, the percentage of valid simulations has reached almost 85%, which is considered enough data for the study and comparative to perform.

The final objective of the present work will be to validate the results obtained, either by analytical methods, or by methods of estimation of the speed based on the damages suffered by the vehicles, with the program Virtual Crash, as well as checking the influence of the different variables after we have introduced them in the methods and in the computer software determining, where appropriate, depending on the results that have been obtained, the most appropriate model studied or method, in each type of pedestrian impact and kind of pedestrian.

Thus, a useful, updated and accurate guide will be obtained to choose the most suitable physical-mathematical models to use in investigations of accidents of pedestrians that have been run over by a car.

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1. CONCEPTO DE ATROPELLO A PEATÓN.....	1
1. DEFINICIÓN.....	1
CAPÍTULO 2. ESTUDIOS ESTADÍSTICOS.....	5
2. INTRODUCCIÓN .....	5
2.1. ESPAÑA .....	5
2.2. UNIÓN EUROPEA.....	8
2.3. ESTADOS UNIDOS.....	11
2.4. CONCLUSIONES .....	13
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL ATROPELLO.....	17
3. INTRODUCCIÓN .....	17
3.1. FASE PRE-ATROPELLO.....	18
3.2. FASE ATROPELLO.....	19
3.3. FASE POST-ATROPELLO.....	24
CAPÍTULO 4. FUNDAMENTOS DE FÍSICA GENERAL. VARIABLES EN ATROPELLOS A PEATONES.....	33
4.1. FUNDAMENTOS DE FÍSICA GENERAL.....	33
4.1.1. MAGNITUDES FÍSICAS.....	33
4.1.2. CHOQUES .....	34
4.1.3. CINEMÁTICA. MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE DECELERADO ..	38
4.1.4. MOVIMIENTO PARABÓLICO .....	44
4.2. ERRORES. ERROR ABSOLUTO. ERROR RELATIVO. ERROR PORCENTUAL .....	46
4.2.1. ERROR ABSOLUTO.....	47
4.2.2. ERROR RELATIVO.....	47
4.2.3. ERROR PORCENTUAL.....	48
4.3. VARIABLES EN ATROPELLOS A PEATONES .....	49
4.3.1. VELOCIDAD.....	49
4.3.2. GEOMETRÍA.....	50
4.3.3. UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE FRENADO .....	51
4.3.4. POSICIÓN Y MOVIMIENTO DEL PEATÓN.....	51
4.3.5. DESLIZAMIENTO .....	52

CAPÍTULO 5. MODELOS PARA EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE ATROPELLO A PEATONES .....	55
5. INTRODUCCIÓN.....	55
5.1. MODELOS MATEMÁTICOS O TEÓRICOS.....	55
5.1.1. MODELO DE STCHERBATCHEFF.....	56
5.1.2. MODELO DE COLLINS.....	59
5.1.3. MODELO DE SEARLE.....	62
5.1.4. MODELO DE WOOD.....	69
5.1.5. MODELO DE FRICKE.....	80
5.1.6. MODELO ARONBERG.....	82
5.1.7. MODELO DE LIMPET.....	89
5.1.8. MODELO HÍBRIDO DE WOOD.....	92
5.1.9. MODELO DE HAN Y BRACH.....	96
5.2. MODELOS EMPÍRICOS O ESTADÍSTICOS .....	101
5.2.1. MODELO DE APPEL.....	101
5.2.2. MODELO DE STURTZ.....	105
5.2.3. MODELO DE WOOD.....	113
5.3. MODELO A PARTIR DE LOS DESPERFECTOS EN EL VEHÍCULO... ..	117
5.3.1. MODELO DE HAPPER.....	117
CAPÍTULO 6. PROGRAMA VIRTUAL CRASH .....	123
6. INTRODUCCIÓN.....	123
6.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA .....	124
6.2. EMPLEO DEL PROGRAMA.....	127
6.2.1. INTERFAZ.....	127
6.2.2. CONFIGURACIÓN DE MODELOS.....	128
6.2.2.1. VEHÍCULOS .....	128
6.2.2.2. MULTIBODIES (PEATONES).....	133
6.2.2.3. SITUACIÓN DE VEHÍCULOS Y PEATONES.....	144
6.2.2.4. SIMULACIÓN DE LOS ATROPELLOS.....	148
6.2.2.5. RESULTADOS.....	150
6.3. SIMULACIONES REALIZADAS.....	153
CAPÍTULO 7. COMPARACIÓN MODELOS FÍSICO MATEMÁTICOS – PROGRAMA VIRTUAL CRASH.....	159
7. INTRODUCCIÓN.....	159
7.1. MODELOS MATEMÁTICOS O TEÓRICOS.....	160
7.1.1. MODELO DE STCHERBATCHEFF.....	160



7.1.1.1.	Peatón hombre adulto. Deceleración 4 m/s <sup>2</sup> .....	161
7.1.1.2.	Peatón niño 6 años. Deceleración 4 m/s <sup>2</sup> .....	164
7.1.1.3.	Peatón hombre adulto. Deceleración 5,5 m/s <sup>2</sup> .....	166
7.1.1.4.	Peatón niño 6 años. Deceleración 5,5 m/s <sup>2</sup> .....	169
7.1.1.5.	Peatón hombre adulto. Deceleración 7 m/s <sup>2</sup> .....	171
7.1.1.6.	Peatones niños 6 años. Deceleración 7 m/s <sup>2</sup> .....	174
7.1.1.7.	Conclusiones estudio comparativo modelo de Stcherbatcheff. ....	176
7.1.2.	MODELO DE COLLINS .....	177
7.1.2.1.	Peatón hombre adulto .....	179
7.1.2.2.	Peatón niño 10 años .....	182
7.1.2.3.	Peatón niño 3 años y 6 meses .....	184
7.1.2.4.	Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Collins. ....	187
7.1.3.	MODELO DE SEARLE .....	188
7.1.3.1.	Peatón adulto. $\mu = 0,5$ .....	190
7.1.3.2.	Peatón adulto. $\mu = 0,7$ .....	193
7.1.3.3.	Peatón adulto. $\mu = 0,9$ .....	196
7.1.3.4.	Peatón 6 años. $\mu = 0,5$ .....	198
7.1.3.5.	Peatón 6 años. $\mu = 0,7$ .....	201
7.1.3.6.	Peatón 6 años. $\mu = 0,9$ .....	205
7.1.3.7.	Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Searle. ....	208
7.1.4.	MODELO DE WOOD.....	209
7.1.4.1.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,43$ .....	214
7.1.4.2.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,54$ .....	219
7.1.4.3.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,66$ .....	224
7.1.4.4.	Peatón 10 años. $\mu = 0,43$ .....	229
7.1.4.5.	Peatón 10 años. $\mu = 0,54$ .....	234
7.1.4.6.	Peatón 10 años. $\mu = 0,66$ .....	239
7.1.4.7.	Peatón Adulto. $\mu = 0,43$ .....	244
7.1.4.8.	Peatón Adulto. $\mu = 0,54$ .....	249
7.1.4.9.	Peatón Adulto. $\mu = 0,66$ .....	254
7.1.4.10.	Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Wood. ....	258
7.1.5.	MODELO DE FRICKE .....	260
7.1.5.1.	Peatón $\mu = 0,45$ .....	261
7.1.5.2.	Peatón $\mu = 0,60$ .....	264
7.1.5.3.	Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Fricke. ....	267
7.1.6.	MODELO ARONBERG.....	268
7.1.7.	MODELO DE LIMPert.....	268

7.1.7.1.	Peatón adulto. Deceleración 6,86 m/s <sup>2</sup> .....	270
7.1.7.2.	Peatón niño 6 años. Deceleración 6,86 m/s <sup>2</sup> .....	273
7.1.7.3.	Peatón adulto. Deceleración 8,82 m/s <sup>2</sup> .....	276
7.1.7.4.	Peatón niño 6 años. Deceleración 8,82 m/s <sup>2</sup> .....	279
7.1.7.5.	Peatón adulto. Deceleración 11,77 m/s <sup>2</sup> .....	282
7.1.7.6.	Peatón niño 6 años. Deceleración 11,77 m/s <sup>2</sup> .....	285
7.1.7.7.	Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Limpert. ....	287
7.1.8.	MODELO HÍBRIDO DE WOOD .....	288
7.1.8.1.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,5$ .....	290
7.1.8.2.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,7$ .....	293
7.1.8.3.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,9$ .....	296
7.1.8.4.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,5$ .....	299
7.1.8.5.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,7$ .....	302
7.1.8.6.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,9$ .....	305
7.1.8.7.	Conclusiones estudio comparativo modelo Hibrido de Wood. ....	307
7.1.9.	MODELO DE HAN Y BRACH .....	308
7.1.9.1.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,4$ .....	310
7.1.9.2.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,6$ .....	313
7.1.9.3.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,8$ .....	316
7.1.9.4.	Peatón 6 años. $\mu = 0,4$ .....	319
7.1.9.5.	Peatón 6 años. $\mu = 0,6$ .....	322
7.1.9.6.	Peatón 6 años. $\mu = 0,8$ .....	325
7.1.9.7.	Conclusiones estudio comparativo modelo de Han y Brach. ....	327
7.2.	MODELOS EMPÍRICOS O ESTADÍSTICOS .....	329
7.2.1.	MODELO DE APPEL.....	329
7.2.1.1.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,45$ .....	331
7.2.1.2.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,65$ .....	334
7.2.1.3.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,85$ .....	337
7.2.1.4.	Peatón 6 años. $\mu = 0,45$ .....	340
7.2.1.5.	Peatón 6 años. $\mu = 0,65$ .....	343
7.2.1.6.	Peatón 6 años. $\mu = 0,85$ .....	346
7.2.1.7.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal alto</i> .....	349
7.2.1.8.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal alto</i> .....	350
7.2.1.9.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal alto</i> .....	351
7.2.1.10.	Peatón 6 años. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal alto</i> .....	352
7.2.1.11.	Peatón 6 años. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal alto</i> .....	353
7.2.1.12.	Peatón 6 años. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal alto</i> .....	354

7.2.1.13.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal bajo</i> .....	355
7.2.1.14.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal bajo</i> .....	356
7.2.1.15.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal bajo</i> .....	357
7.2.1.16.	Peatón 6 años. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal bajo</i> .....	358
7.2.1.17.	Peatón 6 años. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal bajo</i> .....	359
7.2.1.18.	Peatón 6 años. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal bajo</i> .....	360
7.2.1.19.	Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Appel.....	361
7.2.2.	MODELO DE STURTZ .....	362
7.2.2.1.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal alto</i> .....	365
7.2.2.2.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal alto</i> .....	368
7.2.2.3.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal alto</i> .....	371
7.2.2.4.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal alto</i> .....	374
7.2.2.5.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal alto</i> .....	377
7.2.2.6.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal alto</i> .....	380
7.2.2.7.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal bajo</i> .....	383
7.2.2.8.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal bajo</i> .....	386
7.2.2.9.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal bajo</i> .....	389
7.2.2.10.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal bajo</i> .....	392
7.2.2.11.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal bajo</i> .....	395
7.2.2.12.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal bajo</i> .....	398
7.2.2.13.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal tipo caja</i> .....	401
7.2.2.14.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal tipo caja</i> .....	404
7.2.2.15.	Peatón mujer adulta. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal tipo caja</i> .....	407
7.2.2.16.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,45$ . <i>Frontal tipo caja</i> .....	410
7.2.2.17.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,65$ . <i>Frontal tipo caja</i> .....	413
7.2.2.18.	Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,85$ . <i>Frontal tipo caja</i> .....	416
7.2.2.19.	Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Sturtz. ....	418
7.2.3.	MODELO DE WOOD.....	419
7.2.3.1.	Peatón hombre adulto. $\mu = 0,9$ . <i>Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle</i> .....	421
7.2.3.2.	Peatón niño 10 años. $\mu = 0,8$ . <i>Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins</i> .....	422
7.2.3.3.	Peatón niño 6 años. $\mu = 0,9$ . <i>Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle</i> .....	423
7.2.3.4.	Peatón niño 3 años y 6 meses. $\mu = 0,8$ . <i>Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins</i> .....	424
7.2.3.5.	Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Wood. ....	425

7.3. MODELO A PARTIR DE LOS DESPERFECTOS EN EL VEHÍCULO. MODELO DE HAPPER.....	427
7.3.1. PEATÓN NIÑO 3 AÑOS Y 6 MESES .....	428
7.3.1.1. Peatón niño 3 años y 6 meses. Porsche 911 Carrera.....	428
7.3.1.2. Peatón niño 3 años y 6 meses. Mercedes Benz CL5 350 .....	429
7.3.1.3. Peatón niño 3 años y 6 meses. Renault Scenic 1.9 dCi .....	430
7.3.1.4. Peatón niño 3 años y 6 meses. Seat Ibiza 1.0.....	431
7.3.1.5. Peatón niño 3 años y 6 meses. Volvo 460 1.8.....	432
7.3.1.6. Peatón niño 3 años y 6 meses. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3 ..	433
7.3.1.7. Conclusiones estudio comparativo impacto cabeza peatón 3 años.	434
7.3.2. PEATÓN NIÑO 6 AÑOS .....	435
7.3.2.1. Peatón niño 6 años. Porsche 911 Carrera.....	435
7.3.2.2. Peatón niño 6 años. Mercedes Benz CL5 350.....	436
7.3.2.3. Peatón niño 6 años. Renault Scenic 1.9 dCi.....	437
7.3.2.4. Peatón niño 6 años. Seat Ibiza 1.0 .....	438
7.3.2.5. Peatón niño 6 años. Volvo 460 1.8 .....	439
7.3.2.6. Peatón niño 6 años. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3 .....	440
7.3.2.7. Conclusiones estudio comparativo impacto cabeza peatón 6 años.	441
7.3.3. PEATÓN NIÑO 10 AÑOS .....	442
7.3.3.1. Peatón niño 10 años. Porsche 911 Carrera.....	442
7.3.3.2. Peatón niño 10 años. Mercedes Benz CL5 350.....	443
7.3.3.3. Peatón niño 10 años. Renault Scenic 1.9 dCi.....	444
7.3.3.4. Peatón niño 10 años. Seat Ibiza 1.0 .....	445
7.3.3.5. Peatón niño 10 años. Volvo 460 1.8 .....	446
7.3.3.6. Peatón niño 10 años. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3 .....	447
7.3.3.7. Conclusiones estudio comparativo impacto cabeza peatón 10 años	448
7.3.4. PEATÓN MUJER ADULTA.....	449
7.3.4.1. Peatón mujer adulta. Porsche 911 Carrera.....	449
7.3.4.2. Peatón mujer adulta. Mercedes Benz CL5 350 .....	450
7.3.4.3. Peatón mujer adulta. Renault Scenic 1.9 dCi .....	451
7.3.4.4. Peatón mujer adulta. Seat Ibiza 1.0.....	452
7.3.4.5. Peatón mujer adulta. Volvo 460 1.8.....	453
7.3.4.6. Peatón mujer adulta. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3 .....	454
7.3.4.7. Conclusiones estudio comparativo impacto cabeza peatón mujer...	455
7.3.5. PEATÓN HOMBRE ADULTO.....	456
7.3.5.1. Peatón hombre adulto. Porsche 911 Carrera .....	456
7.3.5.2. Peatón hombre adulto. Mercedes Benz CL5 350 .....	457

7.3.5.3. Peatón hombre adulto. Renault Scenic 1.9 dCi.....	458
7.3.5.4. Peatón hombre adulto. Seat Ibiza 1.0 .....	459
7.3.5.5. Peatón hombre adulto. Volvo 460 1.8 .....	460
7.3.5.6. Peatón hombre adulto. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3.....	461
7.3.5.7. Conclusiones estudio comparativo impacto cabeza peatón hombre	462
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES .....	465
BIBLIOGRAFÍA .....	471
PÁGINAS WEB CONSULTADAS.....	481
ANEXO: TABLAS RESULTADOS VIRTUAL CRASH .....	485



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura núm. 2-1. Datos peatones fallecidos en España período 2005-2014 y % sobre el total de fallecidos en accidentes de tráfico. ....	6
Figura núm. 2-2. Datos peatones fallecidos, heridos hospitalizados, heridos no hospitalizados en España durante 2014. ....	6
Figura núm. 2-3. Porcentajes de víctimas fallecidas en accidente por grupos de edad y vehículo año 2014. ....	7
Figura núm. 2-4. Datos de peatones fallecidos en la UE período 2005-2014. ....	8
Figura núm. 2-5. Datos de peatones fallecidos y porcentaje con respecto al total de fallecidos en la UE período 2005-2014. ....	9
Figura núm. 2-6. Proporción de peatones fallecidos con respecto al total por grupos de edad en la UE año 2014.....	10
Figura núm. 2-7. Porcentaje de peatones y total de fallecidos por accidente según sexo en la UE año 2014. ....	10
Figura núm. 2-8. Datos de personas y peatones fallecidos en accidentes de tráfico en Estados Unidos período 2005-2014. ....	11
Figura núm. 2-9. Datos de personas y peatones fallecidos y heridos en accidentes de tráfico en Estados Unidos año 2014. ....	12
Figura núm. 2-10. Datos de peatones fallecidos por grupos de edad y sexo en Estados Unidos año 2014. ....	13
Figura núm. 3-1. Peatón atropellado situando su centro de gravedad (c.d.g) por debajo de la línea de fuerza del vehículo. ....	21
Figura núm. 3-2. Peatón atropellado situando su centro de gravedad (c.d.g) a la misma altura de la línea de fuerza del vehículo. ....	22
Figura núm. 3-3. Peatón atropellado situando su centro de gravedad (c.d.g) por encima de la línea de fuerza del vehículo. ....	22
Figura núm. 3-4. Trayectoria WRAP. ....	25
Figura núm. 3-5a. Trayectoria FORWARD PROJECTION PEATÓN NIÑO. ....	26
Figura núm. 3-5b. Trayectoria FORWARD PROJECTION PEATÓN ADULTO. ....	26
Figura núm. 3-6. Trayectoria FORWARD PROJECTION CDG ENCIMA CAPÓ. ....	26
Figura núm. 3-7. Trayectoria ROOF VAULT. ....	27

Figura núm.3-8. Trayectoria FENDER VAULT. ....	28
Figura núm.3-9. Trayectoria SOMERSAULT. ....	28
Figura núm.4-1. Representación del choque de dos cuerpos o partículas que poseen la misma masa, hallándose una de ellas en reposo. ....	36
Figura núm.4-2. Representación del choque de dos cuerpos o partículas con una diferencia clara de masas, hallándose una de ellas en reposo.....	37
Figura núm.4-3. Representación del choque de dos cuerpos o partículas con la misma masa y distinta dirección. ....	37
Figura núm.4-4. Gráfica en la que se muestra la distancia en función del tiempo para un movimiento uniformemente decelerado. ....	42
Figura núm.4-5. Gráfica en la que se muestra la velocidad en función del tiempo para un movimiento uniformemente decelerado. ....	43
Figura núm.4-6. Gráfica en la que se muestra la aceleración en función del tiempo para un movimiento uniformemente decelerado. ....	43
Figura núm.4-7. Gráfica en la que se muestra el movimiento parabólico en función de las variables que intervienen. ....	46
Figura núm. 5-1. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección de los dummies durante el experimento en función de las velocidades de atropello para distintos valores de deceleración de los vehículos. ....	57
Figura núm. 5-2. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de deceleración de los vehículos utilizando el modelo de Stcherbatcheff. ....	58
Figura núm. 5-3. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de altura del centro de gravedad de los peatones utilizando el modelo de Collins. ....	61
Figura núm. 5-4. Comparativa de datos experimentales con respecto a resultados de la fórmula de Searle, habiendo realizado la corrección sobre el coeficiente de rozamiento establecido en la tabla 5-3 (fórmula ajustada) y sin haber realizado dicha corrección (fórmula partícula).. ....	65
Figura núm. 5-5. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción utilizando el modelo de Searle para peatones adultos. ....	67
Figura núm. 5-6. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción utilizando el modelo de Searle para peatones niños. ....	68



Figura núm. 5-7. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 3 años y 6 meses, atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.....71

Figura núm. 5-8. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 3 años y 6 meses, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.....72

Figura núm. 5-9. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 3 años y 6 meses, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.....73

Figura núm. 5-10. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 10 años, atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood. ....74

Figura núm. 5-11. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 10 años, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.....75

Figura núm. 5-12. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 10 años, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.....76

Figura núm. 5-13. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones adultos, atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood. ....77

Figura núm. 5-14. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones adultos, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood. ....78

Figura núm. 5-15. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones adultos, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood. ....79

Figura núm. 5-16. Gráfico en el que se muestra la distancia de deslizamiento en función de las velocidades de atropello para distintos valores de deceleración de los vehículos utilizando el modelo de Fricke.....82

Figura núm. 5-17. Gráfico en el que se muestra el movimiento parabólico clásico de una partícula y su deslizamiento. Fuente: Aronberg,1990.....	83
Figura núm. 5-18. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 1,5 m y diferentes alturas de c.d.g de los peatones. ....	85
Figura núm. 5-19. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 3 m y diferentes alturas de c.d.g de los peatones. ....	86
Figura núm. 5-20. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 4,5 m y diferentes alturas de c.d.g de los peatones. ....	87
Figura núm. 5-21. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 6 m y diferentes alturas de c.d.g de los peatones. ....	88
Figura núm. 5-22. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello para diferentes deceleraciones sufridas utilizando el modelo de Limpert. ....	91
Figura núm. 5-23. Resultados del parámetro A obtenidos de accidentes reales. Fuente: Wood D. y Simms C, 2000 .....	93
Figura núm. 5-24. Resultados del parámetro A obtenidos de tests. Fuente: Wood D. y Simms C, 2000 .....	94
Figura núm. 5-25. Comparación de los resultados de los parámetros A obtenidos por diferentes métodos. Fuente: Wood D. y Simms C, 2000 .....	94
Figura núm. 5-26. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo híbrido de Wood. ....	96
Figura núm. 5-27. Resultados de los parámetros A y B obtenidos en función de las distintas pruebas realizadas. Fuente: Han y Brach, 2001 .....	97
Figura núm. 5-28. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos tipos de peatón utilizando el modelo de Han y Brach. ....	99
Figura núm. 5-29. Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección diferenciándose por tipos de geometría del frontal del vehículo. Fuente: Appel, et al, 1975.....	102
Figura núm.5-30. Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección diferenciándose por tipos de peatón. Fuente: Appel, et al, 1975.....	102

Figura núm. 5-31. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello para distintos tipos de frontal del vehículo utilizando el modelo de Appel. .... 104

Figura núm. 5-32. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello para distintos tipos de peatón utilizando el modelo de Appel. .... 105

Figura núm. 5-33. Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección para vehículos de frontal alto y las regresiones matemáticas obtenidas. Fuente: Sturtz et al., 1976. .... 106

Figura núm. 5-34 Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección para vehículos de frontal bajo y las regresiones matemáticas obtenidas. Fuente: Sturtz et al., 1976. .... 107

Figura núm. 5-35. Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección para vehículos de frontal tipo caja y la regresión matemáticas obtenida. Fuente: Sturtz et al., 1976. .... 107

Figura núm. 5-36. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de velocidades de atropello para vehículos de frontal alto utilizando el modelo de Sturtz. .... 110

Figura núm. 5-37. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de velocidades de atropello para vehículos de frontal bajo utilizando el modelo de Sturtz. .... 111

Figura núm. 5-38. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de velocidades de atropello para vehículos de frontal tipo caja utilizando el modelo de Sturtz. .... 112

Figura núm. 5-39. Esquema de la trayectoria “forward projection” vista desde el sistema de origen. Fuente: Wood et al, 2005. .... 113

Figura núm. 5-40. Esquema de la trayectoria “wrap” vista desde el sistema de origen. Fuente: Wood et al, 2005. .... 113

Figura núm. 5-41. Gráfico en el que se muestra la dispersión en la comparativa de datos de accidentes reales y la predicción según el modelo para la trayectoria “forward projection”. Fuente: Wood et al, 2005. .... 114

Figura núm. 5-42. Gráfico en el que se muestra la dispersión en la comparativa de datos de accidentes reales y la predicción según el modelo para la trayectoria “wrap”. Fuente: Wood et al, 2005. .... 114

Figura núm. 5-43. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello para distintos tipos de trayectoria utilizando el modelo de Wood. .... 116

Figura núm. 5-44. Daños generales sufridos en el vehículo por impacto de peatón. Fuente: Happer et al, 2000. ....	118
Figura núm. 5-45. Relación entre la altura de impacto de la cabeza del peatón y la velocidad de atropello del vehículo. Fuente: Campón, 2005. ....	118
Figura núm. 6-1. Captura de imágenes de un turismo Honda NSX y un modelo de peatón. Fuente: Melegh, et al. 2007. ....	125
Figura núm. 6-2. Resultados obtenidos por DEKRA para diferentes tipos de atropellos. Fuente: Melegh, et al. 2007.....	125
Figura núm. 6-3. Certificado de validación del software Virtual Crash.....	126
Figura núm. 6-4. Captura de la interfaz del programa Virtual Crash.....	128
Figura núm. 6-5. Clasificación de la geometría frontal de vehículos. Fuente: DIN 75204-1-1992. ....	129
Figura núm. 6-6. Captura del programa Virtual Crash, con el menú de vehículos turismos desplegado.....	129
Figura núm. 6-7. Captura del programa Virtual Crash, apareciendo en el área de trabajo el vehículo una vez seleccionado. ....	130
Figura núm. 6-8. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Porsche Carrera 911.....	131
Figura núm. 6-9. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Mercedes Benz CL5 350.....	131
Figura núm. 6-10. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Renault Scenic 1.9 dCi.....	131
Figura núm. 6-11. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Seat Ibiza 1.0. ....	132
Figura núm. 6-12. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Volvo 460 1.8. ....	132
Figura núm. 6-13. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Volkswagen LT 28 2.3.....	132
Figura núm. 6-14. Tabla del Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010 para varones desde el nacimiento hasta la edad adulta. ....	134
Figura núm. 6-15. Gráfico del Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010 para varones desde el nacimiento hasta la edad adulta. ....	135

Figura núm. 6-16. Datos que se van a utilizar para la modelización de los multibodies varones. ....	136
Figura núm. 6-17. Tabla del Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010 para mujeres desde el nacimiento hasta la edad adulta.....	137
Figura núm. 6-18. Gráfico del Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010 para mujeres desde el nacimiento hasta la edad adulta.....	138
Figura núm. 6-19. Datos que se van a utilizar para la modelización de los multibodies mujeres.....	139
Figura núm. 6-20. Captura del programa Virtual Crash, con el menú de multicuerpos desplegado.....	140
Figura núm. 6-21. Captura del programa Virtual Crash, con el multicuerpo seleccionado en el área de trabajo.....	141
Figura núm. 6-22. Captura del programa Virtual Crash, con el multicuerpo seleccionado en el área de trabajo y la ventana de características desplegada para ser éstas modificadas.....	142
Figura núm. 6-23. Modelado y datos de multibodies adultos, una vez modificadas las características. ....	143
Figura núm. 6-24. Modelado y datos de multibodies de 10 años, así como de 6 años, una vez modificadas las características. ....	143
Figura núm. 6-25. Modelado y datos del multibody de 3 años y medio, una vez modificadas las características.....	144
Figura núm. 6-26. Captura del programa Virtual Crash, con la modificación de datos en la ventana correspondiente al multibody. ....	145
Figura núm. 6-27. Captura del programa Virtual Crash, una vez modificada la postura en posición caminando del multibody.....	146
Figura núm. 6-28. Captura del programa Virtual Crash, visor 2D, desde donde se sitúan tanto el vehículo como el peatón en posición de atropello.....	147
Figura núm. 6-29. Captura del programa Virtual Crash, visor 3D, desde donde se verifica la posición de atropello tanto para el vehículo como para el peatón.....	148
Figura núm. 6-30. Captura del programa Virtual Crash, desde donde se establecen las variables del vehículo para realizar el atropello. ....	149
Figura núm. 6-31. Captura del programa Virtual Crash, visor 2D, una vez realizada una simulación de atropello, donde se observa la posición final alcanzada por el peatón y la distancia de proyección alcanzada. ....	149

- Figura núm. 6-32. Captura del programa Virtual Crash, visor 3D, una vez realizada una simulación de atropello, donde se observa la posición inicial y trayectoria seguida por ambas unidades de tráfico, posición final del peatón y distancia de proyección alcanzada. .... 150
- Figura núm. 6-33. Captura del programa Virtual Crash, en la que se muestra los resultados de un informe tras haber realizado una simulación de un atropello. .... 150
- Figura núm. 6-34. Captura del programa Virtual Crash, en la que se muestra la trayectoria post-atropello sufrida por el peatón tras la simulación. .... 151
- Figura núm. 6-35. Captura del programa Virtual Crash, en la que se muestra el impacto de la cabeza del multibody sobre la estructura del vehículo tras el atropello. .... 152
- Figura núm. 6-36. Gráfico de las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados en función del tipo de peatón de forma numérica. .... 153
- Figura núm. 6-37. Gráfico de las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados en función del tipo de peatón de forma porcentual. .... 153
- Figura núm. 6-38. Gráfico de las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados para el estudio de forma numérica. .... 154
- Figura núm. 6-39. Gráfico de las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados para el estudio de forma porcentual. .... 154
- Figura núm. 6-40. Gráfico de las simulaciones válidas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados comparativos entre peatones de forma numérica. .... 155
- Figura núm. 6-41. Gráfico de las simulaciones no válidas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados comparativos entre peatones de forma numérica. .... 155
- Figura núm. 6-42. Gráfico de las simulaciones válidas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados comparativos entre peatones de forma porcentual. .... 156
- Figura núm. 6-43. Gráfico de las simulaciones no válidas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados comparativos entre peatones de forma porcentual. .... 156
- Figura núm. 7-1. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  con peatones adultos comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash..... 162

Figura núm. 7-2. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff. .... 162

Figura núm. 7-3. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos utilizando el modelo de Stcherbatcheff. .... 163

Figura núm. 7-4. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  con peatones de 6 años comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash. .... 164

Figura núm. 7-5. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff. .... 165

Figura núm. 7-6. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años utilizando el modelo de Stcherbatcheff. .... 166

Figura núm. 7-7. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  con peatones adultos comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash. .... 167

Figura núm. 7-8. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff. .... 167

Figura núm. 7-9. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos utilizando el modelo de Stcherbatcheff. .... 168

Figura núm. 7-10. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash. .... 169

Figura núm. 7-11. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff. .... 170

- Figura núm. 7-12. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años utilizando el modelo de Stcherbatcheff..... 171
- Figura núm. 7-13. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  con peatones adultos comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash..... 172
- Figura núm. 7-14. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff..... 172
- Figura núm. 7-15. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos utilizando el modelo de Stcherbatcheff. .... 173
- Figura núm. 7-16. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  con peatones de 6 años comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash..... 174
- Figura núm. 7-17. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff. .... 175
- Figura núm. 7-18. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años utilizando el modelo de Stcherbatcheff..... 176
- Figura núm. 7-19. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello comparando los datos del modelo físico-matemático de Collins y los datos obtenidos con el programa Virtual Crash para peatones adultos. .... 179
- Figura núm. 7-20. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Collins. .... 180
- Figura núm. 7-21. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando el modelo de Collins. .... 181



Figura núm. 7-22. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello comparando los datos del modelo físico-matemático de Collins y los datos obtenidos con el programa Virtual Crash para peatones de 10 años. .... 182

Figura núm. 7-23. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 10 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Collins. .... 183

Figura núm. 7-24. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 10 años utilizando el modelo de Collins..... 184

Figura núm. 7-25. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello comparando los datos del modelo físico-matemático de Collins y los datos obtenidos con el programa Virtual Crash para peatones de 3 años y 6 meses. .... 185

Figura núm. 7-26. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Collins. .... 186

Figura núm. 7-27. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando el modelo de Collins. .... 187

Figura núm. 7-28. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,5$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash..... 191

Figura núm. 7-29. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,5$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle.. 191

Figura núm.7-30. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,5$  según el modelo de Searle. .... 192

Figura núm. 7-31. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,7$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash..... 194

Figura núm. 7-32. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,7$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle.. 194

- Figura núm. 7-33. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,7$  según el modelo de Searle..... 195
- Figura núm. 7-34. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,9$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash. .... 196
- Figura núm. 7-35. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,9$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle. 197
- Figura núm.7-36. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,9$  según el modelo de Searle..... 198
- Figura núm.7-37. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,5$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash. .... 199
- Figura núm.7-38. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,5$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle. 200
- Figura núm.7-39. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,5$ , según el modelo de Searle..... 201
- Figura núm.7-40. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,7$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash. .... 202
- Figura núm. 7-41. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,7$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle. 203
- Figura núm.7-42. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,7$ , según el modelo de Searle..... 204
- Figura núm. 7-43. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash. .... 205

Figura núm.7-44. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle..206

Figura núm.7-45. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ , según el modelo de Searle. ....207

Figura núm.7-46. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,43$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....214

Figura núm.7-47. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....215

Figura núm.7-48. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....216

Figura núm.7-49. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood.....217

Figura núm.7-50. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood. ....218

Figura núm.7-51. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,54$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....219

Figura núm.7-52. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....220

Figura núm.7-53. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....221

Figura núm.7-54. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood.....222

- Figura núm.7-55. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood. .... 223
- Figura núm.7-56. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,66$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. .... 224
- Figura núm.7-57. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. .... 225
- Figura núm.7-58. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. .... 226
- Figura núm.7-59. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood. .... 227
- Figura núm.7-60. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood. .... 228
- Figura núm.7-61. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. .... 229
- Figura núm.7-62. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. .... 230
- Figura núm.7-63 Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. .... 231
- Figura núm.7-64. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood. .... 232
- Figura núm.7-65. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood. .... 233

Figura núm.7-66. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....234

Figura núm.7-67. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....235

Figura núm.7-68. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....236

Figura núm.7-69. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood.....237

Figura núm.7-70. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 10 años utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood. ....238

Figura núm.7-71. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....239

Figura núm.7-72. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....240

Figura núm.7-73. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....241

Figura núm.7-74. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood.....242

Figura núm.7-75. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 10 años utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood. ....243

Figura núm.7-76. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....244

- Figura núm.7-77. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando,  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood..... 245
- Figura núm.7-78. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood..... 246
- Figura núm.7-79. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood. .... 247
- Figura núm.7-80. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood..... 248
- Figura núm.7-81. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood..... 249
- Figura núm.7-82 Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood..... 250
- Figura núm.7-83. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood..... 251
- Figura núm.7-84. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood. .... 252
- Figura núm.7-85. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood..... 253
- Figura núm.7-86. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood..... 254

Figura núm.7-87. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....255

Figura núm.7-88. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood. ....256

Figura núm.7-89. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood.....257

Figura núm.7-90. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood. ....258

Figura núm.7-91. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para  $\mu=0.45$  comparando los datos del modelo físico-matemático de Fricke y del programa Virtual Crash.....262

Figura núm.7-92. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para  $\mu=0.45$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Fricke.....263

Figura núm.7-93. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para  $\mu=0.45$  de Fricke. ....264

Figura núm.7-94. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para  $\mu=0.60$  comparando los datos del modelo físico-matemático de Fricke y del programa Virtual Crash.....265

Figura núm.7-95. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para  $\mu=0.60$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Fricke.....266

Figura núm.7-96. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para  $\mu=0.60$  según el modelo de Fricke. ....267

Figura núm.7-97. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash. ....270

- Figura núm.7-98. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert..... 271
- Figura núm.7-99. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos según el modelo de Limpert. .... 272
- Figura núm.7-100. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash..... 273
- Figura núm.7-101. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert. .... 274
- Figura núm.7-102. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años según el modelo de Limpert... 275
- Figura núm.7-103. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $8,82 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash..... 276
- Figura núm.7-104. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $8,82 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert. .... 277
- Figura núm.7-105. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $8,82 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos según el modelo de Limpert. .... 278
- Figura núm.7-106. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $8,82 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash..... 279
- Figura núm.7-107. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $8,82 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert. .... 280
- Figura núm.7-108. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $8,82 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años según el modelo de Limpert... 281



Figura núm.7-109. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash.....282

Figura núm.7-110. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert.....283

Figura núm.7-111. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos según el modelo de Limpert. ....284

Figura núm.7-112. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash.....285

Figura núm.7-113. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert.....286

Figura núm.7-114. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años según el modelo de Limpert. 287

Figura núm.7-115. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,5$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash. ....290

Figura núm.7-116 Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,5$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood.....291

Figura núm.7-117. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,5$ , según el modelo híbrido de Wood....292

Figura núm.7-118. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,7$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash. ....293

- Figura núm.7-119. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,7$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood. .... 294
- Figura núm.7-120. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,7$ , según el modelo híbrido de Wood. .. 295
- Figura núm.7-121. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,9$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash..... 296
- Figura núm.7-122. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,9$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood. .... 297
- Figura núm.7-123. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,9$ , según el modelo híbrido de Wood. .. 298
- Figura núm.7-124. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,5$ , comparando los datos del modelo físico-matemático y del programa Virtual Crash..... 299
- Figura núm.7-125. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,5$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood..... 300
- Figura núm.7-126. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,5$ , según el modelo híbrido de Wood. .... 301
- Figura núm.7-127. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,7$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash..... 302
- Figura núm.7-128. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,7$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood..... 303

Figura núm.7-129. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,7$ , según el modelo híbrido de Wood. ....304

Figura núm.7-130. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,9$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash. ....305

Figura núm.7-131. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,9$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood.....306

Figura núm.7-132. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,9$ , según el modelo híbrido de Wood. ....307

Figura núm.7-133. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,4$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash. ....310

Figura núm.7-134 Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,4$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach.....311

Figura núm.7-135. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,4$ , según el modelo de Han y Brach. ....312

Figura núm.7-136. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,6$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash. ....313

Figura núm.7-137. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,6$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach.....314

Figura núm.7-138. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,6$ , según el modelo de Han y Brach. ....315

- Figura núm.7-139. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,8$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash..... 316
- Figura núm.7-140. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,8$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach. .... 317
- Figura núm.7-141. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,8$ , según el modelo de Han y Brach..... 318
- Figura núm.7-142. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,4$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash. .... 319
- Figura núm.7-143. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,4$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach. .... 320
- Figura núm.7-144. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,4$ , según el modelo de Han y Brach. .... 321
- Figura núm.7-145. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,6$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash. .... 322
- Figura núm.7-146. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,6$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach. .... 323
- Figura núm.7-147. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,6$ , según el modelo de Han y Brach. .... 324
- Figura núm.7-148. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,8$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash. .... 325

Figura núm.7-149. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,8$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach..... 326

Figura núm.7-150. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,8$ , según el modelo de Han y Brach..... 327

Figura núm.7-151. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,45$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash..... 331

Figura núm.7-152. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,45$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel. .... 332

Figura núm.7-153. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,45$ , según el modelo de Appel..... 333

Figura núm.7-154. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,65$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash..... 334

Figura núm.7-155. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,65$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel. .... 335

Figura núm.7-156. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,65$ , según el modelo de Appel..... 336

Figura núm.7-157. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,85$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash..... 337

Figura núm.7-158. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,85$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel. .... 338

Figura núm.7-159. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,85$ , según el modelo de Appel..... 339

Figura núm.7-160. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,45$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....	340
Figura núm.7-161. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,45$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel.....	341
Figura núm.7-162. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,45$ , según el modelo de Appel.....	342
Figura núm.7-163. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,65$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....	343
Figura núm.7-164. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,65$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel.....	344
Figura núm.7-165. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,65$ , según el modelo de Appel.....	345
Figura núm.7-166. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,85$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....	346
Figura núm.7-167. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,85$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel.....	347
Figura núm.7-168. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,85$ , según el modelo de Appel.....	348
Figura núm.7-169. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal alto</i> , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.....	349

Figura núm.7-170. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos  $\mu = 0,65$  *Frontal alto*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....350

Figura núm.7-171. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal alto*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....351

Figura núm.7-172. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal alto*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....352

Figura núm.7-173. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal alto*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....353

Figura núm.7-174. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal alto*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....354

Figura núm.7-175. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....355

Figura núm.7-176. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos  $\mu = 0,65$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....356

Figura núm.7-177. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....357

Figura núm.7-178. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$ .*Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....358

Figura núm.7-179. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash. ....359

Figura núm.7-180. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal bajo</i> , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.....	360
Figura núm.7-181. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal alto</i> , comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.....	365
Figura núm.7-182 Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal alto</i> , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....	366
Figura núm.7-183. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal alto</i> , según el modelo de Sturtz. ....	367
Figura núm.7-184. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas $\mu = 0,65$ <i>Frontal alto</i> , comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.....	368
Figura núm.7-185 Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,65$ <i>Frontal alto</i> , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....	369
Figura núm.7-186. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,65$ <i>Frontal alto</i> , según el modelo de Sturtz. ....	370
Figura núm.7-187. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal alto</i> , comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.....	371
Figura núm.7-188. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal alto</i> , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....	372
Figura núm.7-189. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal alto</i> , según el modelo de Sturtz. ....	373



Figura núm.7-190. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal alto*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. ....374

Figura núm.7-191. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal alto*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....375

Figura núm.7-192. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal alto*, según el modelo de Sturtz. ....376

Figura núm.7-193. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal alto*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. ....377

Figura núm.7-194. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal alto*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....378

Figura núm.7-195. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal alto*, según el modelo de Sturtz. ....379

Figura núm.7-196. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal alto*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. ....380

Figura núm.7-197. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal alto*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....381

Figura núm.7-198. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal alto*, según el modelo de Sturtz. ....382

Figura núm.7-199. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. ....383

- Figura núm.7-200 Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal bajo*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. .... 384
- Figura núm.7-201. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal bajo*, según el modelo de Sturtz. .... 385
- Figura núm.7-202. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas  $\mu = 0,65$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash..... 386
- Figura núm.7-203. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal bajo*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. .... 387
- Figura núm.7-204. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal bajo*, según el modelo de Sturtz. .... 388
- Figura núm.7-205. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. .... 389
- Figura núm.7-206. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal bajo*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. .... 390
- Figura núm.7-207. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal bajo*, según el modelo de Sturtz. .... 391
- Figura núm.7-208. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash..... 392
- Figura núm.7-209. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal bajo*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz..... 393

Figura núm.7-210. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal bajo*, según el modelo de Sturtz.....394

Figura núm.7-211. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. ....395

Figura núm.7-212. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal bajo*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....396

Figura núm.7-213. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal bajo*, según el modelo de Sturtz.....397

Figura núm.7-214. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal bajo*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. ....398

Figura núm.7-215. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal bajo*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....399

Figura núm.7-216. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal bajo*, según el modelo de Sturtz.....400

Figura núm.7-217. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal tipo caja*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.....401

Figura núm.7-218. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal tipo caja*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....402

Figura núm.7-219. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal tipo caja*, según el modelo de Sturtz.....403

- Figura núm.7-220. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas  $\mu = 0,65$  *Frontal tipo caja*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash..... 404
- Figura núm.7-221. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal tipo caja*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. .... 405
- Figura núm.7-222. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal tipo caja*, según el modelo de Sturtz. .... 406
- Figura núm.7-223. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal tipo caja*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. .... 407
- Figura núm.7-224 Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal tipo caja*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. .... 408
- Figura núm.7-225. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal tipo caja*, según el modelo de Sturtz. .... 409
- Figura núm.7-226. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal tipo caja*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. .... 410
- Figura núm.7-227. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal tipo caja*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz..... 411
- Figura núm.7-228. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal tipo caja*, según el modelo de Sturtz. .... 412
- Figura núm.7-229. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal tipo caja*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. .... 413

Figura núm.7-230. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  *Frontal tipo caja*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....414

Figura núm.7-231. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  *Frontal tipo caja*, según el modelo de Sturtz. ....415

Figura núm.7-232. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal tipo caja*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash. ....416

Figura núm.7-233. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal tipo caja*, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz. ....417

Figura núm.7-234. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  *Frontal tipo caja*, según el modelo de Sturtz. ....418

Figura núm.7-235. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,9$ . *Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Wood y del programa Virtual Crash. ....421

Figura núm.7-236. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones niños de 10 años utilizando  $\mu = 0,8$ . *Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Wood y del programa Virtual Crash. ....422

Figura núm.7-237. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones niños de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ . *Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Wood y del programa Virtual Crash. ....423

Figura núm.7-238. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones niños de 3 años y 6 meses  $\mu = 0,8$ . *Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins*, comparando los datos del modelo físico-matemático de Wood y del programa Virtual Crash. ....424

Figura núm.7-239. Relación entre la altura de impacto de la cabeza del peatón y la velocidad de atropello del vehículo. Fuente: Campón, 2005. ....427

Figura núm.7-240. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.....	428
Figura núm.7-241. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.....	428
Figura núm.7-242. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello. ....	429
Figura núm.7-243. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.....	429
Figura núm.7-244. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.....	430
Figura núm.7-245. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3,5 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.....	430
Figura núm.7-246. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.....	431
Figura núm.7-247. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.....	431
Figura núm.7-248. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.....	432
Figura núm.7-249. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3,5 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello. ....	432
Figura núm.7-250. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.....	433
Figura núm.7-251. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.....	433

Figura núm.7-252. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.....	435
Figura núm.7-253. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.....	435
Figura núm.7-254. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello. ....	436
Figura núm.7-255. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.....	436
Figura núm.7-256. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello. ....	437
Figura núm.7-257. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.....	437
Figura núm.7-258. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.....	438
Figura núm.7-259. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.....	438
Figura núm.7-260. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.....	439
Figura núm.7-261. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.....	439
Figura núm.7-262. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.....	440
Figura núm.7-263. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.....	440

Figura núm.7-264. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.....	442
Figura núm.7-265. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.....	442
Figura núm.7-266. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.....	443
Figura núm.7-267. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.....	443
Figura núm.7-268. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.....	444
Figura núm.7-269. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.....	444
Figura núm.7-270. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.....	445
Figura núm.7-271. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.....	445
Figura núm.7-272. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.....	446
Figura núm.7-273. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.....	446
Figura núm.7-274. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.....	447
Figura núm.7-275. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.....	447



Figura núm.7-276. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello. ....449

Figura núm.7-277. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.....449

Figura núm.7-278. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello. ....450

Figura núm.7-279. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.....450

Figura núm.7-280. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello. ....451

Figura núm.7-281. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.....451

Figura núm.7-282. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.....452

Figura núm.7-283. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.....452

Figura núm.7-284. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody peatón adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.....453

Figura núm.7-285. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody peatón adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.....453

Figura núm.7-286. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.....454

Figura núm.7-287. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.....454

- Figura núm.7-288. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello..... 456
- Figura núm.7-289. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello..... 456
- Figura núm.7-290. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello..... 457
- Figura núm.7-291. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello..... 457
- Figura núm.7-292. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello..... 458
- Figura núm.7-293. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello..... 458
- Figura núm.7-294. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello..... 459
- Figura núm.7-295. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello..... 459
- Figura núm.7-296. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello..... 460
- Figura núm 7-297. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello..... 460
- Figura núm.7-298. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello..... 461
- Figura núm.7-299. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello..... 461

## INDICE DE TABLAS

Tabla núm.3-1. Fases en la identificación de un peligro por parte de un conductor..	19
Tabla núm.4-1. Magnitudes y unidades básicas del Sistema Internacional .....	33
Tabla núm.4-2. Magnitudes y unidades derivadas de las unidades básicas del Sistema Internacional.....	34
Tabla núm.4-3. Magnitudes y unidades de uso común o del Sistema Anglosajón de Unidades y su forma de conversión .....	34
Tabla núm.5-1. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Stcherbatcheff .....	58
Tabla núm.5-2. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Collins.....	61
Tabla núm.5-3. Corrección a realizar en función del coeficiente de rozamiento utilizado para el peatón en el modelo de Searle.....	65
Tabla núm.5-4. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Searle, habiendo realizado las correcciones propuestas en el coeficiente de fricción y el aumento de un 20% en la velocidad para adecuar los resultados a atropellos de peatones adultos. ....	67
Tabla núm.5-5. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Searle, habiendo realizado las correcciones propuestas en el coeficiente de fricción y el aumento de un 10% en la velocidad para adecuar los resultados a atropellos de peatones niños. ....	68
Tabla núm.5-6. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.....	71
Tabla núm.5-7. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.....	72
Tabla núm.5-8. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.....	73
Tabla núm.5-9. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.	74

Tabla núm.5-10. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.	75
Tabla núm.5-11. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.	76
Tabla núm.5-12. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.	77
Tabla núm.5-13. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.	78
Tabla núm.5-14. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.	79
Tabla núm.5-15. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Fricke	81
Tabla núm.5-16. Resultados de la distancia de proyección para peatones de diferentes alturas utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 1,5 m.	85
Tabla núm.5-17. Resultados de la distancia de proyección para peatones de diferentes alturas utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 3 m.	86
Tabla núm.5-18. Resultados de la distancia de proyección para peatones de diferentes alturas utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 4,5 m.	87
Tabla núm.5-19. Resultados de la distancia de proyección para peatones de diferentes alturas utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 6 m.	88
Tabla núm.5-20. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Limpert.	91
Tabla núm.5-21. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo híbrido de Wood.	95
Tabla núm.5-22. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos y niños utilizando el modelo de Han y Brach.	98
Tabla núm.5-23. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando los modelos de Appel.	104

Tabla núm.5-24. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando las regresiones para vehículos de frontal alto utilizando el modelo de Sturtz. ....	109
Tabla núm.5-25. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando las regresiones para vehículos de frontal bajo utilizando el modelo de Sturtz. ....	110
Tabla núm.5-26. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando la regresión para vehículos de frontal tipo caja utilizando el modelo de Sturtz. ....	111
Tabla núm.5-27. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Wood. ....	116
Tabla núm.7-1. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Stcherbatcheff .....	160
Tabla núm.7-2. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 4 m/s <sup>2</sup> con peatones adultos. ....	161
Tabla núm.7-3. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 4 m/s <sup>2</sup> con peatones de 6 años. ....	164
Tabla núm.7-4. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 5,5 m/s <sup>2</sup> con peatones adultos. ....	166
Tabla núm.7-5. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 5,5 m/s <sup>2</sup> con peatones de 6 años. ....	169
Tabla núm.7-6. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 7 m/s <sup>2</sup> con peatones adultos.....	171
Tabla núm.7-7. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 7 m/s <sup>2</sup> con peatones de 6 años. ....	174
Tabla núm.7-8. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Collins.....	177
Tabla núm.7-9. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Collins para peatones adultos. ....	179
Tabla núm.7-10. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Collins para peatones de 10 años.	182

Tabla núm.7-11. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Collins para peatones de 3 años y 6 meses. ....	185
Tabla núm.7-12. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos utilizando el modelo de Searle.....	189
Tabla núm.7-13. Resultados de la distancia de proyección para peatones niños utilizando el modelo de Searle.....	189
Tabla núm.7-14. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones adultos utilizando $\mu = 0,5$ .....	190
Tabla núm.7-15. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones adultos utilizando $\mu = 0,7$ .....	193
Tabla núm.7-16. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones adultos utilizando $\mu = 0,9$ .....	196
Tabla núm.7-17. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,5$ .....	199
Tabla núm.7-18. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,7$ . ....	202
Tabla núm.7-19. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,9$ . ....	205
Tabla núm.7-20. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood. ....	209
Tabla núm.7-21. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood. ....	210
Tabla núm.7-22. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood. ....	210
Tabla núm.7-23. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood. ....	210

Tabla núm.7-24. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood. ....211

Tabla núm.7-25. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood. ....211

Tabla núm.7-26. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood. ....211

Tabla núm.7-27. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood. ....212

Tabla núm.7-28. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood. ....212

Tabla núm.7-29. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 985 kg.....214

Tabla núm.7-30. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg.....215

Tabla núm.7-31. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg.....216

Tabla núm.7-32. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 985 kg.....219

Tabla núm.7-33. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg.....220

Tabla núm.7-34. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg.....221

Tabla núm.7-35. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 985 kg.....224

Tabla núm.7-36. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg.....225

Tabla núm.7-37. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando $\mu = 0,66$ y un vehículo de 1775 kg .....	226
Tabla núm.7-38. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando $\mu = 0,43$ y un vehículo de 985 kg.....	229
Tabla núm.7-39. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando $\mu = 0,43$ y un vehículo de 1530 kg.....	230
Tabla núm.7-40. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando $\mu = 0,43$ y un vehículo de 1775 kg.....	231
Tabla núm.7-41. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando $\mu = 0,54$ y un vehículo de 985 kg.....	234
Tabla núm.7-42. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando $\mu = 0,54$ y un vehículo de 1530 kg.....	235
Tabla núm.7-43. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando $\mu = 0,54$ y un vehículo de 1775 kg.....	236
Tabla núm.7-44. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando $\mu = 0,66$ y un vehículo de 985 kg.....	239
Tabla núm.7-45. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando $\mu = 0,66$ y un vehículo de 1530 kg.....	240
Tabla núm.7-46. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando $\mu = 0,66$ y un vehículo de 1775 kg.....	241
Tabla núm.7-47. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando $\mu = 0,43$ y un vehículo de 985 kg.....	244
Tabla núm.7-48. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando $\mu = 0,43$ y un vehículo de 1530 kg.....	245



Tabla núm.7-49. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg. ....246

Tabla núm.7-50. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 985 kg. ....249

Tabla núm.7-51. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg. ....250

Tabla núm.7-52. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg. ....251

Tabla núm.7-53. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 985 kg. ....254

Tabla núm.7-54. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg. ....255

Tabla núm.7-55. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg. ....256

Tabla núm.7-56. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Fricke. ....260

Tabla núm.7-57. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Fricke para  $\mu=0.45$  y peatones adultos.....261

Tabla núm.7-58. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Fricke para  $\mu=0.45$  y peatones de 3 años y 6 meses. ....262

Tabla núm.7-59. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Fricke para  $\mu=0.60$  y peatones adultos.....264

Tabla núm.7-60. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Fricke para  $\mu=0.60$  y peatones de 3 años y 6 meses. ....265

Tabla núm.7-61. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Limpert.....268

Tabla núm.7-62. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 6,86 m/s <sup>2</sup> y peatones adultos.....	270
Tabla núm.7-63. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 6,86 m/s <sup>2</sup> y peatones de 6 años. ....	273
Tabla núm.7-64. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 8,82 m/s <sup>2</sup> y peatones adultos.....	276
Tabla núm.7-65. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 8,82 m/s <sup>2</sup> y peatones de 6 años. ....	279
Tabla núm.7-66. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 11,77 m/s <sup>2</sup> y peatones adultos.....	282
Tabla núm.7-67. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 11,77 m/s <sup>2</sup> y peatones de 6 años. ....	285
Tabla núm.7-68. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo híbrido de Wood.....	288
Tabla núm.7-69. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,5$ .....	290
Tabla núm.7-70. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,7$ .....	293
Tabla núm.7-71. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,9$ .....	296
Tabla núm.7-72. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,5$ .....	299
Tabla núm.7-73. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,7$ .....	302
Tabla núm.7-74. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,9$ .....	305

Tabla núm.7-75. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos y niños utilizando el modelo de Han y Brach.....	309
Tabla núm.7-76. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,4$ .....	310
Tabla núm.7-77. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,6$ .....	313
Tabla núm.7-78. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,8$ .....	316
Tabla núm.7-79. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,4$ .....	319
Tabla núm.7-80. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,6$ .....	322
Tabla núm.7-81. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,8$ .....	325
Tabla núm.7-82. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando los modelos de Appel.....	329
Tabla núm.7-83. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones adultos utilizando $\mu = 0,45$ .....	331
Tabla núm.7-84. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones adultos utilizando $\mu = 0,65$ .....	334
Tabla núm.7-85. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones adultos utilizando $\mu = 0,85$ .....	337
Tabla núm.7-86. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,45$ .....	340
Tabla núm.7-87. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,65$ .....	343

Tabla núm.7-88. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,85$ .....	346
Tabla núm.7-89. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal alto</i> . ....	349
Tabla núm.7-90. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando $\mu = 0,65$ <i>Frontal alto</i> . ....	350
Tabla núm.7-91. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal alto</i> . ....	351
Tabla núm.7-92. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal alto</i> .....	352
Tabla núm.7-93. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,65$ <i>Frontal alto</i> .....	353
Tabla núm.7-94. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal alto</i> .....	354
Tabla núm.7-95. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando $\mu = 0,45$ - <i>Frontal bajo</i> .....	355
Tabla núm.7-96. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando $\mu = 0,65$ <i>Frontal bajo</i> . ....	356
Tabla núm.7-97. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal bajo</i> . ....	357
Tabla núm.7-98. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal bajo</i> .....	358
Tabla núm.7-99. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,65$ <i>Frontal bajo</i> .....	359

Tabla núm.7-100. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando $\mu = 0,85$ Frontal bajo. ....	360
Tabla núm.7-101. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando las regresiones para vehículos de frontal alto según el modelo de Sturtz.....	362
Tabla núm.7-102. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando las regresiones para vehículos de frontal bajo según el modelo de Sturtz.....	363
Tabla núm.7-103. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando la regresión para vehículos de frontal tipo caja según el modelo de Sturtz.....	363
Tabla núm.7-104. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,45$ Frontal alto .....	365
Tabla núm.7-105. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,65$ Frontal alto. ....	368
Tabla núm.7-106. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,85$ Frontal alto. ....	371
Tabla núm.7-107. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,45$ Frontal alto.....	374
Tabla núm.7-108. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,65$ Frontal alto.....	377
Tabla núm.7-109. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,85$ Frontal alto.....	380
Tabla núm.7-110. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,45$ Frontal bajo. ....	383
Tabla núm.7-111. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,65$ Frontal bajo. ....	386
Tabla núm.7-112. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,85$ Frontal bajo. ....	389

Tabla núm.7-113. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal bajo</i> .....	392
Tabla núm.7-114. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,65$ <i>Frontal bajo</i> .....	395
Tabla núm.7-115. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal bajo</i> .....	398
Tabla núm.7-116. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal tipo caja</i> .....	401
Tabla núm.7-117. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,65$ <i>Frontal tipo caja</i> .....	404
Tabla núm.7-118. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal tipo caja</i> .....	407
Tabla núm.7-119. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,45$ <i>Frontal tipo caja</i> .....	410
Tabla núm.7-120. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,65$ <i>Frontal tipo caja</i> .....	413
Tabla núm.7-121. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando $\mu = 0,85$ <i>Frontal tipo caja</i> .....	416
Tabla núm.7-122. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Wood.....	419
Tabla núm.7-123. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones hombres adultos utilizando $\mu = 0,9$ . <i>Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle</i> ....	421
Tabla núm.7-124. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones niños de 10 años utilizando $\mu = 0,8$ . <i>Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins</i> .....	422
Tabla núm.7-125. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones niños de 6 años utilizando $\mu = 0,9$ . <i>Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle</i> .....	423

Tabla núm.7-126. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones niños de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,8$ . *Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins*. .....424





# **CAPÍTULO 1**

## **CONCEPTO DE ATROPELLO A PEATÓN**



## CAPÍTULO 1. CONCEPTO DE ATROPELLO A PEATÓN

### 1. DEFINICIÓN

La Orden del Ministerio del Interior INT/2223/2014, de 27 de octubre, por la que se regula la comunicación de la información al Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico (BOE número 289, de 29/11/14), en su Anexo II, recoge dos definiciones relacionadas directamente con la definición final que del atropello se quiere mostrar. Por un lado, se define accidente de tráfico con víctimas, considerando tal, a los accidentes que reúnen las circunstancias siguientes:

- Producirse, o tener su origen, en una de las vías o terrenos objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial.
- Resultar a consecuencia de los mismos una o varias personas fallecidas o heridas.
- Estar implicado, al menos, un vehículo en movimiento.

Además, se considera que un vehículo está implicado en un accidente de tráfico cuando entra en colisión, entre otros elementos, con peatones.

Por otro lado, en el Anexo I del Real Decreto Legislativo 6/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial (BOE núm. 261, de 31/10/15), se establece que peatón es toda persona que, sin ser conductor, transita a pie por las vías o terrenos objeto de la legislación sobre tráfico. También tienen la consideración de peatones quienes empujan o arrastran un coche de niño o de una persona con discapacidad o cualquier otro vehículo sin motor de pequeñas dimensiones, los que conducen a pie un ciclo o ciclomotor de dos ruedas, y las personas con discapacidad que circulan al paso en una silla de ruedas, con o sin motor

Como vehículo, según lo dispuesto en la última referencia legislativa citada, se debe entender cualquier artefacto o aparato apto para circular por las vías citadas.

Definidos los tres elementos principales que concurren en un atropello, se puede concluir que el mismo es una **tipología concreta de accidente de tráfico, producido en una de las vías o terrenos objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, en el que un vehículo en movimiento entra en contacto con un peatón, resultando de dicha colisión una o varias personas muertas o heridas.**

A la hora de realizar el presente trabajo, dada la multitud de situaciones en las que una persona puede ser considerada como peatón, el estudio se va a centrar en considerar como peatón a la persona que transita a pie por la vía, al ser esta situación el tipo de atropello más genérico.

## **CAPÍTULO 2**

# **ESTUDIOS ESTADÍSTICOS**



## CAPÍTULO 2. ESTUDIOS ESTADÍSTICOS

### 2. INTRODUCCIÓN

Para poder valorar el problema que supone el accidente clasificado como atropello a peatón, se va a analizar muy someramente la información referida a este tipo de accidente en el ámbito de España, la Unión Europea y Estados Unidos.

Para ello, se citarán los datos anuales más recientes de cada uno de los ámbitos mencionados, y además, con el fin de tener una perspectiva más amplia y común para los tres entornos propuestos, se recurrirá a datos estadísticos que muestren la evolución de este tipo de accidente durante una década, concretamente en el período comprendido entre el año 2005 y el año 2014.

#### 2.1. ESPAÑA

Según la Dirección General de Tráfico [DGT, 2016] en el año 2014 fallecieron en España 336 peatones, correspondiéndose con un 20% del total de personas fallecidas en accidentes de tráfico. Si observamos los datos diferenciando el lugar de producción (vía urbana – vía interurbana) se identifica claramente que el accidente por atropello en vía urbana supuso el 46% del total de fallecidos en dicho ámbito, es decir, casi la mitad de las personas que fallecen en España por accidente de tráfico en casco urbano es un peatón; las personas que fallecieron por atropello en vía interurbana supusieron en el año 2014 un 11 % del total de personas fallecidas en accidentes de tráfico en este ámbito. Estos datos se justifican en el hecho de la enorme diferencia cuantitativa existente entre los peatones que circulan en el ámbito urbano con respecto a los que lo hacen por vías interurbanas, y el mayor riesgo de ser atropellado de un lugar con respecto a otro. (Ver Figura 2-1).

En cuanto a la tendencia de peatones fallecidos en el período 2005-2014, se observa claramente que su número ha disminuido drásticamente siguiendo la misma evolución de descenso en cuanto a número de accidentes y víctimas de la última década. En vías interurbanas se mantiene estable el porcentaje con respecto al total

(9 -10 %), pero sin embargo en vías urbanas el porcentaje es más irregular (40 a 51 %), llegando al mayor índice en el año 2010 (51 %).

Años	Vías interurbanas		Vías urbanas		Total	
	Peatones fallecidos	% Peatones fallecidos sobre el total	Peatones fallecidos	% Peatones fallecidos sobre el total	Peatones fallecidos	% Peatones fallecidos sobre el total
2005	348	10%	332	42%	680	15%
2006	317	9%	296	40%	613	15%
2007	287	9%	304	41%	591	15%
2008	236	10%	266	42%	502	16%
2009	201	9%	269	46%	470	17%
2010	193	10%	278	51%	471	19%
2011	158	10%	222	49%	380	18%
2012	144	10%	232	50%	376	20%
2013	154	13%	224	50%	378	23%
2014	132	11%	204	46%	336	20%

Figura núm. 2-1. Datos peatones fallecidos en España período 2005-2014 y % sobre el total de fallecidos en accidentes de tráfico. Fuente: DGT

En relación al sexo de los peatones fallecidos, los hombres fueron los que mayor porcentaje presentaron, el 65%, mientras que en el caso de heridos hospitalizados y heridos no hospitalizados fueron las mujeres las que tuvieron un porcentaje mayor, el 54% y el 55% respectivamente

Sexo	Fallecidos		Heridos hospitalizados		Heridos no hospitalizados		Índice de letalidad
	Número	%	Número	%	Número	%	
Hombres	217	65%	875	46%	4.750	45%	3,7
Mujeres	119	35%	1.021	54%	5.806	55%	1,7
Desconocido		0%	6	0%	69	1%	0,0
<b>Total</b>	<b>336</b>	<b>100%</b>	<b>1.902</b>	<b>100%</b>	<b>10.625</b>	<b>100%</b>	<b>2,6</b>

Figura núm. 2-2. Datos peatones fallecidos, heridos hospitalizados, heridos no hospitalizados en España durante 2014. Fuente: DGT



En cuanto a la distribución por edad, el grupo de personas a partir de 75 años fallecidos en accidentes como peatones representa el porcentaje más alto de todos los grupos de edad, llegando a un 47% del total del grupo. Igualmente significativo es el grupo de edad de 0 a 14 años, en los que el porcentaje de personas fallecidas por atropello con respecto al total supone un 35 % del total del grupo.

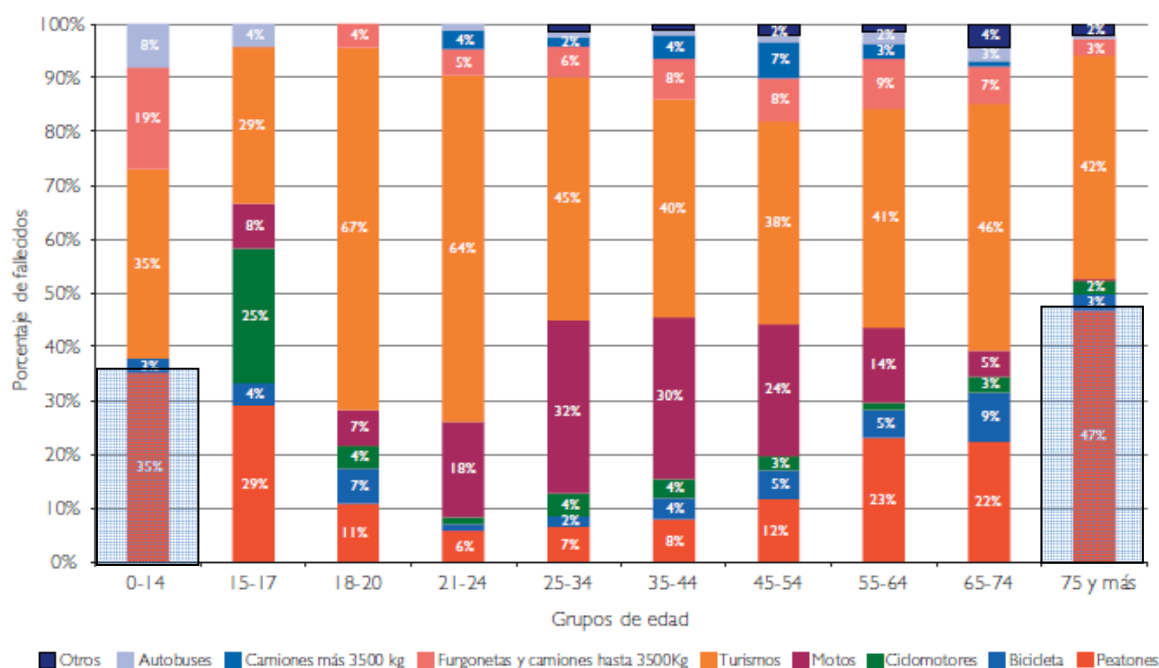


Figura núm. 2-3. Porcentajes de víctimas fallecidas en accidente por grupos de edad y vehículo año 2014. Fuente: DGT

## 2.2. UNIÓN EUROPEA

Tomando como referencia los datos aportados por the European Road Safety Observatory (ERSO), en la Unión Europea (excepto Lituania) en el año 2014 fallecieron un total de 5.621 peatones, ello supone un descenso del 35% con respecto al año 2005.

Destacan por su descenso de más del 55% desde el año 2005, la República Checa, Letonia y Chipre. En Dinamarca, Estonia, Grecia, España, Hungría y Eslovenia, los peatones fallecidos en accidentes prácticamente se han reducido a la mitad en el período 2005-2014, mientras que en Bélgica y Suecia la mencionada cifra es prácticamente la misma en toda la década.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
BE	108	122	104	99	101	106	113	104	99	106
BG	-	-	-	278	198	-	-	-	-	-
CZ	298	202	232	238	176	168	176	163	162	130
DK	44	60	68	58	52	44	33	31	33	22
DE	686	711	695	653	591	476	614	527	561	527
EE	50	64	38	41	23	14	26	29	23	26
IE	72	72	81	49	40	44	47	29	31	-
EL	234	267	255	248	202	179	223	170	151	125
ES	680	614	591	502	470	471	380	370	371	336
FR	635	535	561	548	496	485	519	489	465	499
HR	-	-	124	136	103	105	71	72	69	73
IT	786	758	627	646	667	621	589	576	551	578
CY	23	19	17	16	9	13	13	10	8	10
LV	174	153	158	105	82	79	60	62	70	71
LT	-	-	-	-	-	-	-	-	96	109
LU	2	10	7	6	12	1	6	6	5	3
HU	289	296	288	251	186	192	124	156	147	152
MT	6	4	3	1	4	2	-	-	-	-
NL	83	66	86	56	63	62	65	64	51	50
AT	97	110	108	102	101	98	87	81	82	71
PL	1.756	1.802	1.951	1.882	1.467	1.236	1.408	1.157	1.140	1.116
PT	214	156	156	155	148	195	199	159	144	145
RO	978	1.034	1.113	1.067	1.015	868	747	728	726	697
SI	37	36	32	39	24	26	21	19	20	-
SK	174	214	217	204	113	126	-	-	81	-
FI	45	49	48	53	30	35	41	29	34	36
SE	50	55	58	45	44	31	53	50	42	52
UK	699	697	663	591	524	415	466	429	405	464
EU	8.622	8.508	8.559	8.069	6.941	6.290	6.407	5.791	5.671	5.621
Yearly change		-1,3%	0,6%	-5,7%	-14,0%	-9,4%	1,9%	-9,6%	-0,4%	-0,6%
IS	1	4	1	0	2	2	4	2	1	0
NO	32	36	23	31	26	24	16	22	18	18
CH	69	76	79	59	60	75	69	75	69	43

Figura núm. 2-4. Datos de peatones fallecidos en la UE período 2005-2014. Fuente: CARE Database.

Mientras que el número de peatones fallecidos en la Unión Europea en accidentes de tráfico desciende en la década 2005-2014, el porcentaje de las personas fallecidas en el total de accidentes sufre un ligero incremento en el mismo período.



Figura núm. 2-5. Datos de peatones fallecidos y porcentaje con respecto al total de fallecidos en la UE período 2005-2014. Fuente: CARE Database.

Comparando proporcionalmente por grupos de edad el número de peatones fallecidos con respecto al total de fallecidos por accidentes de tráfico en la UE durante el año 2014, se observa claramente como los grupos de 0-14 años (con algo más del 30% de media del total) y los grupos a partir de 70 años (con más del 40 % de media del total), son los que tienen una mayor incidencia en los accidentes por atropello. También llama la atención que una vez que se pasa ese primer período de edad, el incremento de peatones fallecidos es proporcional a la edad.(Ver Figura 2-6).

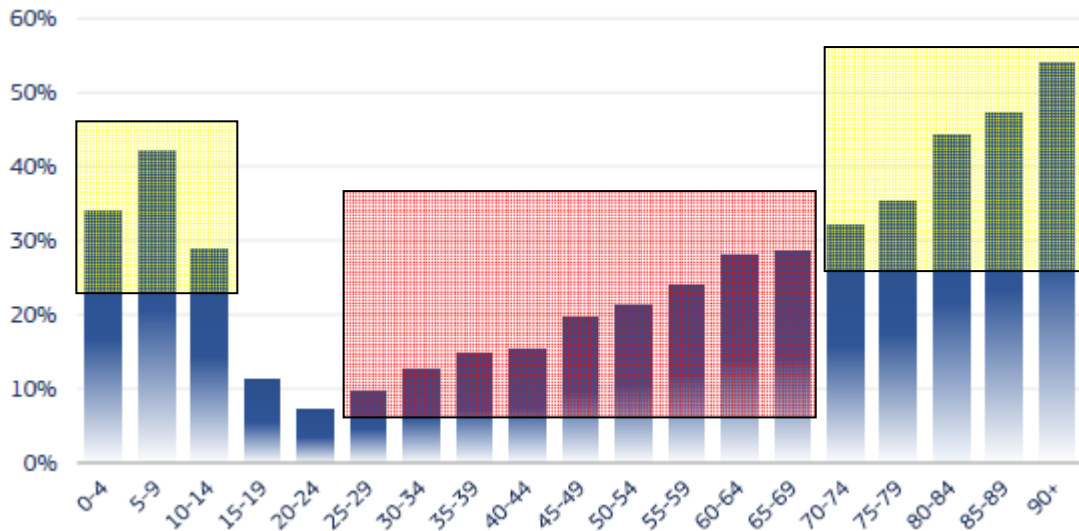


Figura núm. 2-6. Proporción de peatones fallecidos con respecto al total por grupos de edad en la UE año 2014. Fuente: CARE Database.

Diferenciando por sexo, más de un tercio de los peatones fallecidos son mujeres, muy por encima del porcentaje del total de fallecidos por accidente que no llega a un cuarto.

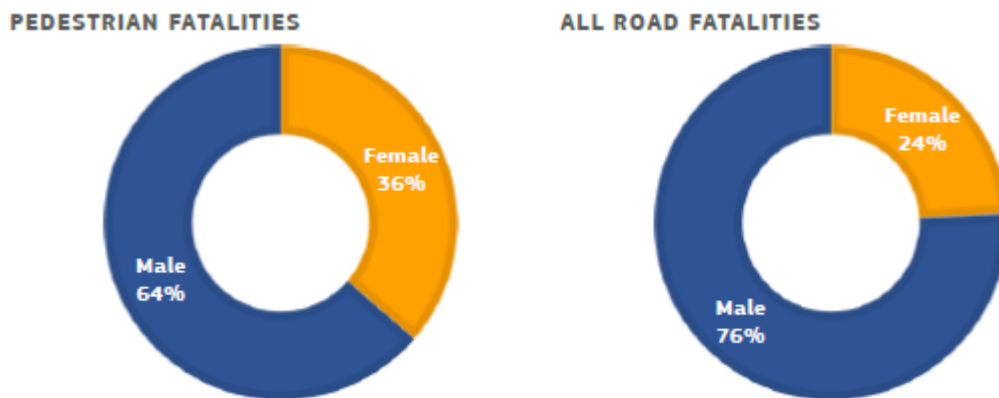


Figura núm. 2-7. Porcentaje de peatones y total de fallecidos por accidente según sexo en la UE año 2014. Fuente: CARE Database.

## 2.3. ESTADOS UNIDOS

Los datos publicados por National Highway Traffic Safety Administration de Estados Unidos [NHTSA, 2016], establecen que en ese país fallecieron 4.884 peatones durante el año 2014 (15% del total de fallecidos), estimándose en 65.000 las personas que resultaron heridas como consecuencia de atropellos. Los datos de personas fallecidas suponen un incremento del 2% con respecto al año 2013.

Year	Total Fatalities	Pedestrian Fatalities	Percentage of Total Fatalities
2005	43,510	4,892	11%
2006	42,708	4,795	11%
2007	41,259	4,699	11%
2008	37,423	4,414	12%
2009	33,883	4,109	12%
2010	32,999	4,302	13%
2011	32,479	4,457	14%
2012	33,782	4,818	14%
2013	32,894	4,779	15%
2014	32,675	4,884	15%

Figura núm. 2-8. Datos de personas y peatones fallecidos en accidentes de tráfico en Estados Unidos período 2005-2014. Fuente: NHTSA Fatality Analysis Reporting System (FARS) 2005-2013 Final File, 2014 Annual Report File (ARF).

En el año 2014 las personas mayores de 65 años supusieron un 20% del total de peatones fallecidos en ese año, estimándose un 11% del total los que resultaron heridos en ese grupo de edad.

Por otro lado, un 19% del total de niños menores de 14 años fallecidos en accidentes eran peatones. Los grupos de edad comprendidos entre 5-9 años y 10-14 años, tienen un porcentaje alto (5%) como heridos en comparativa con el resto de grupos.

Age Group (Years)	Total Killed	Pedestrians Killed	Percentage of Total Killed
<5	340	76	22%
5-9	350	66	19%
10-14	380	65	17%
<i>Children (≤ 14)</i>	<i>1,070</i>	<i>207</i>	<i>19%</i>
15-19	2,425	226	9%
20-24	4,047	405	10%
25-29	3,250	340	10%
30-34	2,567	358	14%
35-39	2,155	297	14%
40-44	2,067	329	16%
45-49	2,196	360	16%
50-54	2,712	481	18%
55-59	2,414	461	19%
60-64	1,976	390	20%
65-69	1,517	253	17%
70-74	1,228	226	18%
75-79	1,107	197	18%
80+	1,857	303	16%
<i>Seniors (65+)</i>	<i>5,709</i>	<i>979</i>	<i>17%</i>
<i>Total*</i>	<i>32,675</i>	<i>4,884</i>	<i>15%</i>
Age Group (Years)	Total Injured	Pedestrians Injured	Percentage of Total Injured <sup>†</sup>
<5	47,000	1,000	3%
5-9	54,000	3,000	5%
10-14	66,000	4,000	5%
<i>Children (≤ 14)</i>	<i>167,000</i>	<i>8,000</i>	<i>5%</i>
15-19	229,000	8,000	3%
20-24	306,000	7,000	2%
25-29	252,000	6,000	2%
30-34	208,000	5,000	2%
35-39	170,000	3,000	2%
40-44	177,000	4,000	2%
45-49	172,000	4,000	2%
50-54	172,000	5,000	3%
55-59	148,000	6,000	4%
60-64	115,000	3,000	3%
65-69	81,000	3,000	3%
70-74	56,000	2,000	3%
75-79	39,000	1,000	3%
80+	44,000	2,000	4%
<i>Seniors (65+)</i>	<i>221,000</i>	<i>7,000</i>	<i>3%</i>
<i>Total</i>	<i>2,338,000</i>	<i>65,000</i>	<i>3%</i>

Figura núm. 2-9. Datos de personas y peatones fallecidos y heridos en accidentes de tráfico en Estados Unidos año 2014. Fuente: NHTSA FARS 2014 ARF and National Automotive Sampling System (NASS) General Estimates System (GES) 2014.

Relacionando los peatones fallecidos con su sexo, más de dos tercios (70%) de los peatones fallecidos en 2014 eran hombres.

Age (Years)	Male			Female			Total		
	Killed	Population (thousands)	Fatality Rate*	Killed	Population (thousands)	Fatality Rate*	Killed	Population (thousands)	Fatality Rate*
<5	43	10,156	0.42	33	9,721	0.34	76	19,877	0.38
5-9	39	10,478	0.37	27	10,041	0.27	66	20,520	0.32
10-14	41	10,551	0.39	24	10,120	0.24	65	20,672	0.31
<i>Children (≤14)</i>	<i>123</i>	<i>31,185</i>	<i>0.39</i>	<i>84</i>	<i>29,883</i>	<i>0.28</i>	<i>207</i>	<i>61,068</i>	<i>0.34</i>
15-19	161	10,784	1.49	65	10,284	0.63	226	21,068	1.07
20-24	289	11,739	2.46	116	11,173	1.04	405	22,912	1.77
25-29	251	11,161	2.25	89	10,827	0.82	340	21,988	1.55
30-34	267	10,809	2.47	91	10,720	0.85	358	21,529	1.66
35-39	207	9,940	2.08	90	9,982	0.90	297	19,922	1.49
40-44	250	10,219	2.45	79	10,372	0.76	329	20,591	1.60
45-49	253	10,347	2.45	107	10,541	1.02	360	20,888	1.72
50-54	352	11,078	3.18	129	11,493	1.12	481	22,571	2.13
55-59	333	10,444	3.19	128	11,067	1.16	461	21,511	2.14
60-64	264	8,878	2.97	126	9,688	1.30	390	18,566	2.10
65-69	159	7,249	2.19	94	8,076	1.16	253	15,325	1.65
70-74	153	5,100	3.00	73	5,973	1.22	226	11,073	2.04
75-79	122	3,512	3.47	75	4,411	1.70	197	7,922	2.49
80+	193	4,491	4.30	109	7,432	1.47	303	11,923	2.54
<i>Seniors (65+)</i>	<i>627</i>	<i>20,352</i>	<i>3.08</i>	<i>351</i>	<i>25,892</i>	<i>1.36</i>	<i>979</i>	<i>46,243</i>	<i>2.12</i>
<i>Total<sup>†</sup></i>	<i>3,411</i>	<i>156,936</i>	<i>2.17</i>	<i>1,466</i>	<i>161,921</i>	<i>0.91</i>	<i>4,884</i>	<i>318,857</i>	<i>1.53</i>

Figura núm. 2-10. Datos de peatones fallecidos por grupos de edad y sexo en Estados Unidos año 2014. Fuente: NHTSA FARS 2014 ARF and National Automotive Sampling System (NASS) General Estimates System (GES) 2014.

## 2.4. CONCLUSIONES

Como conclusiones al análisis estadístico realizado con respecto a los accidentes en los que se encuentran implicados peatones en España, la Unión Europea y Estados Unidos cabe destacar, por ser puntos comunes a los tres estudios, lo siguiente:

- ✓ El número de peatones fallecidos y heridos por atropello supone un porcentaje alto con respecto al total de accidentes.

- ✓ Los grupos de peatones en edades comprendidas entre 0-14 años y más de 65 años, son los grupos con un porcentaje de peatones fallecidos mayor que el resto de grupos.
  
- ✓ Existe un descenso generalizado de víctimas por atropellos en el período 2001-2010.

A la vista de los datos expuestos, es evidente que tras producirse un accidente de tráfico, en los que en muchas ocasiones resultan personas heridas o fallecidas, existen una serie de consecuencias que se producen en diferentes ámbitos y que justificarían el estudio de este tipo de accidente con el fin de prevenir o minimizar sus consecuencias:

- 1.- En el ámbito social se produce un sufrimiento no sólo en las personas que se ven involucradas en un accidente de tráfico, sino también en sus familiares, amigos, conocidos, ..., y que en muchas ocasiones cambian su forma de vida y sus relaciones.
  
- 2.- En el ámbito económico se derivan una serie de costes en diferentes actividades, como la administrativa (informes, juicios, etc.), reparación de vehículos y elementos viarios, medicina (asistencia sanitaria, recuperación,...), productividad (incapacidad temporal o definitiva, fallecimiento), etc.
  
- 3.- En el ámbito jurídico, se podrían derivar consecuencias penales (delitos) para los responsables del accidente; consecuencias civiles por reclamación de daños tanto personales como materiales o consecuencias administrativas por sanciones de las infracciones cometidas a la reglamentación de la normativa de tráfico al responsable del accidente.



## **CAPÍTULO 3**

# **ANÁLISIS DEL ATROPELLO**



## **CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL ATROPELLO**

### **3. INTRODUCCIÓN**

El accidente por atropello a peatones se puede considerar como una tipología especial dentro de los accidentes de tráfico. Su diferenciación se basa en su complejidad y su relativa independencia del tratamiento que tiene del resto de colisiones que conforman los siniestros viales, de ahí el desafío que supone para los investigadores y reestructores de accidentes su investigación, debido en la mayoría de las ocasiones, a la escasez de información disponible [Campón, 2005]. A pesar de esa diferenciación, existen una serie de cuestiones que se deben investigar en todos los accidentes de tráfico, algunas de ellas comunes a todos, y otras particulares dependiendo del tipo de accidente.

Las cuestiones típicas que se tratan de resolver en los atropellos a peatones [Fricke, 1990] vendrían determinadas principalmente por:

- Posiciones relativas entre el vehículo y el peatón en el primer contacto.
- Velocidad del vehículo.
- Cinemática del peatón post-atropello.
- Percepciones del conductor del vehículo y del peatón.
- Evitabilidad del atropello.

Existen distintos métodos para estimar la velocidad del vehículo en el momento en el que se produjo el atropello. No obstante, de las cuestiones a investigar cuando se realiza el estudio técnico de un accidente por atropello enumeradas por Fricke, la trayectoria cinemática que sufre el peatón desde el punto en que es atropellado hasta que alcanza su posición final será, una vez conocida y analizada, la que permita elegir con mayor precisión el método adecuado para estimar dicha velocidad.

### 3.1. FASE PRE-ATROPELLO

Antes de comenzar a analizar los movimientos cinemáticos post-atropello resultantes en los atropellos a peatones, es necesario establecer una serie de hechos o eventos que se producen en mayor o menor medida en este tipo de accidentes y que son imprescindibles estudiar a la hora de investigar en profundidad lo que ocurrió en un atropello. Esta serie de hechos se enumerarán de una forma secuencial a su producción para tener un mejor conocimiento y comprensión de cómo se producen los atropellos.

Comprender la secuencia de eventos [Eubanks y Haight, 1992] es una cuestión muy importante en accidentes en los que se encuentran implicados peatones, puesto que muchas de las evidencias o indicios que se producen pueden desaparecer.

La primera secuencia se iniciaría cuando el peatón se introduce en la calzada o cuando es el vehículo el que invade la parte reservada a los peatones. En cualquiera de los dos casos, se encontrarían en un área en la que se podría entrar en contacto, comenzando así el atropello propiamente dicho.

Esta fase inicial marcaría los períodos de percepción y reacción tanto para el conductor como para el peatón.

En este punto, para un conductor atento sería visible el peatón, y viceversa, para un peatón atento sería visible el vehículo.

A continuación se entraría en una fase de identificación y observación, acaeciendo la respuesta o reacción tras la detección, la identificación y el análisis.

Existen cuatro pasos perfectamente diferenciados en las fases descritas, pasos igualmente válidos tanto para el conductor del vehículo como para el peatón:

- 1) El peligro es visible para el conductor o el peatón.
- 2) El peligro es percibido por ambos.

- 3) El peligro es identificado como tal.
- 4) Se asigna un nivel de amenaza a ese peligro.

Identificado el peligro y habiéndole asignado un nivel de amenaza, el conductor o el peatón deberían tomar una decisión, dando comienzo así a la fase de reacción.

Tras esa decisión, se elige algún tipo de maniobra que intente evitar el atropello. En el caso que esta maniobra no se produzca o no llegue a tener éxito, se llegará a un punto en el que el atropello es inevitable y éste se produce.

A modo de resumen, en el cuadro siguiente se estructuran los períodos de percepción y reacción para un conductor, así como los distintos acontecimientos que se incluyen en cada uno de ellos.

PERCEPCIÓN Y TIEMPO DE REACCIÓN		
PERCEPCIÓN	REACCIÓN	RESULTADO
Detección Identificación Análisis	Decisión Respuesta	Cambio de velocidad o dirección
1. El peligro es visible 2. El peligro es visto por primera vez 3. El peligro es identificado como tal 4. El nivel de amenaza es asignado	5. El conductor decide lo que hacer 6. El conductor hace algo	7. Se puede producir el cambio de velocidad o dirección como maniobras evasivas

Tabla núm. 3-1. Fases en la identificación de un peligro por parte de un conductor. Fuente: [Eubanks y Haight, 1992]

### 3.2. FASE ATROPELLO

Finalizada esa primera cuestión a investigar, tendría lugar a continuación la referida al contacto entre las unidades de tráfico implicadas, es decir, entre el vehículo y el peatón.

Si tenemos en cuenta la localización del punto de contacto entre el peatón y el vehículo, Wood [Wood, 1995] considera que existen básicamente dos tipos de atropellos; por un lado los que se producen con los laterales del vehículo (“sideswipes”) y por otro, los que se producen con el frontal del vehículo (“frontal collisions”).

En el primero de ellos (“sideswipes”), el contacto entre el peatón y el lado del vehículo que impacta causará en el peatón un movimiento rotacional sin llegar a adquirir una velocidad en el sentido de avance del vehículo significativa, quedando detenido cerca del punto de atropello y en un lateral. Durante este movimiento rotacional, el cuerpo del peatón podrá ser lanzado contra alguna parte del vehículo (capó, parabrisas, ...), pudiendo llegar a causar lesiones.

La categoría de atropellos producidos con el frontal del vehículo (“frontal collisions”) podría dividirse a su vez en tres subcategorías dependiendo de la altura a la que es golpeado el peatón con respecto al vehículo, o más concretamente, dependiendo de la localización en altura del centro de gravedad (c.d.g.) del peatón con respecto al frontal del vehículo. La primera de ellas estaría referida a la localización del centro de gravedad del peatón por debajo del frontal del vehículo; la segunda, en la que el centro de gravedad del peatón estaría localizado entre la parte inferior y superior del frontal del vehículo, y por último, aquella en la que el centro de gravedad del peatón estaría localizado por encima de la parte superior del frontal del vehículo con la que es golpeado.

√ Centro de gravedad del peatón localizado por debajo del frontal del vehículo.

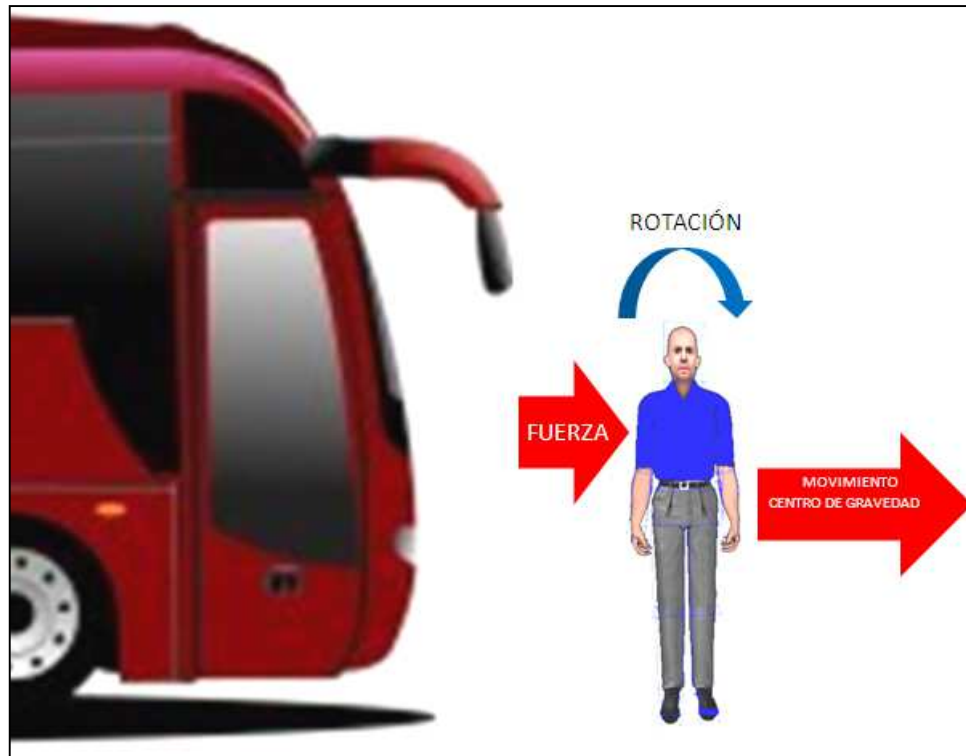


Figura núm. 3-1. Peatón atropellado situando su centro de gravedad (c.d.g) por debajo de la línea de fuerza del vehículo.

En esta subcategoría, la fuerza de impacto proyecta la parte superior del cuerpo a la misma velocidad que el vehículo, no sufriendo las piernas en este primer momento ningún movimiento. Este movimiento da lugar a que los peatones sean rotados hacia abajo en dirección a la superficie de la carretera.

√ Centro de gravedad del peatón localizado entre la parte inferior y superior del frontal del vehículo.



Figura núm. 3-2. Peatón atropellado situando su centro de gravedad (c.d.g) a la misma altura de la línea de fuerza del vehículo.

La fuerza de impacto pasa a la altura del centro de gravedad del peatón, acelerando a la víctima a la velocidad del vehículo que impacta, proyectándolo básicamente en un vuelo horizontal hacia delante.

√ Centro de gravedad del peatón localizado por encima del frontal del vehículo.

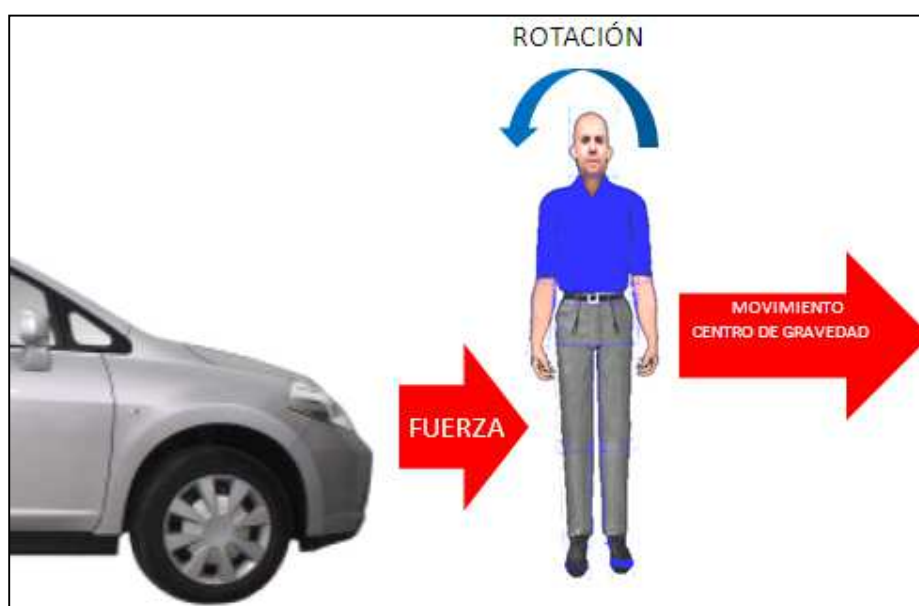


Figura núm. 3-3. Peatón atropellado situando su centro de gravedad (c.d.g) por encima de la línea de fuerza del vehículo.



La fuerza de impacto, al golpear la parte inferior del peatón, hace que las piernas pierdan el contacto con el suelo, sufriendo un movimiento de rotación de la parte superior del cuerpo hacia el vehículo, llegando a golpear a éste.

Eubanks y Haight [Eubanks y Haight, 1992], dividen las fases que componen un atropello en las siguientes:

- 1.- Contacto.
- 2.- Impacto – Aceleración del cuerpo del peatón.
- 3.- Movimiento sobre el capó del vehículo.
- 4.- Movimiento desde el vehículo al suelo.
- 5.- Movimiento sobre el suelo.

De forma similar, Limpert [Limpert, 1999], considera que en el atropello coinciden dos tipos de impacto. Un impacto primario entre el vehículo y el peatón, del que resultan las mayores lesiones; y un impacto secundario, entre el peatón y el suelo, que incluye su cinemática y localización sobre la vía.

Según el mismo autor, en impactos frontales, las fases en las que se ven envueltos los peatones son las siguientes:

- 1) Fase de impacto, en la que tras el primer contacto con algunas de sus partes, el peatón es acelerado aproximadamente a la misma velocidad que el vehículo que le impacta.
- 2) Fase de vuelo, en la que tras separarse el cuerpo del peatón del vehículo, inicia una fase de vuelo hasta que golpea con el suelo.
- 3) Fase de deslizamiento y/o rotación, en la que tras haber golpeado con el suelo, el cuerpo del peatón se deslizará, rodará o realizará una combinación de ambos movimientos hasta que llegue a su posición final, pudiendo haber golpeado con elementos que se haya encontrado a su paso.

De lo expuesto se puede concluir que un peatón tras recibir un primer impacto del vehículo, dependiendo de múltiples factores (altura del c.d.g. respecto al vehículo, velocidad de éste, etc), entraría en contacto con diversas partes del vehículo, produciéndose después una fase de vuelo hasta tomar contacto con el suelo donde podría realizar movimientos de deslizamiento, de rotación o combinación de ambos.

### 3.3. FASE POST-ATROPELLO

El movimiento del peatón tras el atropello [Limpert, 1999], estará condicionado por una serie de factores:

- El propio movimiento del peatón antes del impacto.
- La posición de las piernas.
- El tamaño y peso del peatón.
- El punto de contacto sobre el vehículo (frontal o de lado).
- La velocidad de atropello.
- La geometría del frontal del vehículo.

Todos los factores enumerados, salvo el de la velocidad (excluyéndose aquellos vehículos que tengan instalados algún dispositivo en el que quede reflejado este dato), pueden ser conocidos en el momento en el que se realice la primera toma de datos en la investigación.

En 1981 Ravani [Ravani et al, 1981], tras realizar un estudio sobre accidentes reales, estableció cinco tipos de trayectorias cinemáticas de los peatones tras haber sufrido un atropello. El movimiento ofrecido por los peatones tras el atropello dependía de la configuración relativa del vehículo y el peatón al impacto, así como de la velocidad y la posible deceleración del vehículo. La clasificación presentada se establece para atropellos con el frontal del vehículo y es utilizada habitualmente desde entonces por las personas dedicadas a la reconstrucción de accidentes.

### TRAYECTORIA WRAP

Esta situación incluye la deceleración del vehículo y es el más común de los tipos de trayectorias estudiados. En este tipo de trayectoria la parte superior del torso y/o la cabeza del peatón sufren un arqueamiento hacia el frontal del vehículo, inclinándose y deslizándose sobre el capó. El peatón adquiere la velocidad del vehículo hasta que éste empieza a decelerar, momento en el cual el peatón se separa del vehículo, siendo lanzado hasta que cae sobre el suelo, sobre el que puede llegar a deslizarse hasta su posición final.

Ravani comprobó que este tipo de trayectoria se da tanto cuando el centro de gravedad del peatón se encuentra por encima como por debajo de la primera zona de impacto del vehículo. El atropello típico sería el de un turismo a un peatón adulto, o en otro caso, un peatón niño impactado por un turismo, cuya velocidad haría rotar el cuerpo del peatón para que la parte superior de su torso y cabeza pudieran realizar los movimientos descritos de arqueamiento sobre el capó.

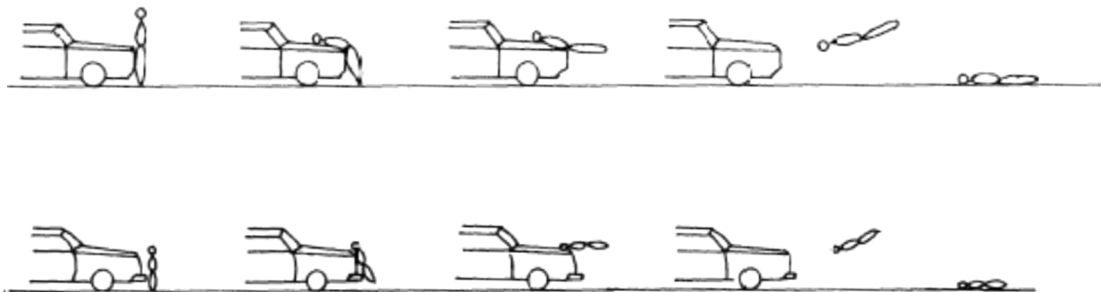


Figura núm. 3-4. Trayectoria WRAP. Fuente: Ravani et al., 1981

La velocidad media de impacto, para atropellos en los cuales los peatones describían este tipo de trayectoria, era de aproximadamente 30 km/h. El contacto entre la cabeza o la cara del peatón con el parabrisas no se observó a velocidades inferiores a 40 km/h.

### TRAYECTORIA FORWARD PROJECTION

Este tipo de trayectoria normalmente se da en peatones pequeños con turismos o peatones adultos con furgonetas o vehículos pick-up donde la fuerza principal de impacto se encuentra a la altura del centro de gravedad.

En este tipo, la parte superior del torso del peatón es acelerado en la dirección de impacto del vehículo, proyectando el cuerpo por delante de éste. Después, el peatón cae a la vía y se desliza hasta alcanzar su posición final.

La velocidad media de impacto, para atropellos en los cuales los peatones describían este tipo de trayectoria, era de aproximadamente 20 km/h.

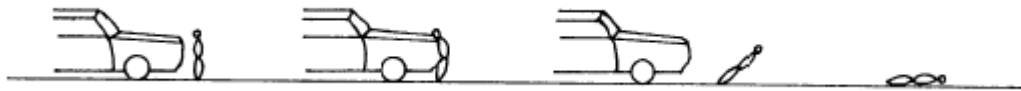


Figura núm. 3-5a. Trayectoria FORWARD PROJECTION PEATÓN NIÑO. Fuente: Ravani et al., 1981

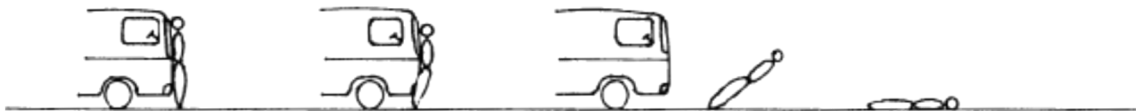


Figura núm. 3-5b. Trayectoria FORWARD PROJECTION PEATÓN ADULTO. Fuente: Ravani et al., 1981

También fue observada esta trayectoria en casos en que la altura del centro de gravedad del peatón estaba por encima del borde del capó, donde la fuerza del impacto era insuficiente para poder desprender las piernas del contacto con el suelo, no teniendo por tanto contacto el cuerpo del peatón con el capó y siendo éste desplazado por delante del vehículo. Esta situación fue observada a velocidades inferiores a 15 km/h.

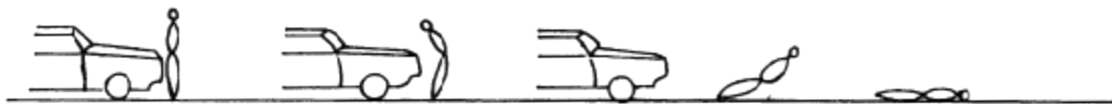


Figura núm. 3-6. Trayectoria FORWARD PROJECTION CDG POR ENCIMA CAPÓ. Fuente: Ravani et al., 1981

En este tipo de trayectoria estarían incluidos atropellos en los que el conductor del vehículo no realiza una maniobra de frenada o frena después del atropello, pudiendo el peatón ser arrollado por el propio vehículo tras el atropello.

### TRAYECTORIA ROOF VAULT

Esta trayectoria incluye atropellos en los que el centro de gravedad de un peatón está situado más alto que el borde del capó de un turismo, provocándole su volteo por el aire. A continuación se deslizará o sobrepasará el capó, contactando o sobrepasando el parabrisas y el techo, pudiendo llegar a golpear el maletero antes de caer sobre el suelo y por detrás del vehículo. Generalmente esta trayectoria se produce en atropellos en los que el conductor del vehículo no ha frenado durante toda la secuencia de contactos.

También se da esta trayectoria en casos en los que el conductor del vehículo acelera después del impacto o casos en los que el vehículo circula a gran velocidad y su conductor no frena hasta después del impacto.



Figura núm. 3-7. Trayectoria ROOF VAULT. Fuente: Ravani et al., 1981

La velocidad media de impacto para atropellos en los cuales los peatones describían este tipo de trayectoria era de aproximadamente 60 km/h, y nunca por debajo de 30 km/h.

### TRAYECTORIA FENDER VAULT

En este tipo de trayectoria están involucrados peatones adultos y turismos, tanto si los conductores de los vehículos hacen uso del sistema de frenado como si no. El peatón es normalmente golpeado cerca de la esquina del frontal realizando un arqueamiento sobre el paragolpes. Dependiendo del ángulo y la configuración de

impacto, la velocidad de avance hace que sea transportado hasta caer finalmente al suelo por un lateral. El peatón alcanzará su posición final por detrás y a un lado del vehículo o junto a éste.

En los casos en los que el conductor del vehículo no hace uso del sistema de frenado se produce una trayectoria similar a la “roof vault”, con la distinción de que el peatón generalmente es golpeado cerca de la esquina del vehículo, deslizándose sobre el capó o el paragolpes. El peatón contactará con el parabrisas o el pilar A<sup>1</sup>, para finalmente salir despedido hacia un lado hasta contactar con el suelo, generalmente, como se ha indicado antes, a un lado y por detrás del vehículo.



Figura núm.3-8. Trayectoria FENDER VAULT. Fuente: Ravani et al., 1981

La velocidad media de impacto en esta trayectoria era aproximadamente de 40 km/h.

### TRAYECTORIA SOMERSAULT

Este tipo de trayectoria es una extensión de la “wrap” con la distinción de que se desarrolla a una velocidad mucho más elevada y que el contacto del peatón con el vehículo es menor, siendo la energía sufrida por el peatón suficiente para hacer que éste realice un volteo en el aire antes de caer al suelo.

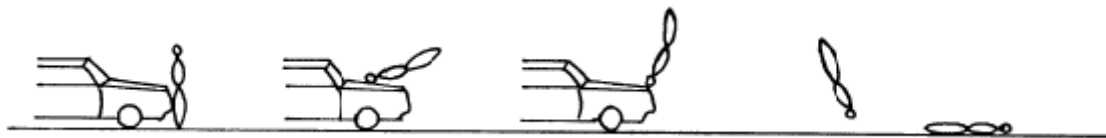


Figura núm. 3-9. Trayectoria SOMERSAULT. Fuente: Ravani et al., 1981

<sup>1</sup> Elemento que une el techo del vehículo al resto de la estructura y que en este caso sustenta al parabrisas delantero junto con otro pilar situado en el otro lado del vehículo.

Este tipo de trayectoria incluye vehículos en deceleración y la velocidad media en la que se observó fue aproximadamente de 60 km/h.

La importancia de determinar de una forma objetiva y fehaciente la trayectoria cinemática que sufre el peatón desde el momento en que es atropellado y su forma de contacto con el vehículo hasta que alcanza su posición final, radica en que nos podrá dar una información básica sobre el tipo de vehículo con el que se ha producido el accidente, la posición y movimiento del peatón en el momento del impacto, si pudo existir alguna maniobra evasiva tendente a evitar el accidente por parte del conductor del vehículo en las fases pre-atropello, atropello o post-atropello, o incluso, la localización aproximada de las lesiones que pudiera tener el peatón; todo ello, y a posteriori, permitirá elegir con mayor precisión el método adecuado para estimar la velocidad del vehículo implicado en el atropello (teniendo en cuenta también los indicios que puedan existir sobre la vía).





## **CAPÍTULO 4**

# **FUNDAMENTOS DE FÍSICA GENERAL. VARIABLES EN ATROPELLOS A PEATONES**



## CAPÍTULO 4. FUNDAMENTOS DE FÍSICA GENERAL. VARIABLES EN ATROPELLOS A PEATONES

### 4.1. FUNDAMENTOS DE FÍSICA GENERAL

El presente capítulo comenzará con la explicación de forma breve y sencilla de una serie de fundamentos de física general relacionados con la mecánica, con el fin de facilitar la comprensión de los cálculos utilizados en los modelos matemáticos que posteriormente se van a exponer.

#### 4.1.1. MAGNITUDES FÍSICAS

Una magnitud física es una propiedad o cualidad medible de un sistema físico y se mide usando un patrón que tenga bien definida esa magnitud, tomando después como unidad la cantidad de esa propiedad que posea el objeto patrón.

El Sistema Internacional define siete unidades básicas o unidades físicas fundamentales (ver Tabla 4-1) para determinar otras tantas magnitudes físicas (longitud, tiempo, masa, intensidad de corriente eléctrica, temperatura, cantidad de sustancia e intensidad luminosa).

El resto de unidades utilizadas para expresar magnitudes físicas se derivarán de estas unidades básicas y se denominan unidades derivadas, que en el caso de los accidentes de tráfico serían la velocidad y la aceleración.

Magnitud	Nombre unidad S.I.	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura	kelvin	K
Cantidad sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

Tabla núm.4-1. Magnitudes y unidades básicas del Sistema Internacional

Magnitud	Nombre unidad S.I.	Símbolo
Velocidad	metro/segundo	m/s
Aceleración	metro/segundo <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>

Tabla núm.4-2. Magnitudes y unidades derivadas de las unidades básicas del Sistema Internacional

Hay que tener en cuenta que en ocasiones se utilizarán las mismas magnitudes expuestas pero expresadas bien en el Sistema Anglosajón de Unidades o en unidades que no corresponden al Sistema Internacional pero cuyo uso está mundialmente aceptado, siendo necesaria su conversión.

Magnitud	Unidad utilizada	Símbolo	Conversión
Velocidad	Kilómetro/hora	km/h	m/s • 3,6 = km/h
Longitud	pulgada	in	in • 0,0254 = m
	pie	ft	ft • 0,3048 = m
Velocidad	Pies/segundo	ft/s	ft/s • 0,3048 = m/s
	Pies/segundo	ft/s	ft/s • 1,0973 = km/h
	Milla/hora	mi/h	mi/h • 1,609344 = km/h

Tabla núm.4-3. Magnitudes y unidades de uso común o del Sistema Anglosajón de Unidades y su forma de conversión

#### 4.1.2. CHOQUES

El Principio de Conservación de la Energía indica que la energía ni se crea ni se destruye, se transforma de unas formas de energía a otras.

La energía cinética sería la que posee un objeto debido a su movimiento, dependiendo de su masa y de la velocidad que lleve.

El Principio de Conservación de la Cantidad de Movimiento establece que en ausencia de fuerzas externas, la suma de la cantidad de movimiento de los cuerpos que intervienen en un choque no varía.

Podríamos definir el choque como la colisión entre dos cuerpos o partículas.

Los choques se pueden dividir en dos categorías básicas en función de que la energía cinética inicial se transforme en energía de deformación (choques inelásticos) o no se produzca esa transformación (choques elásticos).

En los choques elásticos los cuerpos no sufren deformaciones permanentes durante el impacto, conservándose tanto la cantidad de movimiento del sistema como su energía cinética.

En el caso de los choques inelásticos, al sufrir los cuerpos deformaciones, no conservan esa energía cinética inicial, aunque sí la cantidad de movimiento lineal, permaneciendo en el caso más extremo unidos hasta después del choque.

No obstante, en la realidad, los choques tienen un comportamiento intermedio entre los dos citados.

Dentro de este apartado es necesario hablar del coeficiente de restitución que nos aporta la medida del grado de conservación de la energía cinética en un choque entre partículas clásicas.

Su valor se obtendría al relacionar las velocidades producidas después del choque con las velocidades existentes antes de producirse éste, según la expresión:

$$C_R = -\frac{V_{2f} - V_{1f}}{V_{2i} - V_{1i}}$$

Donde:  $C_R$  = Coeficiente de restitución

$V_{1i}$  = Velocidad de aproximación del cuerpo 1.

$V_{2i}$  = Velocidad de aproximación del cuerpo 2.

$V_{1f}$  = Velocidad de salida post-choque del cuerpo 1.

$V_{2f}$  = Velocidad de salida post-choque del cuerpo 2.

El coeficiente de restitución toma valores entre 0 y 1, correspondiendo el valor 1 para los choques elásticos (los cuerpos se alejan a la misma velocidad relativa entre sí a la que se acercaban) y el valor 0 para los inelásticos (los cuerpos permanecen unidos tras el choque), estando comprendido entre dichos valores como valor intermedio, el coeficiente de restitución que se obtiene en los choques reales.

Choque elástico	$C_R = 1$
Choques inelásticos	$C_R = 0$
Choques reales	$0 < C_R < 1$

Como casos particulares de choques elásticos se podrían exponer los siguientes:

√ Los dos cuerpos o partículas que chocan poseen la misma masa. En este caso concreto, los cuerpos intercambiarían las velocidades, citando como caso singular el choque de un cuerpo contra otro que está en reposo, tomando éste último la velocidad que llevaba el primero, el cual se queda detenido en el punto de choque tras producirse éste.

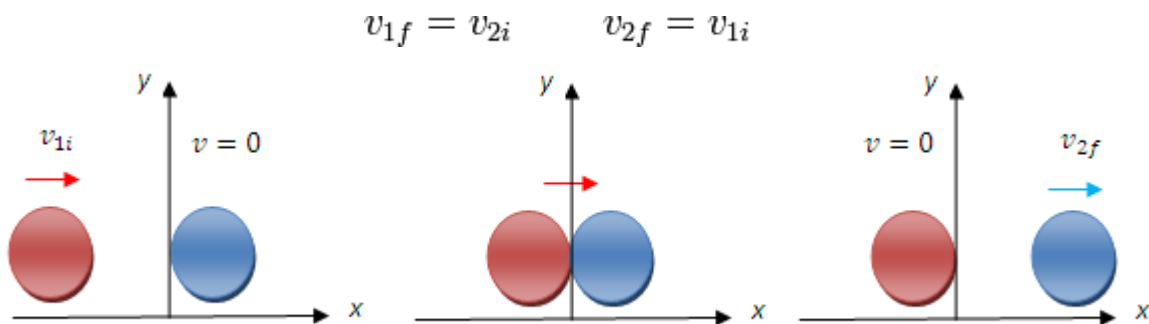


Figura núm.4-1. Representación del choque de dos cuerpos o partículas que poseen la misma masa, hallándose una de ellas en reposo.

√ Un cuerpo choca contra otro de masa menor que se encuentra en reposo. En esta ocasión el cuerpo que choca continúa con una velocidad inferior a la incidente, mientras que el cuerpo que permanecía en reposo sale despedido a mayor velocidad que la que posee el cuerpo que le ha chocado. En el caso límite de que el cuerpo que impacta posea una masa infinitamente mayor que el cuerpo que permanece en reposo, el primero continuará tras el choque con la misma velocidad,

mientras que el cuerpo que se encontraba en reposo saldrá despedido al doble de la velocidad incidente.

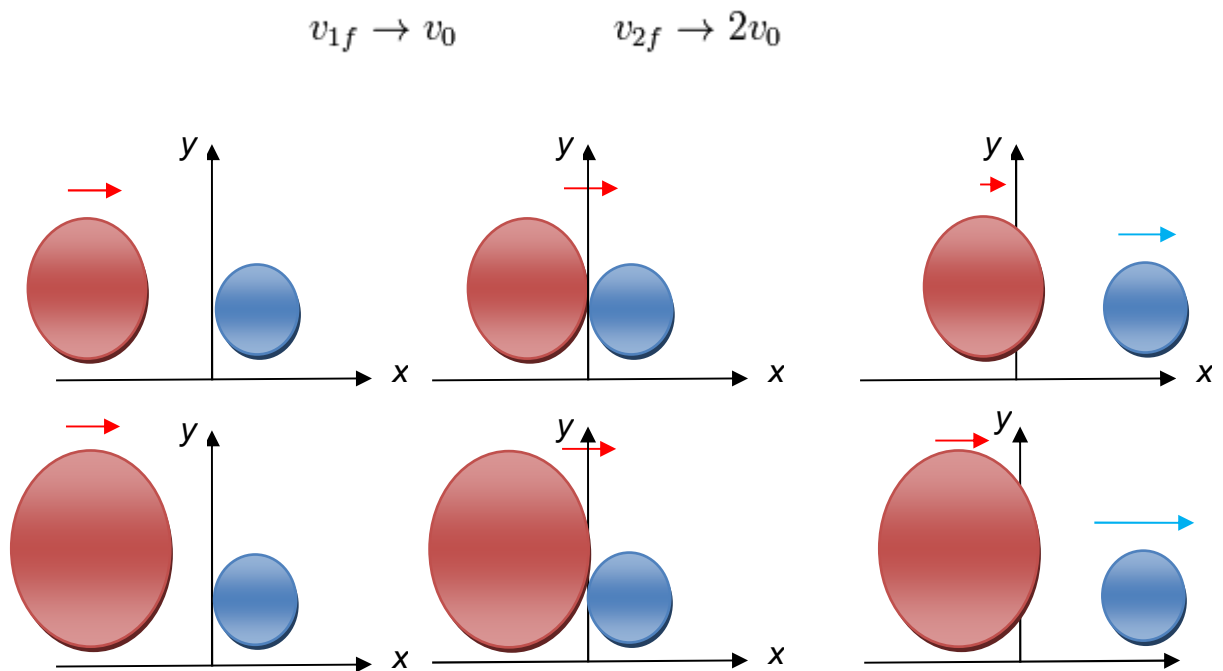


Figura núm.4-2. Representación del choque de dos cuerpos o partículas con una diferencia clara de masas, hallándose una de ellas en reposo.

√ En caso de choque entre partículas cuyos centros de masas no tienen la misma dirección (independientemente de si una de ellas se encuentra en reposo o en movimiento), se producirá el desplazamiento de ambas con cierto ángulo tras el mismo.

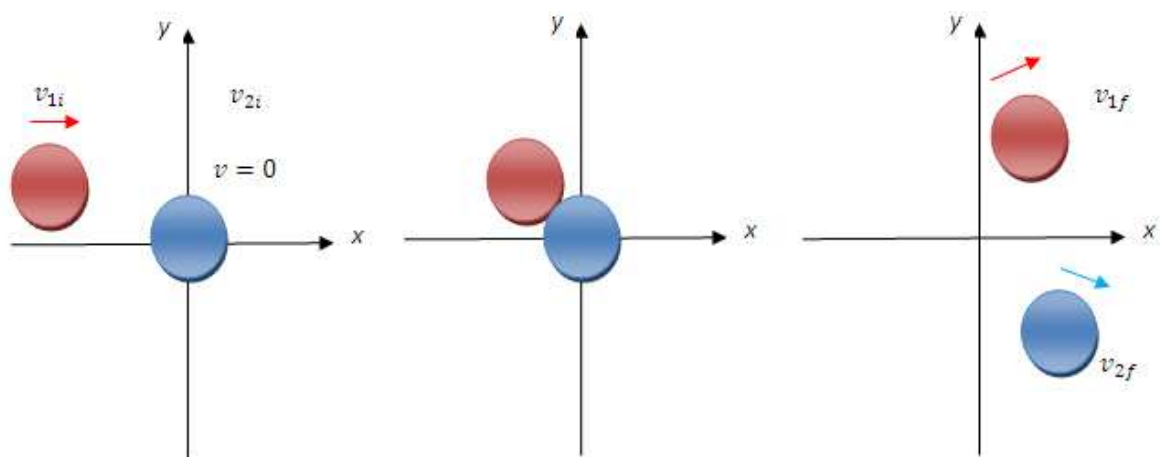


Figura núm.4-3. Representación del choque de dos cuerpos o partículas con la misma masa y distinta dirección.

Por último, dentro de este apartado y relacionado con el atropello a peatones, necesariamente hay que hacer mención al concepto de “Eficiencia en la proyección” que utilizará alguno de los autores que serán estudiados a posteriori. Su definición se establecería como la relación porcentual existente entre la velocidad que llevaba el vehículo en el momento del atropello y la velocidad que adquiere el peatón tras éste. Este porcentaje será variable en función por ejemplo de la altura del centro de gravedad del peatón atropellado, altura del frontal del vehículo, etc.

#### **4.1.3. CINEMÁTICA. MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE DECELERADO**

La cinemática es la rama de la Física encargada de estudiar las leyes del movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las fuerzas que los originan limitándose, fundamentalmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo. La aceleración es el cambio de velocidad por unidad de tiempo. La velocidad y la aceleración son las dos principales magnitudes que describen cómo cambia la posición en función del tiempo.

El movimiento se podría definir como el cambio de posición de un cuerpo en el tiempo con respecto a un sistema de referencia. En el caso que dicho movimiento sea a la misma velocidad y en línea recta, se definiría como movimiento rectilíneo uniforme. Por último, si la velocidad no fuese constante a lo largo de esa línea, como ocurría en el movimiento anterior, estaríamos ante movimientos en fase de aceleración o de deceleración. Si esa aceleración fuese constante estaríamos ante los denominados movimientos rectilíneos uniformemente acelerados.

Por lo tanto, un movimiento rectilíneo uniformemente decelerado sería aquél en el que la velocidad del móvil va descendiendo de forma uniforme a lo largo de una línea recta.

La formulación básica para este tipo de movimientos es la siguiente:



Deducción de la velocidad en función del tiempo

Se parte de la definición de aceleración

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

y se integra esta ecuación diferencial lineal de primer orden

$$\int_{v_0}^v d v = \int_{t_0}^t a d t$$

en el caso de que la aceleración sea constante, se resuelve la integral

$$v(t) = a(t - t_0) + v_0$$

donde  $v_0$  es la velocidad del móvil en el instante inicial  $t_0$

En el caso de que el instante inicial sea  $t_0 = 0$ , será

$$v(t) = at + v_0 \quad (1)$$

Deducción de la posición en función del tiempo

A partir de la definición de velocidad

$$v(t) = \frac{d x(t)}{d t}$$

integrando

$$\int_{x_0}^x d x = \int_{t_0}^t v d t$$

en la que se sustituye el valor obtenido anteriormente para  $v = v(t)$

$$\int_{x_0}^x d x = \int_{t_0}^t [a(t - t_0) + v_0] d t$$

resolviendo la integral, y teniendo en cuenta que  $a$  y  $v_0$  son constantes:

$$x = \frac{1}{2} a (t - t_0)^2 + v_0 (t - t_0) + x_0$$

donde  $x_0$  es la posición del móvil en el instante  $t_0$

En el caso de que en el tiempo inicial sea  $t_0 = 0$  la ecuación será:

$$x = \frac{1}{2} a t^2 + v_0 t + x_0 \quad (2)$$

### Ecuación no temporal del movimiento

Se trata de relacionar la posición, la velocidad y la aceleración, sin que aparezca el tiempo.

Se parte de la definición de aceleración, multiplicando y dividiendo por  $dx$  se puede eliminar el tiempo

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dt} \frac{dx}{dx} = \frac{dx}{dt} \frac{dv}{dx} = v \frac{dv}{dx}$$

se separan las variables y se prepara la integración teniendo en cuenta que

$$a = cte$$

$$\int_{v_0}^v v dv = \int_{x_0}^x a dx = a \int_{x_0}^x dx$$

y se integra

$$\frac{1}{2} v^2 \Big|_{v_0}^v = a x \Big|_{x_0}^x$$

resultando

$$\frac{1}{2} (v^2 - v_0^2) = a(x - x_0)$$

y ordenando

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (3)$$

Íntimamente ligada a la aceleración, nos encontraríamos el coeficiente de rozamiento o de fricción, que sería el valor de la fuerza que se opone al movimiento entre dos cuerpos o superficies en contacto y cuyo valor no es constante, sino que va a depender de una serie de factores como el estado de las superficies, la temperatura, etc. El valor del coeficiente de rozamiento o fricción se representa con la letra griega  $\mu$ .

Como valores típicos de  $\mu$ , relacionados con los accidentes de tráfico, se podrían considerar, por ejemplo, el deslizamiento de metal con metal (0,6), deslizamiento del lateral de una motocicleta contra el asfalto (0,55 – 0,7), deslizamiento de un neumático bloqueado sobre el asfalto en superficie seca (0,65 – 1,00), deslizamiento de un peatón sobre la calzada (0,7), etc. [Warner et al, 1983]

Hay que hacer constar que dicho coeficiente de rozamiento o fricción debe corregirse en función del ángulo (pendiente) de la superficie de deslizamiento del peatón según el sentido llevado por el vehículo. Para ello, habrá que sumar o restar (pendiente positiva o negativa) de dicho coeficiente la pendiente expresada en tantos por uno.

$$\mu_{\text{corregido}} = \mu \pm \text{pendiente}$$

Relacionado igualmente, en este movimiento, con la aceleración y el coeficiente de rozamiento, nos encontraríamos la gravedad ( $g$ ), definida como el peso por unidad de masa de un objeto que se encuentre sobre la superficie de la Tierra y que toma como valor estándar a nivel del mar 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Si sustituimos la aceleración en función del  $\mu$ , en la ecuación número (3), considerando  $v_0 = 0$

$$v = \sqrt{2\mu g(x - x_0)}$$

Este tipo de movimiento se representa gráficamente como se muestra a continuación, según los diferentes factores que intervienen en el mismo.

### Espacio en función del tiempo

La gráfica que lo representa es una parábola convexa descendente, en la que la función va aumentando con el tiempo.

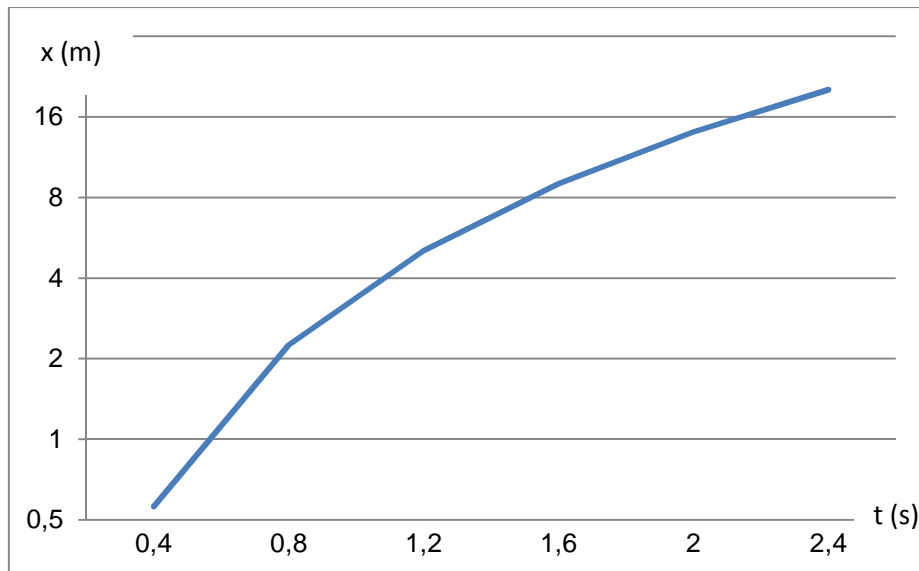


Figura núm.4-4. Gráfica en la que se muestra la distancia en función del tiempo para un movimiento uniformemente decelerado.

### Velocidad en función del tiempo

La gráfica que lo representa es una línea descendente y rectilínea, en la que la velocidad va disminuyendo progresivamente a medida que pasa el tiempo.

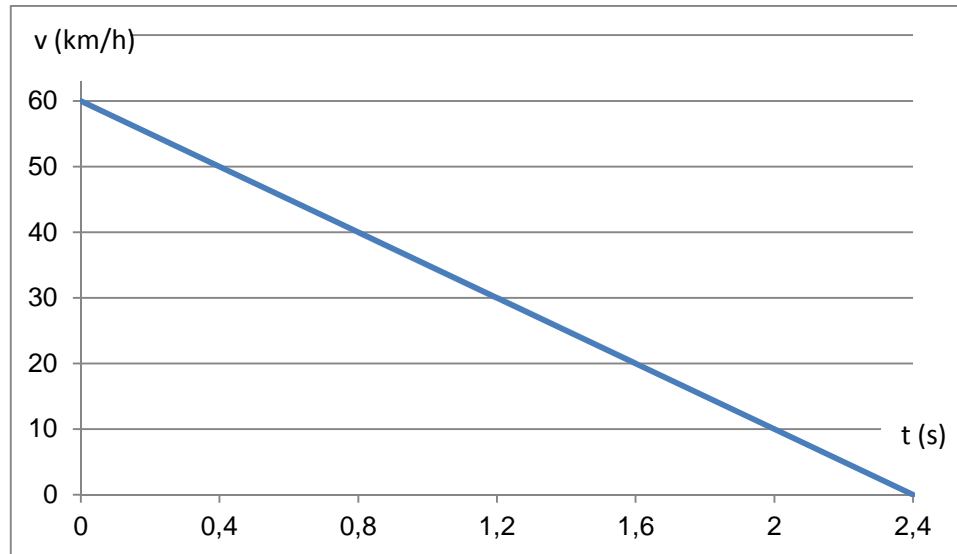


Figura núm.4-5. Gráfica en la que se muestra la velocidad en función del tiempo para un movimiento uniformemente decelerado.

### Deceleración en función del tiempo

La gráfica que lo representa es una línea paralela al eje del tiempo y por debajo de éste, con motivo de ser en este tipo de movimientos la deceleración constante.

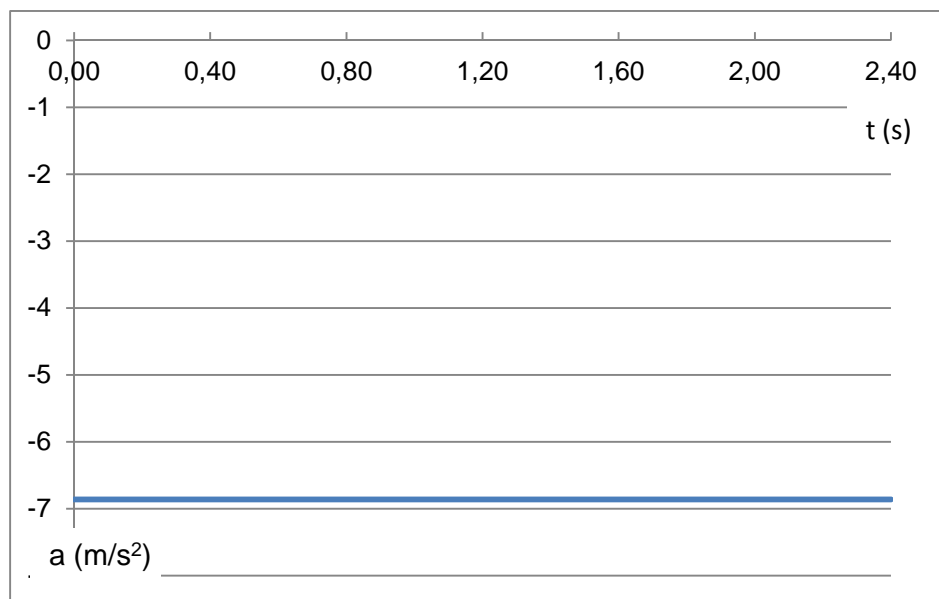


Figura núm.4-6. Gráfica en la que se muestra la aceleración en función del tiempo para un movimiento uniformemente decelerado.

#### 4.1.4. MOVIMIENTO PARABÓLICO

Se denomina movimiento parabólico al realizado por un objeto cuya trayectoria describe una parábola. Se corresponde con la trayectoria ideal de un proyectil que se mueve en un medio que no ofrece resistencia al avance y que está sujeto a un campo gravitatorio uniforme.

El movimiento parabólico puede ser analizado como la composición de dos movimientos rectilíneos: un movimiento rectilíneo uniforme (normal al campo gravitatorio) y un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (paralelo al campo gravitatorio).

Las ecuaciones del movimiento, resultado de la composición de un movimiento uniforme a lo largo del eje horizontal (X), y de un movimiento uniformemente acelerado a lo largo del eje vertical (Y), teniendo en cuenta que  $\alpha$  es el ángulo de salida del móvil, son las siguientes:

Magnitud	Componente "X"	Componente "Y"
Aceleración	$a_x = 0$	$a_y = -g$
Velocidad	$v_x = v_0 \cos\alpha_0$	$v_y = v_0 \sin\alpha_0 - gt$
Posición	$x = v_0 \cos\alpha_0 t$	$y = v_0 \sin\alpha_0 t - \frac{1}{2}gt^2$

Considerando el caso de un cuerpo lanzado en una superficie horizontal, si la superficie se encuentra en  $y = 0$ , éste llegará al suelo cuando  $y$  vuelva a ser 0.

Para hallar el tiempo de vuelo que el cuerpo permanece en movimiento

$$0 = v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2 \quad ; \quad 0 = v_{0y} - \frac{1}{2} g t$$

Despejamos  $t$ :

$$t = \frac{2 v_{0y}}{g}$$

Sustituimos el valor de  $v_{0y}$  en la expresión anterior:

$$t = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}$$

A la hora de analizar un accidente en el que el peatón ha sido proyectado, estaremos interesados en calcular la velocidad de salida de éste. En este caso, sustituyendo el tiempo en la expresión del espacio:

$$x = v_x t \quad ; \quad x = v_0 \cos \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad ; \quad x = v_0^2 \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

Se finaliza obteniendo la velocidad en función del espacio recorrido y el ángulo de salida del móvil:

$$v_0 = \sqrt{\frac{gx}{\sin \alpha \cos \alpha}}$$

Si  $\alpha = 45^\circ$ , tendremos:

$$v_0 = \sqrt{2gx}$$

Donde:  $v_0$  = Velocidad inicial (m/s).

$v_x$  = Velocidad en el eje x (m/s).

$v_y$  = Velocidad en el eje y (m/s).

$a_x$  = Aceleración en el eje x (m/s<sup>2</sup>).

$a_y$  = Aceleración en el eje y (m/s<sup>2</sup>).

$t$  = Tiempo (s).

$X$  = Espacio o distancia en el eje x (m).

$Y$  = Espacio o distancia en el eje y (m).

$\alpha$  = Ángulo de proyección.

$g$  = Aceleración de la gravedad,  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Este tipo de movimiento se representa gráficamente como se muestra a continuación, según los diferentes factores que intervienen en el mismo.

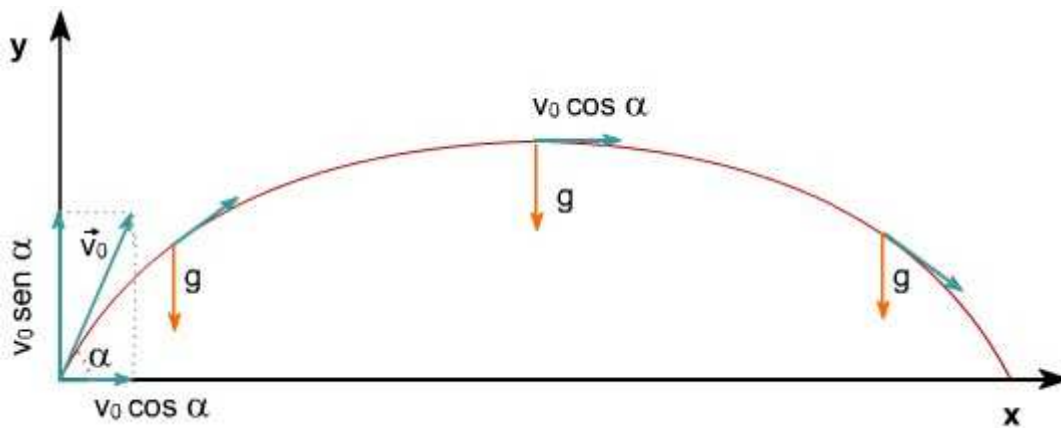


Figura 1Imagen 1número.4-7. Gráfica en la que se muestra el movimiento parabólico en función de las variables que intervienen.

## 4.2. ERRORES. ERROR ABSOLUTO. ERROR RELATIVO. ERROR PORCENTUAL

La Real Academia de la Lengua define el error como la diferencia entre el valor medido o calculado y el real.

Existen varios tipos de errores; aquí citaremos únicamente los que resultarán de interés para su posterior utilización.



### 4.2.1. ERROR ABSOLUTO

El error absoluto se define como la diferencia que existe entre el valor real de la magnitud y el que se ha obtenido en la medición. El error absoluto se expresa en las mismas unidades que la magnitud.

$$\mathcal{E}_a = |\bar{X} - X_i|$$

Donde:  $\mathcal{E}_a$  = Error absoluto.

$\bar{X}$  = Valor real.

$X_i$  = Valor medido o calculado.

### 4.2.2. ERROR RELATIVO

El error relativo se considera al cociente entre el error absoluto y el valor real.

$$\mathcal{E}_r = \frac{\mathcal{E}_a}{\bar{X}}$$

Donde:  $\mathcal{E}_r$  = Error relativo.

$\mathcal{E}_a$  = Error absoluto.

$\bar{X}$  = Valor real.

### 4.2.3. ERROR PORCENTUAL

Se denomina error porcentual al error relativo multiplicado por 100, obteniéndose de esta manera el tanto por ciento de error.

$$\mathcal{E}_r = \frac{\mathcal{E}_a}{\bar{X}} \times 100 \%$$

Donde:  $\mathcal{E}_r$  = Error relativo.

$\mathcal{E}_a$  = Error absoluto.

$\bar{X}$  = Valor real.

### 4.3. VARIABLES EN ATROPELLOS A PEATONES

Al realizar el estudio técnico de un atropello a un peatón, es necesario conocer el desarrollo biomecánico que sufre el cuerpo del peatón desde el punto en que es atropellado hasta que alcanza su posición final.

Como es obvio, no existe un atropello exactamente igual a otro. En todos los atropellos existen una serie de variables que determinarán, en muchas ocasiones, esa biomecánica que se ha mencionado anteriormente y que se deben tener en cuenta a la hora de la investigación del accidente. Analizamos a continuación cada una de esas variables.

#### 4.3.1. VELOCIDAD

Dentro de esas variables, la velocidad en el momento del atropello se presenta como una de las más importantes. A mayor velocidad de impacto, mayor aceleración del peatón y mayor distancia de proyección de éste, siendo la aceleración sufrida por el peatón proporcional a la velocidad de impacto recibida [Severy y Brink, 1966].

La severidad de las lesiones que sufren los peatones depende fundamentalmente de la velocidad a la que son atropellados [Niederer y Schlumpt, 1984], produciéndose porcentajes más altos en la severidad de las lesiones cuanto más alta sea la velocidad de impacto [Greetham y Guenther, 1983], considerándose esa velocidad más peligrosa que la sufrida por el peatón contra el suelo a la hora de mostrar las lesiones sufridas [Niederer y Schlumpt, 1984] [Greetham y Guenther, 1983] [Stürtz, 1977].

Hamacher [Hamacher et al. 2012] pone de manifiesto que, en términos generales, la velocidad es el parámetro que más influencia tiene en la fase de vuelo del peatón, independientemente del grupo de edad que sufra el atropello.

### 4.3.2. GEOMETRÍA

Por geometría se debe entender la forma de la parte del vehículo que entra en contacto con el peatón. Esa geometría tendrá diferente forma y dimensiones como por ejemplo la altura con respecto a la superficie de contacto o la longitud desde su borde con respecto a la luna parabrisas, así como diferente inclinación.

La altura del frontal del vehículo, su contorno y su resistencia a la deformación durante el impacto tienen su influencia en los movimientos del peatón y su desplazamiento por el suelo [Severy y Brink, 1966].

Otras circunstancias a tener en cuenta con respecto a la geometría del vehículo serán los puntos de contacto del peatón, una vez atropellado, con la propia estructura externa del mismo.

Niederer y Schlumpt [Niederer y Schlumpt, 1984] concluyeron que la geometría del frontal del vehículo y su deformabilidad son dos de los factores principales que determinan las características de los impactos sobre peatones, siendo por tanto las estructuras rígidas mucho más peligrosas [Greetham y Guenther, 1983].

Como vemos, el riesgo y severidad de las lesiones está en estrecha relación con la geometría del vehículo que golpea. Para Lyon y Simms [Lyon y Simms, 2012] los principales parámetros de influencia del vehículo en el riesgo de lesiones son la forma de éste y los coeficientes de fricción entre el peatón y el vehículo, éstos últimos determinando la manera en que la energía cinética es disipada en cada uno de los contactos.

Igualmente, el hecho de que las estructuras del paragolpes se encuentren a menor altura hace que el peatón se deslice por el capó y que sea transportado, minimizando de esta manera la energía disipada en el impacto y por tanto la severidad de las lesiones [Stammen et al, 2002].

### 4.3.3. UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE FRENADO

No cabe duda que cuando un conductor, ante la posibilidad de atropellar a un peatón, realiza una maniobra evasiva consistente en el accionamiento de manera brusca del sistema de frenado, la biomecánica que sufre el peatón se ve alterada con respecto a la que sufriría en caso de que no se hubiese producido dicha acción. Para Hamacher [Hamacher et al. 2012] la reducción de velocidad supone un beneficio para la cinemática de los peatones, decreciendo en altitud, rotación y distancia de proyección, reduciéndose igualmente la posibilidad de que puedan ser arrollados los peatones por el mismo vehículo [Severy y Brink, 1966].

### 4.3.4. POSICIÓN Y MOVIMIENTO DEL PEATÓN

Otra de las variables a tener en cuenta sería la posición y el movimiento del peatón con respecto al vehículo en el momento del atropello, es decir, su situación estática o no, con más o menos velocidad y la orientación de su cuerpo con respecto a la dirección del impacto. De esta forma las condiciones cinemáticas antes del impacto van a influir en las condiciones de impacto del cuerpo del peatón sobre el suelo y también en la fase y distancia de deslizamiento. Además, el nivel de deceleración en esta última fase antes de alcanzar su posición final va a depender extraordinariamente de la posición angular con respecto al vehículo que éste poseía en el momento del impacto [Hamacher et al. 2012].

La posición inicial citada y, particularmente su perpendicularidad, tienen su influencia en la rotación sobre el capó [Pritz, 1978]. Otros autores como Hamacher [Hamacher et al. 2012] y Stammen [Stammen et al, 2002] fueron más allá y determinaron que la posición de las piernas en el momento del impacto influían en la rotación que podía sufrir el peatón y la localización de los puntos de contacto de su cuerpo con el vehículo, haciendo difícil predecir el riesgo de impactos secundarios.

Relacionando la posición inicial con las lesiones, Cesari [Cesari et al., 2007] indicó que las configuraciones iniciales de los peatones tienen diferentes consecuencias en las aceleraciones de los miembros inferiores, las velocidades y el ángulo de impacto de las cabezas.

#### 4.3.5. DESLIZAMIENTO

El deslizamiento citado anteriormente, como fase previa a la posición final, va a depender también del valor del coeficiente de fricción entre el peatón y la superficie de contacto en esta última fase de movimiento. Ese valor de fricción dependerá fundamentalmente de la ropa que utilice el peatón atropellado, de la clase y estado de la superficie por la que se deslice y de la pendiente de ésta.

Searle y Searle [Searle y Searle, 1983] establecieron de manera genérica para peatones con ropa normal valores de coeficientes de fricción  $\mu$  de 0,66 para asfalto y 0,79 para hierba, independientemente que fuera superficie seca o mojada, aunque Fricke [Fricke, 1990], para esas mismas superficies sin distinción de estado, estableció rangos de 0,45-0,60 y 0,45-0,70 respectivamente, añadiendo además valores de coeficiente en cemento de 0,45-0,65.

A la vista de las divergencias anteriores, Luque y Álvarez [Luque y Álvarez, 2007] concluyen que en un movimiento combinado los valores del coeficiente de fricción oscilarán entre 0,4 y 0,8, siendo el valor de 0,6 un promedio aceptable en trayectorias con movimientos combinados de proyección frontal y volteo.

Como conclusión a este capítulo, a tenor de los estudios realizados por diferentes autores, se pone de manifiesto que existen variables que tienen una influencia determinante tanto en la biomecánica del peatón como en el resultado lesivo de éstos.

Resaltar que el objetivo de esta tesis es la identificación de procedimientos para el cálculo más preciso posible de la velocidad de impacto del vehículo a partir de las evidencias existentes, siendo de vital importancia ese conocimiento para determinar responsabilidades en el atropello.

## **CAPÍTULO 5**

# **MODELOS PARA EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE ATROPELLO A PEATONES**





## **CAPÍTULO 5. MODELOS PARA EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE ATROPELLO A PEATONES**

### **5. INTRODUCCIÓN**

En la investigación de atropellos a peatones, uno de los principales objetivos, como ya se ha indicado anteriormente, es determinar la velocidad del vehículo en el momento del impacto.

La estimación de la velocidad de impacto en atropello a peatones, y todo lo que rodea al mismo, es un tema que ha recibido un gran interés dentro de la comunidad científica. En la década de los años setenta diversos ingenieros comenzaron a realizar investigaciones con el fin de poder determinar esa velocidad, publicándose artículos en los que se ofrecían soluciones con expresiones que se basaban bien en modelos matemáticos o teóricos, bien en modelos empíricos o estadísticos.

Esas investigaciones han llegado hasta nuestros días y lo que se pretende en este capítulo es mostrar y analizar las expresiones que a lo largo de estos años han intentado estimar ese valor de velocidad mediante modelos de cálculo físico-matemáticos, manteniendo los términos o unidades originales que componen las mismas. Realizado este análisis se obtendrán datos agrupados en tablas con valores relativos a la distancia de proyección que se produciría cuando los vehículos circularan en el momento del atropello a distintas velocidades de impacto; además, en caso que el método o modelo lo permita, se analizarán el efecto que las diferentes variables (ya expuestas en el capítulo anterior) tienen sobre el resultado final.

### **5.1. MODELOS MATEMÁTICOS O TEÓRICOS**

Los modelos matemáticos o teóricos están basados en la expresión tradicional de la teoría del movimiento parabólico o alguna variación de la misma, considerando al peatón como un proyectil. Estos modelos tienen una difícil

aplicación en accidentes reales, principalmente porque los datos que se necesitan para resolver dichas ecuaciones en muchas ocasiones sólo se conocen parcialmente [Toor y Araszewski, 2003].

Esa consideración del peatón, supone que la masa del mismo es despreciable con respecto a la masa del vehículo que le atropella, de ahí que la mayoría de los modelos, salvo alguna excepción, no tengan en cuenta la masa del peatón atropellado.

A continuación se van a exponer una serie de modelos considerados más representativos, de fácil utilización y por orden cronológico de aparición.

### 5.1.1. MODELO DE STCHERBATCHEFF

En su estudio Stcherbatcheff [Stcherbatcheff et al., 1975], simuló una serie de atropellos utilizando dummies de tamaño adulto y niño. La posición de los peatones era ofreciendo un lado al vehículo, siendo atropellados a velocidades comprendidas entre 10 y 40 km/h, una vez que se había producido la deceleración por frenada del vehículo entre 4 y 7 m/s<sup>2</sup>. Los vehículos utilizados eran de ocho modelos distintos variando su geometría.

Como conclusión a los experimentos, Stchebatcheff determinó que la distancia de proyección entre el punto del atropello del dummy y la posición final que éste alcanzaba dependía fundamentalmente de la velocidad de atropello y la intensidad en la frenada del vehículo.

La distancia de proyección podía ser expresada de la siguiente manera, introduciendo el autor una constante basada en los datos de los test:

$$d = \frac{V^2}{2 |\gamma|} + \lambda |\gamma| V$$

donde:  $d$  = distancia de proyección (m).

$V$  = velocidad de atropello (m/s).

$\gamma$  = deceleración del vehículo (m/s<sup>2</sup>).

$\lambda$  = 0,03 (constante)

En el siguiente gráfico se muestra el resultado de los test en los que se observa que la dispersión está relacionada con las variaciones en la intensidad de frenado.

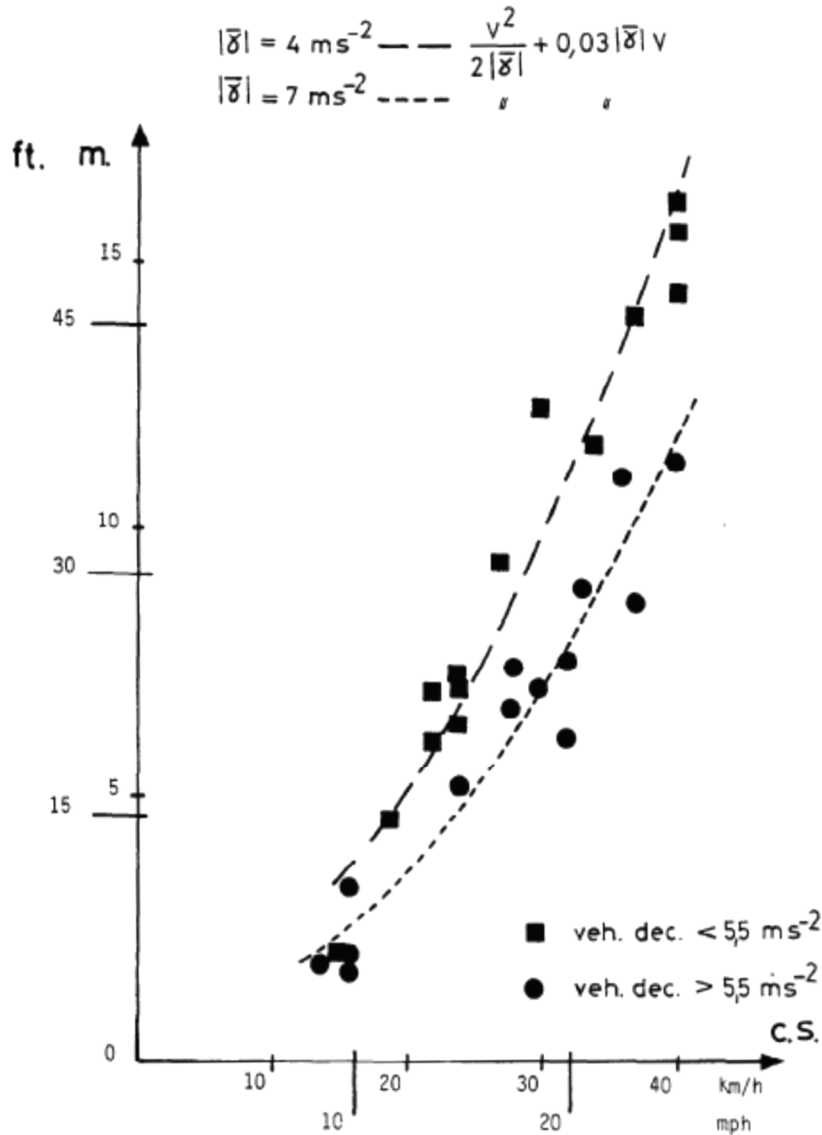


Figura núm. 5-1. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección de los dummies durante el experimento en función de las velocidades de atropello para distintos valores de deceleración de los vehículos. Fuente Stcherbatcheff et al., 1975.

Este modelo de cálculo es aplicable si se puede establecer con cierto grado de precisión la deceleración del vehículo a partir de las marcas del neumático en la calzada. Es decir, que a menos que queden marcas sobre la calzada en el área del atropello, el grado de deceleración no puede ser establecido objetivamente. [Toor y Araszewski, 2003].

A la hora de establecer la distancia de proyección como resultado final de la expresión, dado lo limitado de este método, en el mismo se van a utilizar las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Maniobra de frenada antes del atropello, con deceleraciones equivalentes a 4, 5.5 y 7 m/s<sup>2</sup>.

Velocidad / deceleración	4 m/s <sup>2</sup>	5,5 m/s <sup>2</sup>	7 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,58 m	3,74 m	3,38 m
35 km/h	13,14 m	10,26 m	8,84 m
50 km/h	26,20 m	20,12 m	16,89 m
65 km/h	43,67 m	33,13 m	27,45 m
80 km/h	65,58 m	49,38 m	40,55 m

Tabla núm. 5-1. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Stcherbatcheff

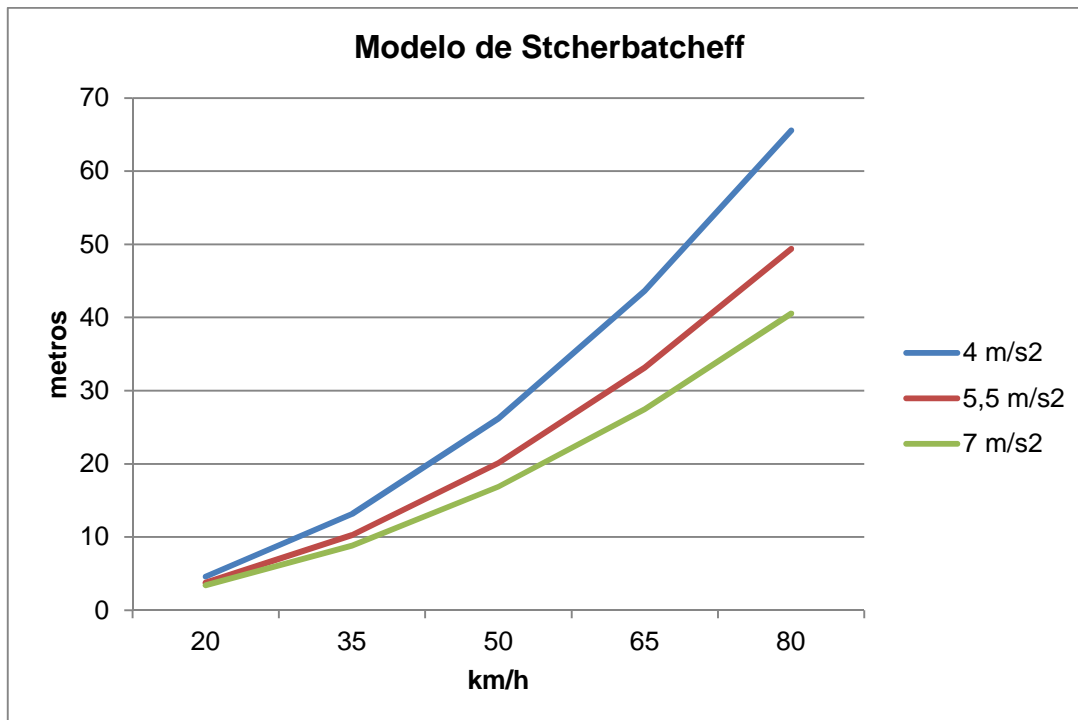


Figura núm. 5-2. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de deceleración de los vehículos utilizando el modelo de Stcherbatcheff.

Los resultados obtenidos muestran que la distancia de proyección aumenta con la velocidad de atropello, siendo la distancia de proyección menor cuanto mayor sea la deceleración que se aplica al vehículo.

### 5.1.2. MODELO DE COLLINS

Collins [Collins, 1979] presentó su modelo para atropellos en los que los peatones son proyectados por delante del vehículo, teniendo en cuenta el coeficiente de fricción entre el peatón y la superficie, la altura del centro de gravedad del peatón (c.d.g.) y la distancia a la que éste es proyectado.

Collins asumió que la trayectoria del peatón tras el impacto era horizontal en la misma dirección que la fuerza de impacto del vehículo, donde la aceleración vertical era solamente debida a la fuerza de la gravedad. Una vez que el peatón contacta con el suelo, la velocidad vertical queda sin efecto transformándose la velocidad horizontal en trabajo de rozamiento [Toor y Araszewski, 2003].

Collins presentó una ecuación que en su inicio servía para determinar la distancia de proyección del peatón conociendo la velocidad de impacto y la altura del centro de gravedad del peatón. Eubanks y Haight [Eubanks y Haight, 1992] explican que normalmente en el análisis de un atropello se dispone de la distancia de proyección del peatón y lo que se trata de averiguar es la velocidad del vehículo que proyectó al peatón a esa distancia, debiendo probarse en este modelo reiteradamente distintas velocidades para poder resolver la fórmula siguiente:

$$d_{tm} = \frac{V_m \sqrt{h_m}}{7,97} + \frac{V_m^2}{254 \mu_p}$$

Donde:  $d_{tm}$  = distancia de proyección del peatón (m).

$V_m$  = velocidad del vehículo (km/h).

$\mu_p$  = coeficiente de fricción entre peatón y superficie de deslizamiento.

$h_m$  = altura del centro de gravedad del peatón en el momento en que es proyectado (m).

Collins modificó su fórmula original con el fin de obtener velocidades de atropello, que es realmente el objetivo final, utilizando para ello la siguiente ecuación cuadrática:

$$v_p = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} ; \quad a = \frac{1}{2 \mu_p g} ; \quad b = \sqrt{\frac{2 d_o}{g}} ; \quad c = -d_{tm}$$

Donde:  $V_p$  = velocidad de proyección del peatón (m/s).

$\mu_p$  = coeficiente de fricción entre peatón y superficie de deslizamiento.

$d_o$  = altura del centro de gravedad del peatón en el momento en que es proyectado (m).

$d_{tm}$  = distancia total de proyección del peatón.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

Para cualquiera de las dos fórmulas, su autor sugiere la utilización de un coeficiente de rozamiento entre el peatón y la superficie de 0,8, así como una eficiencia de proyección del 100 %. Es decir, que en este caso concreto, la velocidad que llevaba el vehículo en el momento del atropello sería la misma que la velocidad que adquiriría el peatón tras éste.

La metodología seguida en este modelo sugiere [Toor y Araszewski, 2003] que su utilización debe ser para atropellos en los que los peatones describan una trayectoria "forward projection" en su fase post-atropello.

Con el fin de obtener la distancia de proyección necesaria para conseguir datos de velocidades de atropello, se va a utilizar la formulación inicial propuesta por Collins (en la que se debían probar distintas velocidades para conseguir la distancia de proyección conocida), con las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Coeficiente de fricción de 0,8, según propuesta del autor del modelo.

√ Altura aproximada de los centros de gravedad de los peatones correspondientes a las tallas<sup>2</sup> 1,75 m, 1,40 m y 1,00 m.

Velocidad / altura c.d.g	1 m	0,8 m	0,6 m
20 km/h	4,46 m	4,20 m	3,90 m
35 km/h	10,41 m	9,94 m	9,42 m
50 km/h	18,57 m	17,91 m	17,15 m
65 km/h	28,94 m	28,08 m	27,10 m
80 km/h	41,52 m	40,46 m	39,26 m

Tabla núm. 5-2. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Collins.

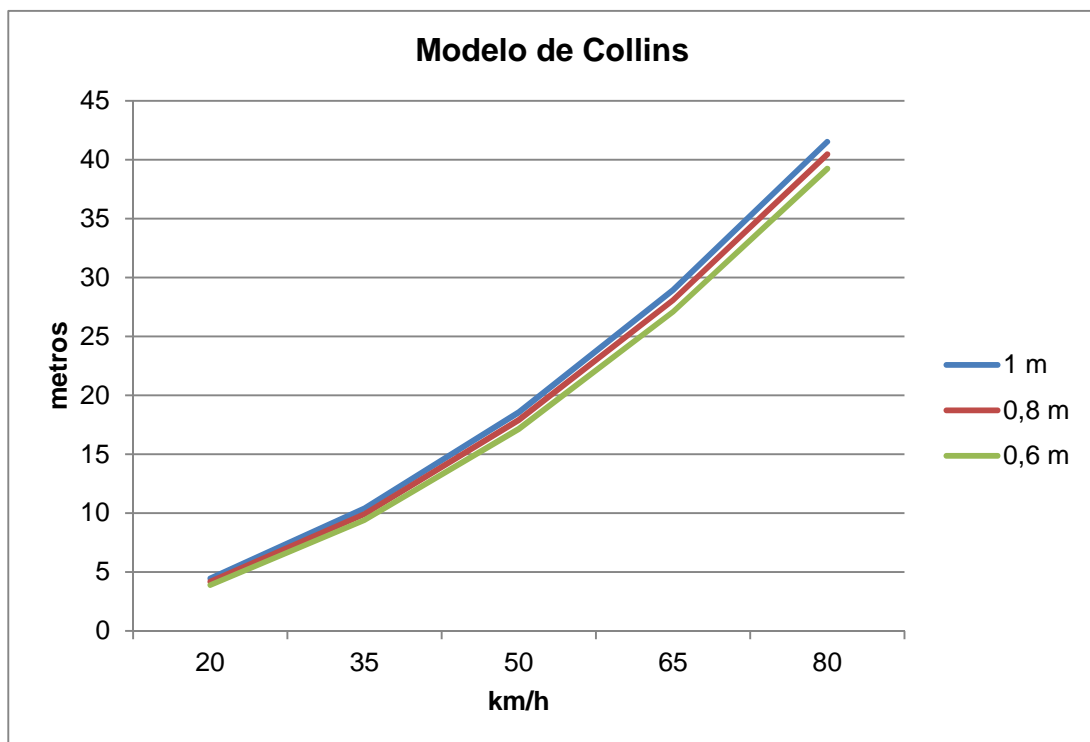


Figura núm. 5-3. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de altura del centro de gravedad de los peatones utilizando el modelo de Collins.

<sup>2</sup> "Estudios Españoles de Crecimiento 2010" Carrascosa A., et al, 2010, tomando como referencia la altura recogida en dichos Estudios para valores medios entre varones y mujeres de las siguientes categorías: adultos, 10 años, 3 años y 6 meses, siendo reducidos un 40 % para calcular aproximadamente la altura del centro de gravedad.

En el gráfico expuesto se observa que la distancia de proyección aumenta con la velocidad de atropello, existiendo muy poca diferencia en los resultados en relación a la variación de la altura del centro de gravedad.

### 5.1.3. MODELO DE SEARLE

En 1983, Searle y Searle [Searle y Searle, 1983], presentaron un modelo con el que se relacionaba la velocidad de proyección con una trayectoria conocida, incluso, desconociendo el ángulo de proyección. Este método se comparó con estudios de campo y se corroboró lo ya mencionado en capítulos anteriores en cuanto a que la trayectoria del peatón sólo asumía un porcentaje de la velocidad total del vehículo en el impacto debido a la eficiencia en la proyección.

Este modelo en principio es válido para su utilización tanto en atropellos a peatones y ciclistas, como en accidentes en los que se encuentren implicados motocicletas y vehículos, y los ocupantes de las primeras, tras el impacto, salen proyectados cierta distancia por encima del vehículo.

Estos autores ponen de manifiesto que en la recogida de datos de los accidentes por atropello, el punto donde se produce el mismo, así como la posición final del peatón, estarán claramente identificados, medidos e incluso dibujados en los croquis, mientras que no es habitual la reseña del primer punto de contacto del peatón con el suelo y su posterior deslizamiento hasta alcanzar la posición final.

En base a lo anterior se propone un modelo de cálculo que abarque y pueda calcular la velocidad del peatón desde el punto de atropello hasta alcanzar su posición final, incluyendo el deslizamiento sufrido. La fórmula obtenida, una vez simplificada, eliminando el coeficiente de rebote sobre la superficie, y teniendo en cuenta la distancia y ángulo de proyección, así como el coeficiente de fricción entre el peatón y la superficie, quedaría como sigue:



$$V = \frac{\sqrt{2\mu g S}}{(\cos\theta + \mu \sin\theta)}$$

Donde:  $V$  = velocidad de proyección del peatón (m/s)

$\mu$  = coeficiente de fricción entre peatón y superficie de deslizamiento.

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$S$  = distancia total de proyección del peatón (m).

$\sin\theta$  = seno del ángulo de proyección del peatón.

$\cos\theta$  = coseno del ángulo de proyección del peatón.

Como en la práctica totalidad de los accidentes el ángulo de proyección del peatón no es conocido, eliminar tal parámetro supone tener que establecer unos cálculos de velocidades máximas y mínimas para el peatón sin tener en cuenta ese dato, estableciéndose en este modelo las siguientes fórmulas para su uso en el cálculo de la velocidad:

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2\mu g S}{1 + \mu^2}}$$

$$V_{max} = \sqrt{2\mu g S}$$

Donde:  $V_{min}$  = velocidad mínima de proyección del peatón (m/s).

$V_{max}$  = velocidad máxima de proyección del peatón (m/s).

$\mu$  = coeficiente de fricción entre peatón y superficie de deslizamiento.

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$S$  = distancia total de proyección del peatón (m).

Para su uso en las fórmulas descritas, los autores del modelo establecen unos coeficientes de fricción de referencia para el deslizamiento de motocicletas y peatones; centrándonos en los que pueden ser utilizados para estos últimos por personas que utilicen ropas normales, se estima en 0,66 para asfalto, independientemente que el mismo se encuentre seco o mojado y en 0,79 para el deslizamiento por hierba en las mismas condiciones.

Por último, como ya se ha indicado en párrafos precedentes, la velocidad de proyección del peatón es en la mayoría de los casos menor que la velocidad del vehículo que le atropella. Los autores establecen unos porcentajes de eficiencia en la proyección a aplicar una vez calculada la velocidad de proyección del peatón para obtener la velocidad del vehículo que le atropella, diferenciando entre adultos atropellados con vehículos de frontal bajo y alto (64 % y 74,4 %, respectivamente) y niños con vehículos de la misma geometría (72,7 % y 83,1 %, respectivamente). Para todos los grupos de forma combinada se determina un valor de eficiencia de proyección del 77,5 % con respecto a la velocidad del vehículo.

Tomando como base las fórmulas presentadas, uno de los dos autores anteriores [Searle, 1993], simplificó la ecuación del movimiento de una partícula para, de esta manera, obtener la velocidad mínima a la que el peatón debía salir proyectado:

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2\mu g(S + \mu H)}{1 + \mu^2}}$$

Donde:  $V_{min}$  = velocidad mínima de proyección del peatón (m/s).

$\mu$  = coeficiente de fricción entre peatón y superficie de deslizamiento.

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$S$  = distancia total de proyección del peatón (m).

$H$  = diferencia de altura del centro de gravedad del peatón entre el punto en que es proyectado y su posición final (m).

Searle propone dos correcciones a la fórmula citada, por un lado, corrección del coeficiente de fricción si existe pendiente positiva o negativa, y por otro, corrección porcentual (disminución) de la velocidad mínima obtenida según el valor del coeficiente de fricción utilizado como se expone en la Tabla núm. 5-3:

$\mu$	CORRECCIÓN
0,1	0,4 %
0,2	1,5 %
0,3	2,8 %
0,4	3,9 %
0,5	4,6 %
0,6	4,9 %
0,7	4,8 %
0,8	4,3 %
0,9	3,5 %
1,0	2,5 %

Tabla núm. 5-3. Corrección a realizar en función del coeficiente de rozamiento utilizado para el peatón en el modelo de Searle

En la siguiente gráfica se comparan resultados obtenidos por estudios de campo con resultados obtenidos utilizando la fórmula (aplicando o no la corrección anterior).

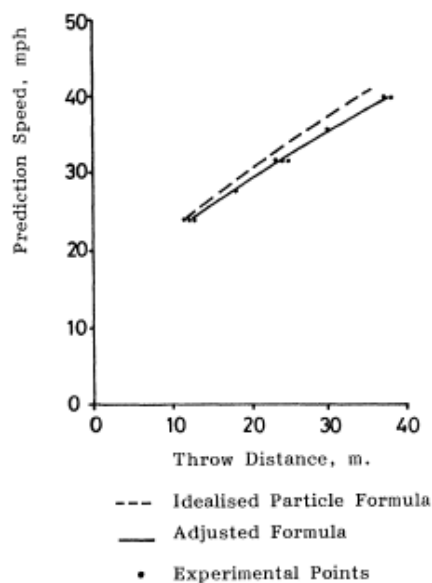


Figura núm. 5-4. Comparativa de datos experimentales con respecto a resultados de la fórmula de Searle, habiendo realizado la corrección sobre el coeficiente de rozamiento establecido en la tabla 5-3 (fórmula ajustada) y sin haber realizado dicha corrección (fórmula partícula). Fuente: Searle, 1993.

La validación de la fórmula propuesta la realiza comparando los efectos de diversas circunstancias sobre el resultado final (coeficientes de fricción, ángulo de proyección, pendiente y altura inicial de proyección), determinando que la fórmula propuesta puede ser simplificada aún más si anulamos la altura inicial de proyección dado su poca variabilidad, finalizando todo el proceso con la siguiente formulación expuesta ya al principio de este apartado:

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2\mu g S}{1 + \mu^2}}$$

Donde:  $V_{min}$  = velocidad mínima de proyección del peatón (m/s).

$\mu$  = coeficiente de fricción entre peatón y superficie de deslizamiento.

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$S$  = distancia total de proyección del peatón (m).

Como coeficiente de fricción de referencia para el deslizamiento del peatón sobre la superficie, el autor propone un  $\mu = 0,7$ , debiendo aumentarse esta velocidad mínima de proyección del peatón obtenida en un 10% para niños y un 20% para adultos si queremos calcular la velocidad mínima de impacto del vehículo en el momento del atropello. Según los factores utilizados en la eficiencia de proyección, este modelo debería ser utilizado en atropellos con trayectorias post-atropello tipo “wrap” [Toor y Araszewski, 2003].

Para establecer la distancia de proyección necesaria para obtener datos de velocidades mínimas de atropello, se van a utilizar las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h

√ Coeficientes de fricción de 0,5, 0,7 y 0,9, por considerarse valores medios sobre distintas superficies y prendas de vestir.

Para obtener las distancias de proyección, se tomarán como referencia las velocidades expuestas y se despejará en la formulación propuesta la distancia resultante.

<b>Velocidad (+20%) / Coeficiente fricción</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>
<b>20 km/h</b>	3,01 m	2,57 m	2,36 m
<b>35 km/h</b>	9,19 m	7,86 m	7,23 m
<b>50 km/h</b>	18,76 m	16,04 m	14,75 m
<b>65 km/h</b>	31,70 m	27,11 m	24,92 m
<b>80 km/h</b>	48,02 m	41,06 m	37,75 m

Tabla núm. 5-4. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Searle, habiendo realizado las correcciones propuestas en el coeficiente de fricción y el aumento de un 20% en la velocidad para adecuar los resultados a atropellos de peatones adultos.

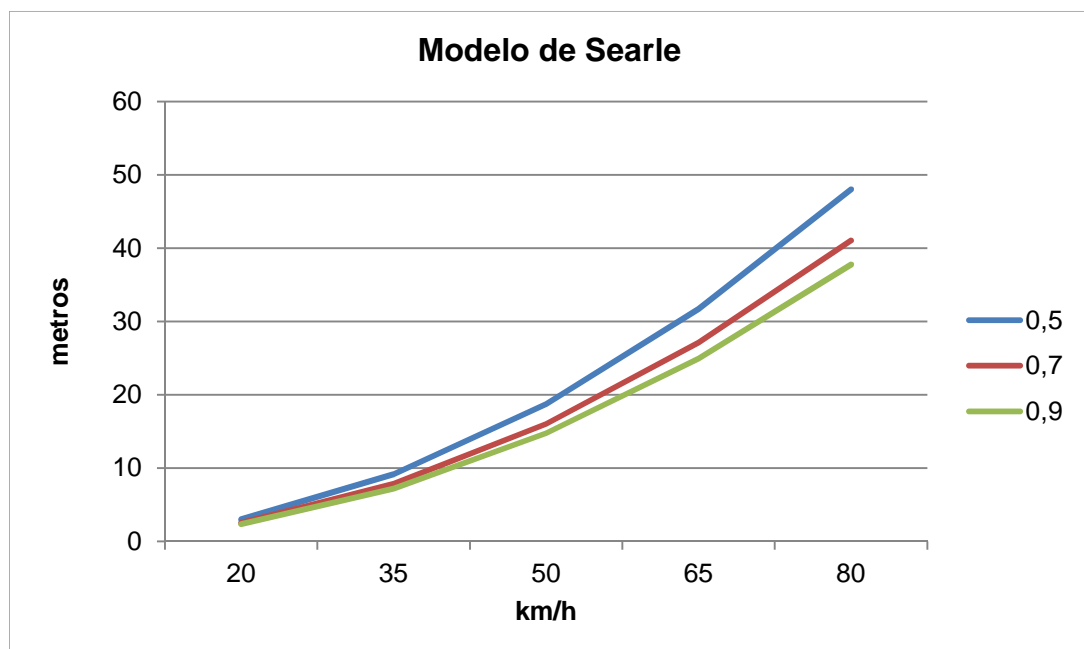


Figura núm. 5-5. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción utilizando el modelo de Searle para peatones adultos.

Velocidad (+10%) / Coeficiente fricción	0,5	0,7	0,9
20 km/h	3,57 m	3,05 m	2,81 m
35 km/h	10,94 m	9,35 m	8,60 m
50 km/h	22,32 m	19,09 m	17,55 m
65 km/h	37,73 m	32,26 m	29,66 m
80 km/h	57,15 m	48,86 m	44,93 m

Tabla núm. 5-5. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Searle, habiendo realizado las correcciones propuestas en el coeficiente de fricción y el aumento de un 10% en la velocidad para adecuar los resultados a atropellos de peatones niños.



Figura núm. 5-6. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción utilizando el modelo de Searle para peatones niños.

En los resultados obtenidos se han realizado ya las correcciones propuestas por el modelo relativas a la disminución en porcentaje según el coeficiente de fricción utilizado y al aumento en porcentaje según se trate de atropello a niños o adultos, mostrando que la distancia de proyección aumenta con la velocidad de atropello, siendo la distancia de proyección menor cuanto mayor es el coeficiente de fricción utilizado.

#### 5.1.4. MODELO DE WOOD

Tras el estudio de accidentes de tráfico en el que se encontraban implicados bicicletas y motocicletas, Wood y Riordain [Wood y Riordain, 1989], relacionaron en un modelo de cálculo, la velocidad de impacto y la distancia de proyección de los conductores de dichos vehículos, teniendo además en cuenta el impacto secundario de la cabeza con el vehículo, siendo aplicado a accidentes en los que se apreciaba un factor de velocidad alto.

De esta manera se modeló para el cálculo, un segmento rígido como cuerpo tanto del ciclista como del conductor de la motocicleta, comparándolo con resultados de test publicados por diversos autores.

El modelo no es más que una derivación del modelo de Searle y que el propio autor validó para su uso en atropellos para peatones, mediante comparativas con test de impacto.

En su inicio, el modelo partía de determinar la distancia de proyección a partir de una velocidad de atropello conocida; derivando la fórmula para resolver la velocidad de impacto [Eubanks y Haight, 1992], se obtenía la siguiente expresión:

$$V_{veh} = \sqrt{\frac{[d_t - (\mu \cdot d_o)] \cdot 2 \cdot \mu \cdot g \cdot [M_c + M_p]^2}{M_c^2}}$$

Donde:  $V_{veh}$  = velocidad del vehículo (m/s).

$d_t$  = distancia de proyección del peatón (m).

$d_o$  = diferencia de altura del c.d.g del peatón entre el momento del impacto y el lugar donde cae (m).

$M_c$  = masa del vehículo (kg).

$M_p$  = masa del peatón (kg).

$\mu$  = coeficiente de fricción entre peatón y superficie de deslizamiento.

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

Con el fin de obtener la distancia de proyección necesaria para conseguir datos de velocidades de atropello, se va a utilizar la formulación propuesta, con las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Coeficiente de fricción de 0,43, 0,54 y 0,66, según propuesta del autor del modelo [Wood, 1991].

√ Altura estimada de los centros de gravedad de los peatones correspondientes a las tallas<sup>3</sup>: 1,77 m, 1,39 m y 0,98 m y su correspondencia en masas estimadas<sup>3</sup> para los mismos: 74,59 kg, 35,93 kg y 15,52 kg.

√ Masa de los vehículos (según tipo) de 1775 kg (Mercedes Benz CLS 350), 1530 kg (Renault Scenic 1.9 DCi) y 985 kg (Seat Ibiza 1.0)

De esta manera para cada una de las clasificaciones de los peatones, se obtendrán resultados en los que se combinarán, además de los datos de los peatones, datos del coeficiente de fricción y de la masa del vehículo con el que son atropellados.

Para obtener las distancias de proyección, se tomarán como referencia las velocidades expuestas y se despejará en la formulación propuesta la distancia resultante.

---

<sup>3</sup> “Estudios Españoles de Crecimiento 2010” Carrascosa A., et al, 2010, tomando como referencia la altura recogida en dichos Estudios para valores medios entre varones y mujeres de las siguientes categorías: adultos, 10 años, 3 años y 6 meses, siendo reducidos un 40 % para calcular aproximadamente la altura del centro de gravedad.



a) Peatón de 3 años y 6 meses.

- Masa del vehículo: 985 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,80 m	3,15 m	2,71 m
35 km/h	11,11 m	8,97 m	7,47 m
50 km/h	22,42 m	17,98 m	14,83 m
65 km/h	37,71 m	30,15 m	24,8 m
80 km/h	56,99 m	45,5 m	37,36 m

Tabla núm. 5-6. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.



Figura núm. 5-7. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 3 años y 6 meses, atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.530 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,84 m	3,18 m	2,73 m
35 km/h	11,24 m	9,06 m	7,55 m
50 km/h	22,67 m	18,17 m	14,99 m
65 km/h	38,13 m	30,48 m	25,07 m
80 km/h	57,62 m	46,00 m	37,77 m

Tabla núm. 5-7. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.



Figura núm. 5-8. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 3 años y 6 meses, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.775 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,85 m	3,19 m	2,74 m
35 km/h	11,27 m	9,09 m	7,57 m
50 km/h	22,73 m	18,22 m	15,03 m
65 km/h	38,23 m	30,56 m	25,14 m
80 km/h	57,78 m	46,13 m	37,87 m

Tabla núm. 5-8. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.

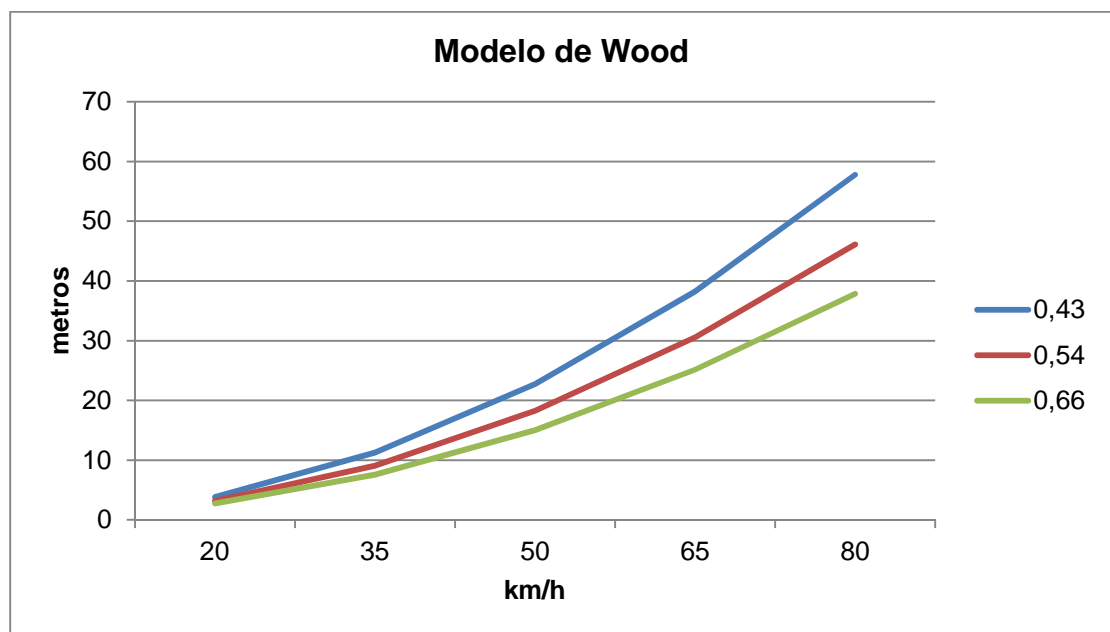


Figura núm. 5-9. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 3 años y 6 meses, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.

b) Peatón de 10 años.

- Masa del vehículo: 985 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,75 m	3,14 m	2,74 m
35 km/h	10,77 m	8,73 m	7,32 m
50 km/h	21,63 m	17,38 m	14,39 m
65 km/h	36,30 m	29,07 m	23,96 m
80 km/h	54,83 m	43,82 m	36,03 m

Tabla núm. 5-9. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.



Figura núm. 5-10. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 10 años, atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.530 kg

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,84 m	3,21 m	2,80 m
35 km/h	11,04 m	8,95 m	7,49 m
50 km/h	22,17 m	17,81 m	14,75 m
65 km/h	37,23 m	29,81 m	24,56 m
80 km/h	56,22 m	44,93 m	36,93 m

Tabla núm. 5-10. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.

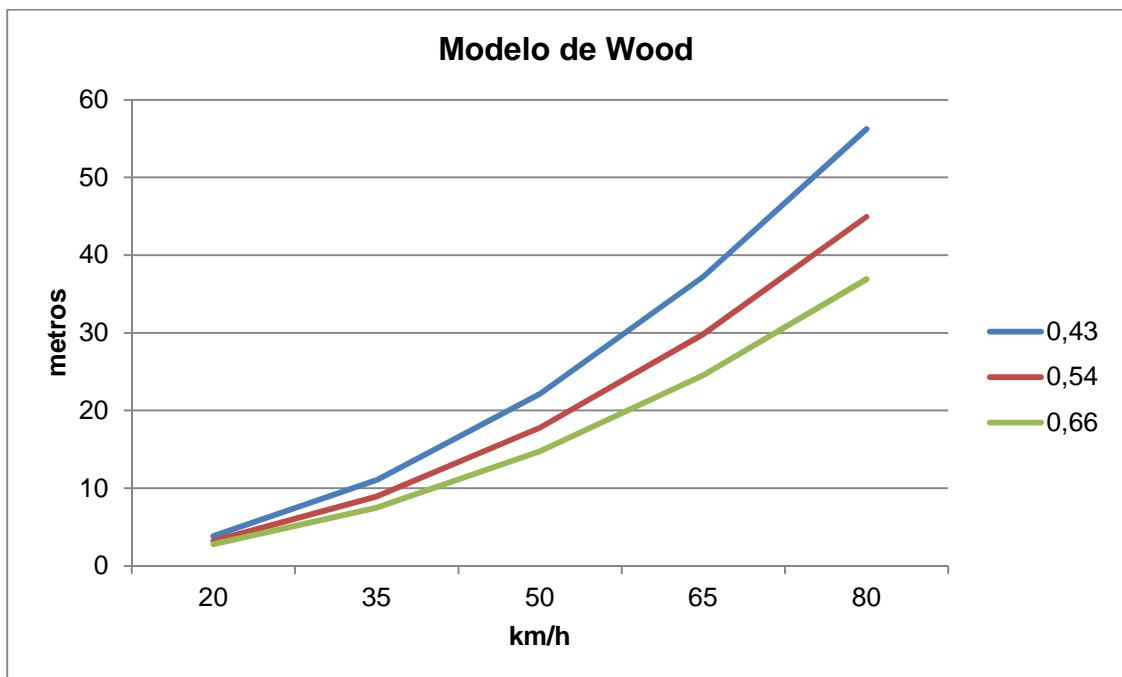


Figura núm. 5-11. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 10 años, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.775 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,86 m	3,23 m	2,82 m
35 km/h	11,11 m	9,00 m	7,54 m
50 km/h	22,31 m	17,92 m	14,84 m
65 km/h	37,47 m	29,99 m	24,71 m
80 km/h	56,58 m	45,21 m	37,17 m

Tabla núm. 5-11. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.



Figura núm. 5-12. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones de 10 años, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.

c) Peatón adulto.

- Masa del vehículo: 985 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,59 m	3,05 m	2,72 m
35 km/h	10,11 m	8,25 m	6,96 m
50 km/h	20,19 m	16,27 m	13,53 m
65 km/h	33,82 m	27,13 m	22,41 m
80 km/h	51,01 m	40,82 m	33,61 m

Tabla núm. 5-12. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.



Figura núm. 5-13. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones adultos, atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.530 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,76 m	3,19 m	2,83 m
35 km/h	10,61 m	8,65 m	7,30 m
50 km/h	21,22 m	17,09 m	14,20 m
65 km/h	35,56 m	28,52 m	23,55 m
80 km/h	53,65 m	42,92 m	35,33 m

Tabla núm. 5-13. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.



Figura núm. 5-14. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones adultos, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.



- Masa del vehículo: 1.775 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,80 m	3,22 m	2,85 m
35 km/h	10,75 m	8,75 m	7,38 m
50 km/h	21,49 m	17,31 m	14,38 m
65 km/h	36,02 m	28,88 m	23,84 m
80 km/h	54,34 m	43,47 m	35,78 m

Tabla núm. 5-14. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.

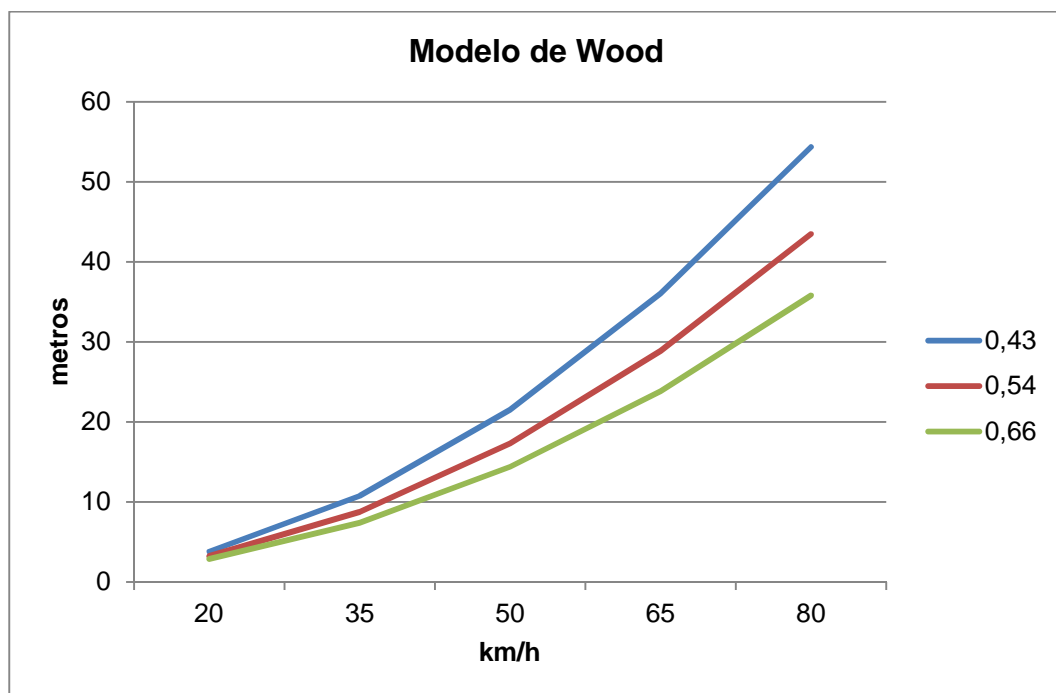


Figura núm. 5-15. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos valores de coeficientes de fricción con datos de peatones adultos, atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.

Como se observa en los datos obtenidos, dentro de cada grupo de edad, la distancia de proyección que se obtiene aumenta con la velocidad de atropello, aumentando la distancia a medida que aumenta la masa del vehículo que impacta.

Haciendo una comparativa entre los grupos de edad de los peatones, se observa que a medida que aumenta ésta, y por tanto las variables de masa y altura del centro de gravedad, la distancia de proyección disminuye en relación a los otros grupos que tienen una masa y altura de c.d.g inferiores.

### 5.1.5. MODELO DE FRICKE

Fricke [Fricke, 1990] estableció en su estudio la relación entre la distancia de deslizamiento del peatón y la velocidad de impacto del vehículo. Esta velocidad calculada se encontraría cercana a esa velocidad real de atropello, pero en ningún caso sería mayor, razonando su exposición a la situación relativa entre el frontal del vehículo y el centro de gravedad del peatón, que haría rotar a éste, no pudiéndose igualar la velocidad del peatón a la del vehículo; caso contrario, sería si el vehículo en un primer momento transportara al peatón y luego por ejemplo ante una frenada el cuerpo se desplazara hacia delante, pudiendo considerarse en este caso que el cuerpo habría sido acelerado a la misma velocidad que llevaba el vehículo.

Esta fórmula se debe utilizar en atropellos en los que se encuentran implicados camiones o furgonetas, o vehículos con un frontal plano en los que la fuerza principal de impacto se encuentra a mayor altura que el centro de gravedad del peatón [Haight y Eubanks, 1992], no saliendo, por tanto, el peatón proyectado hacia arriba, sino que sufre un movimiento horizontal hasta que empieza a deslizar.

Conocida la distancia de deslizamiento del peatón y el rango de deceleración del cuerpo, la velocidad del peatón podría ser calculada mediante la siguiente expresión, derivada de la ecuación del movimiento uniformemente decelerado (3):

$$v_i = \sqrt{v_e^2 - 2ad}$$

Donde  $v_i$  = velocidad inicial (m/s).

$v_e$  = velocidad final (m/s).

$a$  = aceleración negativa (m/s<sup>2</sup>).

$d$  = distancia de deslizamiento del cuerpo (m).

$v_e = 0$ , ya que el cuerpo en su posición final se ha detenido.

Además, el valor de la aceleración será siempre negativo porque el cuerpo va reduciendo su velocidad y se calcularía al multiplicar el coeficiente de fricción por la aceleración de la gravedad.

Los valores típicos para el coeficiente de fricción del cuerpo, dependiendo de la superficie de deslizamiento, oscilarían entre 0,45 y 0,70 para hierba, entre 0,45 y 0,60 para asfalto y entre 0,40 y 0,65 para cemento.

Para establecer la distancia de proyección necesaria para obtener datos de velocidades de atropello, se van a utilizar las siguientes variables:

√ Velocidades finales: 0 km/h

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h

√ Deceleraciones resultantes de la utilización de coeficientes de fricción para el deslizamiento del peatón por asfalto: 0,45 y 0,60, es decir: 4,41 m/s<sup>2</sup> y 5,88 m/s<sup>2</sup>.

Para obtener las distancias de proyección, se tomarán como referencia las velocidades expuestas y se despejará en la formulación propuesta la distancia resultante.

<b>Velocidad / deceleración</b>	<b>4,41 m/s<sup>2</sup></b>	<b>5,88 m/s<sup>2</sup></b>
<b>20 km/h</b>	3,49 m	2,6 m
<b>35 km/h</b>	10,60 m	8,01 m
<b>50 km/h</b>	21,85 m	16,38 m
<b>65 km/h</b>	36,95 m	27,71 m
<b>80 km/h</b>	55,98 m	41,98 m

Tabla núm. 5-15. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Fricke

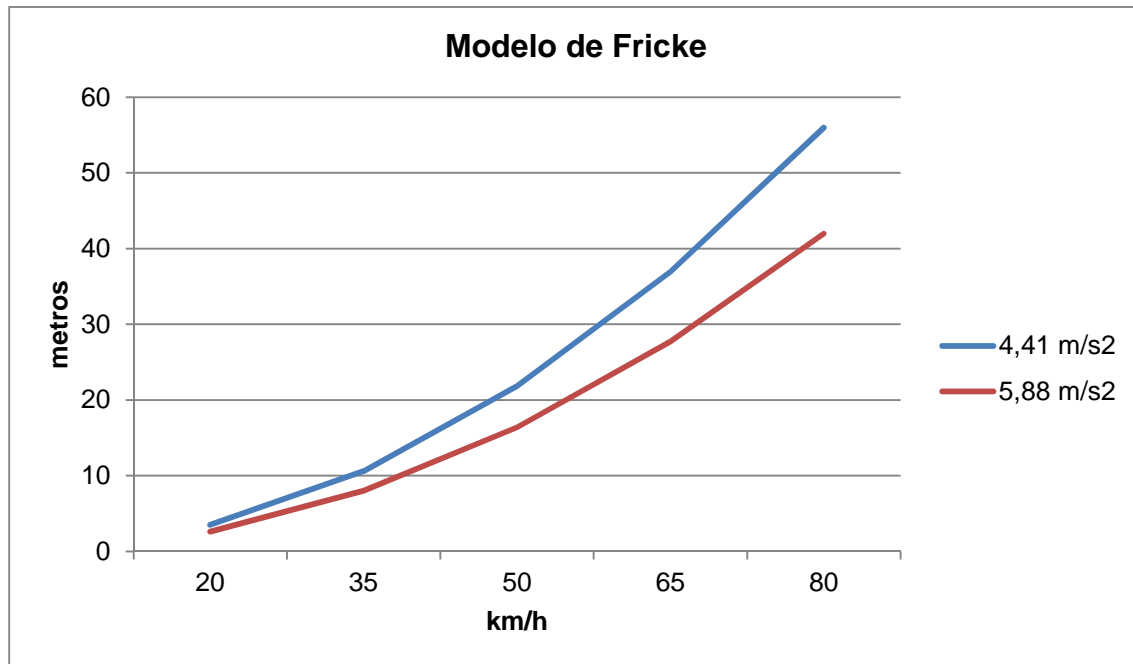


Figura núm. 5-16. Gráfico en el que se muestra la distancia de deslizamiento en función de las velocidades de atropello para distintos valores de deceleración de los vehículos utilizando el modelo de Fricke.

Los resultados obtenidos muestran (como en el modelo anterior) que la distancia de proyección aumenta con la velocidad de atropello, siendo la distancia menor cuanto más deceleración se aplique al peatón.

#### 5.1.6. MODELO ARONBERG

El modelo teórico de Aronberg [Aronberg, 1990] se basa en las ecuaciones del análisis de la trayectoria en el aire a partir de las ecuaciones de la física clásica del movimiento uniformemente acelerado.

Tomando como base el modelo de Collins [Collins, 1979], ya descrito en este trabajo, pero añadiendo además el tiempo que el cuerpo permanece en el aire durante la proyección, así como un factor de corrección con respecto a la resistencia del aire durante el vuelo, Aronberg presenta su modelo aplicable a diferentes tipos de accidentes, entre los que se incluyen los atropellos a peatones y ciclistas.

A la hora de plantear su modelo, Aronberg utiliza las variables del movimiento parabólico clásico y posterior deslizamiento del cuerpo como se muestra en el gráfico siguiente:

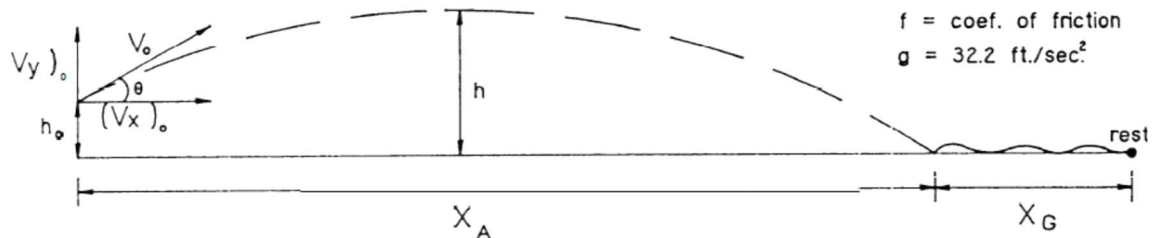


Figura núm. 5-17. Gráfico en el que se muestra el movimiento parabólico clásico de una partícula y su deslizamiento. Fuente: Aronberg, 1990.

Así, el modelo presenta las siguientes expresiones en unidades del Sistema Anglosajón:

$$t = 0.25 (\sqrt{h - h_0} + \sqrt{h})$$

$$\theta = \arctan \left[ \frac{\sqrt{h - h_0}}{\sqrt{16(ft)^2 + fx} - 4ft} \right]$$

$$V = \frac{8\sqrt{h - h_0}}{\sin \theta}$$

Donde:  $t$  = tiempo que el peatón permanece en el aire (s)

$h_0$  = altura del centro de gravedad del peatón (pies)

$h$  = altura máxima estimada que alcanza el peatón en su trayectoria de vuelo (pies)

$f$  = coeficiente de fricción entre peatón y superficie de deslizamiento.

$x$  = distancia total de proyección del peatón (pies).

$V$  = velocidad del vehículo en el momento del atropello (pies/s).

En la práctica, de los datos solicitados, la altura máxima que alcanza el peatón en su trayectoria de vuelo es la más difícil de definir, si bien, ante esta

dificultad, el autor realiza un análisis de sensibilidad utilizando diferentes valores de altura estimados, no modificándose prácticamente el resultado de la velocidad obtenida. Como coeficiente de fricción entre el peatón y la superficie, se propone un valor  $\mu$  de 0,5.

Obtenida la velocidad, basándose en estudios realizados sobre lanzamientos en paracaídas, habría que añadir un factor de corrección relacionado con la resistencia del aire sufrida por el peatón en su fase de vuelo. Como conclusión a estos estudios, Aronberg propone un incremento de la velocidad obtenida de aproximadamente 2 mph por cada segundo que el cuerpo se encuentre en el aire.

El modelo presentado por Aronberg es validado comparándolo con los modelos teóricos de Collins y de Searle, ya estudiados en este trabajo y con test realizados por Wood y Bratten [Aronberg y Snider, 1994].

Según el autor, el modelo no es apropiado para casos en los que los vehículos transporten al peatón.

Para obtener distancias de proyección y conseguir datos de velocidades de atropello, se va a utilizar la formulación propuesta, con las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Coeficiente de fricción de 0,5

√ Altura aproximada de los centros de gravedad de los peatones correspondientes a las tallas<sup>4</sup> 1,75 m, 1,40 m y 1,00 m.

√ Alturas estimadas alcanzadas en la fase de vuelo del peatón de 1.5, 3, 4.5 y 6 metros.

---

<sup>4</sup> “Estudios Españoles de Crecimiento 2010” Carrascosa A., et al, 2010, tomando como referencia la altura recogida en dichos Estudios para valores medios entre varones y mujeres de las siguientes categorías: adultos, 10 años, 3 años y 6 meses, siendo reducidos un 40 % para calcular aproximadamente la altura del centro de gravedad.

De esta manera para cada una de las alturas estimadas de vuelo, se obtendrán resultados en los que se combinarán, datos de la altura del c.d.g de los peatones y datos del coeficiente de fricción entre peatón y superficie. A los resultados obtenidos se les ha aplicado el incremento de velocidad proporcional con motivo de la corrección del rozamiento del cuerpo con el aire.

Para obtener las distancias de proyección, se tomarán como referencia las velocidades expuestas y se despejará en la formulación propuesta la distancia resultante.

a) Altura de vuelo 1,5 m

Velocidad/ c.d.g	0,6 m	0,8 m	1 m
20 km/h	2,38 m	3,52 m	4,43 m
35 km/h	13,88 m	14,23 m	14,52 m
50 km/h	27,70 m	27,79 m	27,79 m
65 km/h	44,91 m	44,79 m	44,54 m
80 km/h	65,59 m	65,28 m	64,81 m

Tabla núm. 5-16. Resultados de la distancia de proyección para peatones de diferentes alturas utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 1,5 m.

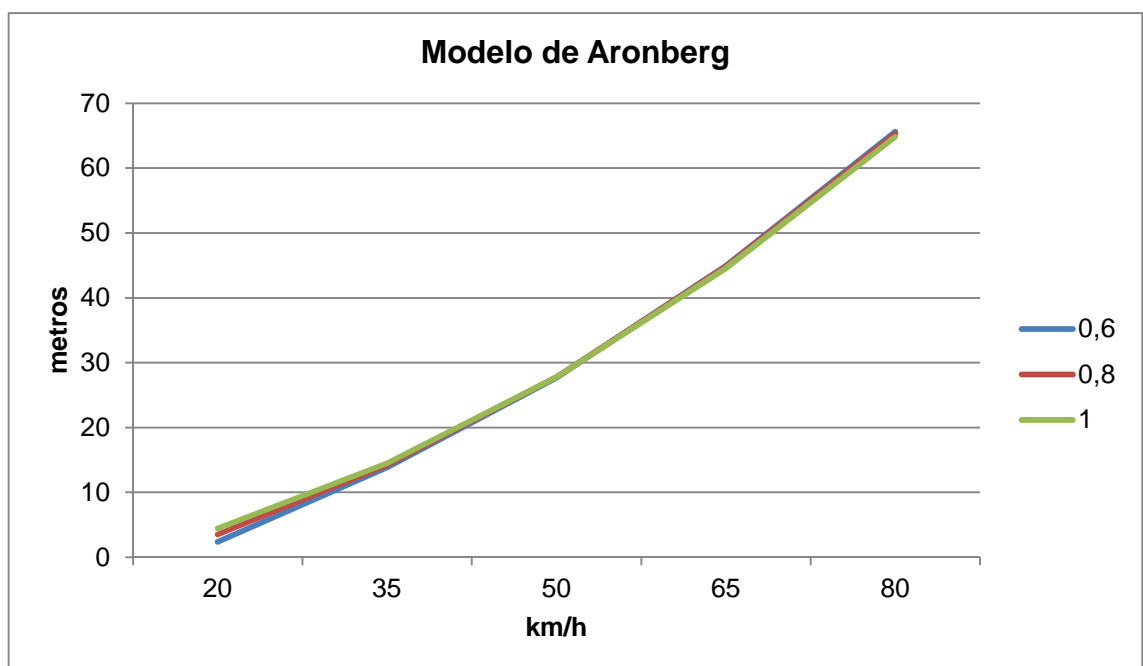


Figura núm. 5-18. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 1,5 m y diferentes alturas de c.d.g de los peatones.

## b) Altura de vuelo 3 m

Velocidad/ c.d.g	0,6 m	0,8 m	1 m
20 km/h	-	-	-
35 km/h	9,47 m	10,37 m	11,26 m
50 km/h	26,97 m	27,43 m	27,88 m
65 km/h	46,58 m	46,84 m	47,09 m
80 km/h	69,37 m	69,47 m	69,57 m

Tabla núm. 5-17. Resultados de la distancia de proyección para peatones de diferentes alturas utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 3 m.

Teniendo su incidencia en los resultados obtenidos, se ha comprobado que el modelo de cálculo no es capaz de obtener distancias de proyección para velocidades inferiores a 29,64 km/h (altura c.d.g. 0,6 m), 28,50 km/h (altura c.d.g. 0,8 m) y 27,34 km/h (altura c.d.g. 1 m). La razón de ello, es que el modelo considera que a esas velocidades no se pueden alcanzar las alturas estimadas para las variables expuestas.

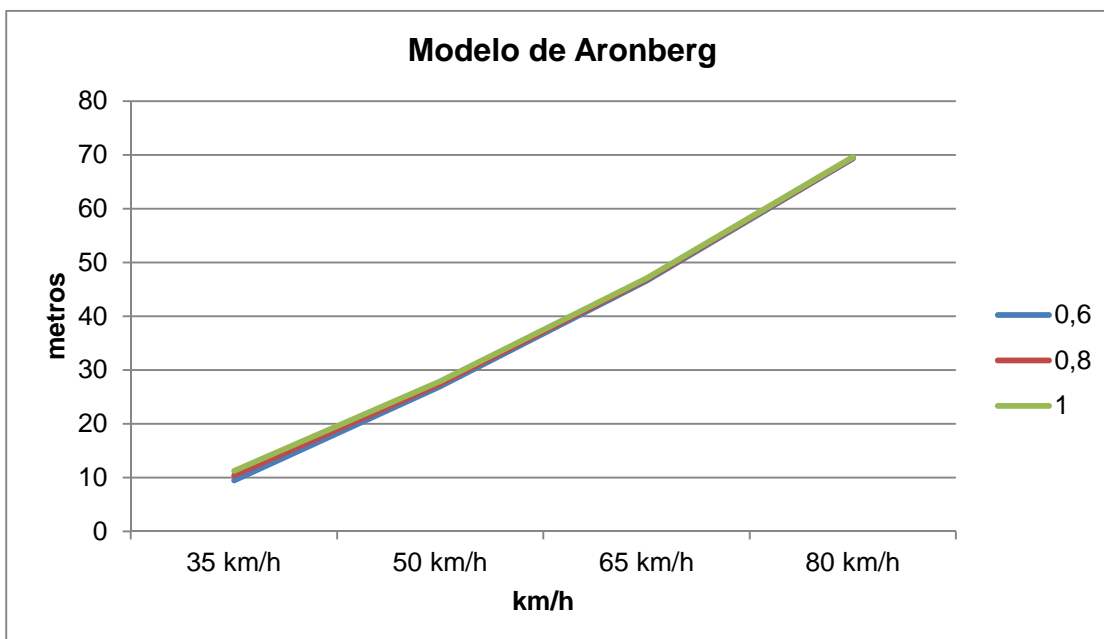


Figura núm. 5-19. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 3 m y diferentes alturas de c.d.g. de los peatones.



c) Altura de vuelo 4,5 m

Velocidad/ c.d.g	0,6 m	0,8 m	1 m
20 km/h	-	-	-
35 km/h	-	-	-
50 km/h	23,24 m	23,94 m	24,65 m
65 km/h	45,44 m	45,88 m	46,32 m
80 km/h	70,10 m	70,39 m	70,68 m

Tabla núm. 5-18. Resultados de la distancia de proyección para peatones de diferentes alturas utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 4,5 m.

Se comprueba, al igual que en el caso anterior, que el modelo de cálculo no es capaz de obtener distancias de proyección para velocidades inferiores a 37,60 km/h (altura c.d.g. 0,6 m), 36,82 km/h (altura c.d.g. 0,8 m) y 35,89 km/h (altura c.d.g. 1 m). El motivo es el mismo que el expuesto en los datos obtenidos en el apartado b) anterior.

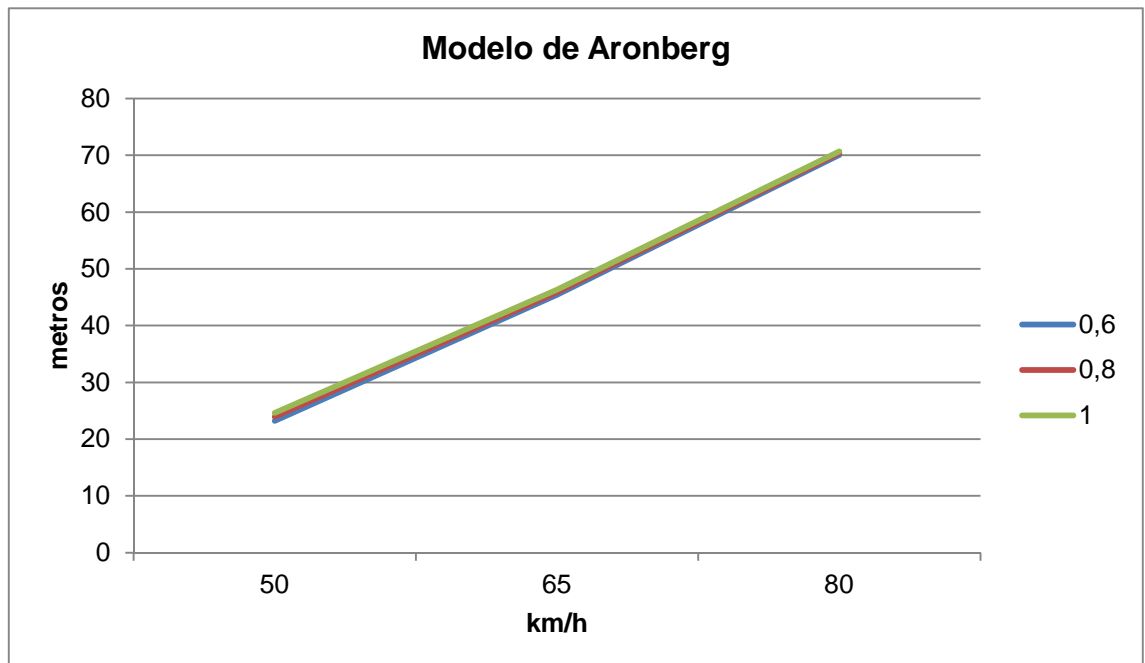


Figura núm. 5-20. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 4,5 m y diferentes alturas de c.d.g. de los peatones.

d) Altura de vuelo 6 m

Velocidad/ c.d.g	0,6 m	0,8 m	1 m
20 km/h	-	-	-
35 km/h	-	-	-
50 km/h	16,64 m	17,69 m	18,74 m
65 km/h	42,53 m	43,11 m	43,72 m
80 km/h	69,15 m	69,57 m	69,98 m

Tabla núm. 5-19. Resultados de la distancia de proyección para peatones de diferentes alturas utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 6 m.

Como en los casos anteriores, en esta ocasión se ha comprobado que el modelo de cálculo no es capaz de obtener distancias de proyección para velocidades inferiores a 44,25 km/h (altura c.d.g. 0,6 m), 43,54 km/h (altura c.d.g. 0,8 m) y 42,75 km/h (altura c.d.g. 1 m). La ausencia de datos en las dos primeras filas se debe a las razones expuestas en los puntos anteriores.

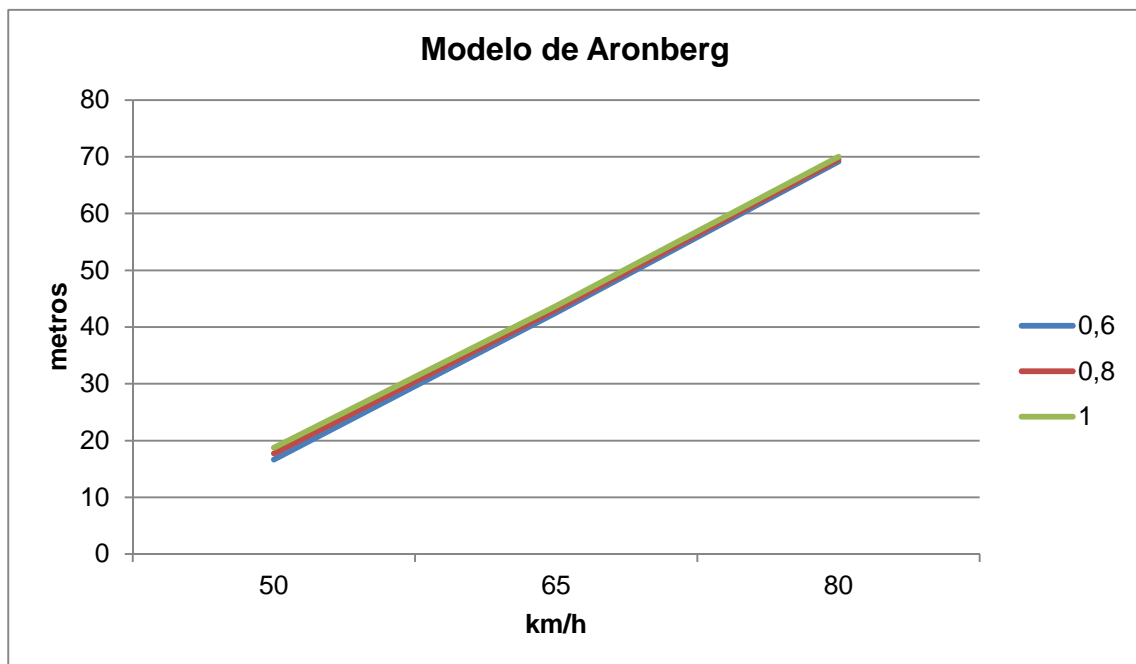


Figura núm. 5-21. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo de Aronberg, para una altura de vuelo de 6 m y diferentes alturas de c.d.g. de los peatones.

Como conclusión a los datos obtenidos, la distancia de proyección aumenta con la velocidad de atropello, siendo prácticamente proporcional en todos los casos, si bien, en general, a mayor altura de vuelo la distancia de proyección es menor para el mismo parámetro de velocidad, no existiendo diferencias significativas en relación a la altura del centro de gravedad del peatón atropellado.

### 5.1.7. MODELO DE LIMPERT

El modelo presentado por Limpert [Limpert,1999], a partir de una serie de impactos de vehículos y dummies, indicaron que a velocidades comprendidas entre 56 y 64 km/h, se producía la proyección del peatón entre 21,3 y 30,5 metros.

Estos test fueron realizados estableciendo como parámetro en el atropello la frenada durante y después del impacto, derivándose una relación empírica para obtener la velocidad de atropello.

$$V_c = 6,6 \sqrt{8,4 a^4 + aS} - 20a^2 \pm 2,5$$

Donde:  $V_c$  = velocidad del vehículo (mph)

$a$  = deceleración del vehículo en función de la gravedad y del  $\mu$  (g)

$S$  = distancia desde el punto de impacto a la posición final del peatón (pies).

El propio autor pone un ejemplo con una deceleración de 0,7 g en el momento del impacto con el peatón, motivo por el cual, la deceleración se igualará al coeficiente de rozamiento a utilizar [Eubanks y Haight, 1992].

El modelo no discrimina tamaño del peatón atropellado, sin embargo, se aclara que los peatones de menor tamaño al tener menos contacto con el capó del vehículo, pierden más energía en su caída sobre el suelo, acortando por tanto la distancia de proyección. En otras palabras, para que un peatón de menor tamaño sea proyectado a la misma distancia que por ejemplo un peatón adulto, necesitaría más velocidad de impacto.

Los coeficientes de fricción a emplear, según el propio autor, oscilarían entre 0,7 y 1,2 [Happer et al., 2000].

El mismo modelo matemático ha sido adaptado para su utilización con Unidades del Sistema Internacional [Happer et al., 2000] [Luque y Álvarez, 2007] según la siguiente expresión:

$$Vv = 10,62 \sqrt{8,4 a_v^4 + \frac{a_v d_t}{0,3048}} - 32,19 a_v^2 \pm 4,02$$

Donde:  $V_v$  = velocidad del vehículo (km/h)

$a_v$  = deceleración del vehículo en función de la gravedad y del  $\mu$  (g)

$d_t$  = distancia desde el punto de impacto a la posición final del peatón (m).

Para obtener la distancia de proyección necesaria para conseguir datos de velocidades de atropello, se va a utilizar la formulación inicial propuesta por Limpert, con las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h

√ Coeficientes de fricción de 0,7, 0,9 y 1,2, según propuesta del autor del modelo.

Para obtener las distancias de proyección, se tomarán como referencia las velocidades expuestas y se despejará en la formulación propuesta la distancia resultante.

Velocidad / $\mu$	0,7	0,9	1,2
20 km/h	4,06 m	4,50 m	5,48 m
35 km/h	9,07 m	9,33 m	10,47 m
50 km/h	15,81 m	15,50 m	16,47 m
65 km/h	24,30 m	23,03 m	23,49 m
80 km/h	34,52 m	31,91 m	31,52 m

Tabla núm. 5-20. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Limpert.

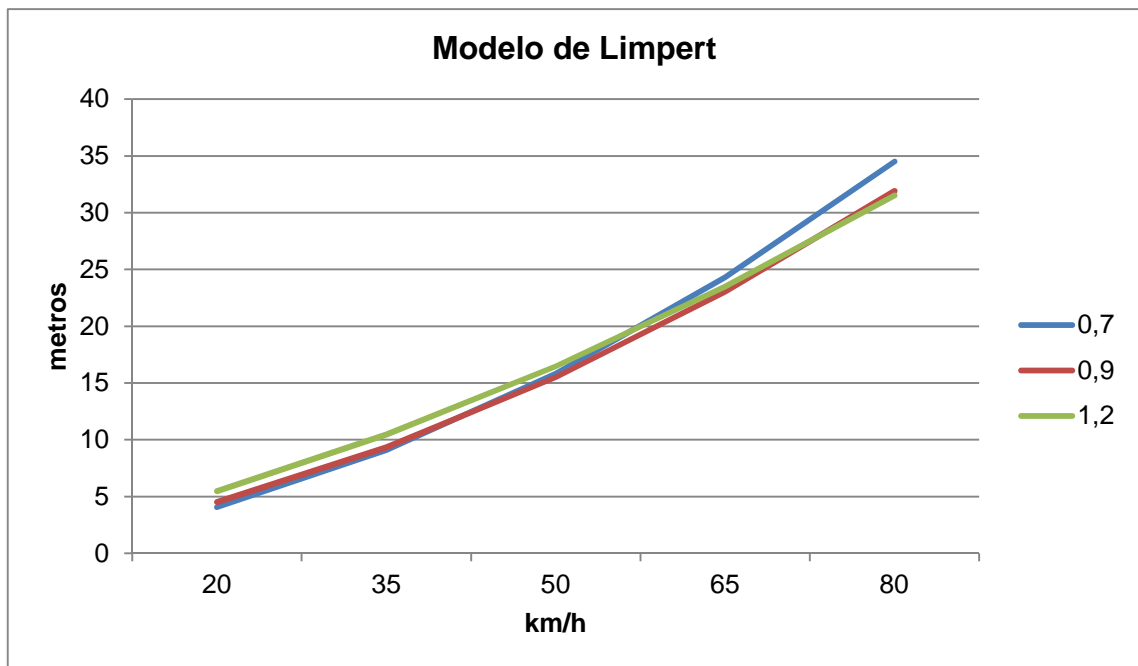


Figura núm. 5-22. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello para diferentes deceleraciones sufridas utilizando el modelo de Limpert.

En el gráfico expuesto se sigue observando que la distancia de proyección aumenta con la velocidad de atropello, existiendo poca diferencia en los resultados a pesar de la variación del coeficiente de fricción, viéndose ligeramente incrementada dicha distancia a velocidades superiores a 65 km/h y con coeficiente de 0,7.

### 5.1.8. MODELO HÍBRIDO DE WOOD

En el año 2000, Wood y Simms [Wood D. y Simms C, 2000], presentaron un modelo de cálculo teórico denominado híbrido, que combinaba la trayectoria de vuelo de una partícula con la velocidad post-impacto según el modelo de segmento presentado por uno de los autores y ya citado en este trabajo.

La correlación existente entre la raíz cuadrada de la distancia de proyección y la velocidad de colisión o atropello llevó a los autores a formular el siguiente modelo de cálculo:

$$V_{COL} = A \sqrt{S_T}$$

$$A = \left[ \frac{M_V + M_P}{M_V} \right] \frac{\sqrt{2\mu g}}{\left[ 1 + \mu \left( \frac{V_V}{V_H} \right) \right]}$$

Donde:  $V_{COL}$  = velocidad del vehículo (m/s)

$A$  = constante.

$S_T$  = distancia desde el punto de impacto a la posición final del peatón (m).

$M_V$  = masa del vehículo (kg).

$M_P$  = masa del peatón (kg).

$V_V$  = velocidad vertical del c.d.g. del peatón después del impacto de la cabeza (m/s).

$V_H$  = velocidad horizontal del c.d.g. del peatón después del impacto de la cabeza (m/s).

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$\mu$  = coeficiente de fricción entre peatón y superficie de deslizamiento.

La validación del modelo se hizo comparando datos relativos a velocidad del vehículo en el momento del atropello y distancia de proyección del peatón, obtenidos tanto de accidentes reales (84) como de test de impacto (85 con dummies y 19 con cadáveres humanos) en los que los peatones habían sido golpeados únicamente con el frontal del vehículo. De esta manera, se obtuvo en primer lugar el parámetro  $A$  de forma experimental y teórica (utilizando datos estadísticos con unos valores máximos, medios y mínimos). A continuación se compararon los resultados teóricos obtenidos para el parámetro  $A$ , con los resultados obtenidos para ese parámetro en accidentes reales y test de impacto, según se muestra en las siguientes figuras.

Los resultados para el parámetro  $A$ , obtenidos de accidentes reales, se exponen a continuación:

Table 1.  $A$  values

	Min	Max	Mean	$N$	$\sigma$
Hybrid Model ( $V_{COL}$ : real accidents)	2.34	4.30	3.12	–	0.36
Real accidents	2.50	4.40	3.49	84	0.38

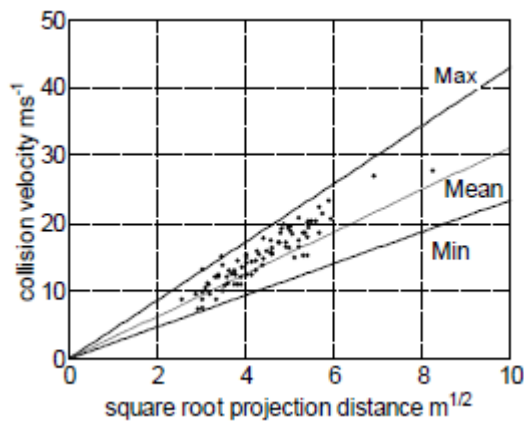


Figura núm. 5-23. Resultados del parámetro  $A$  obtenidos de accidentes reales.  
Fuente: Wood D. y Simms C, 2000

En el caso de test de impacto, los resultados obtenidos para el parámetro  $A$ , se muestran de la forma siguiente:

Table 2. *A* values

	Min	Max	Mean	<i>N</i>	$\sigma$
Hybrid Model ( $V_{COL}$ : staged tests)	2.37	4.36	3.22	–	0.39
Staged tests	2.53	3.90	3.23	104	0.26

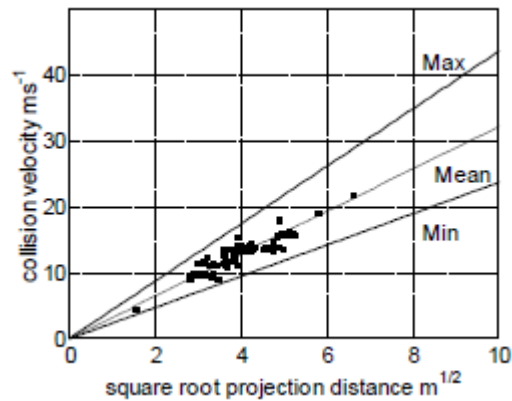


Figura núm. 5-24. Resultados del parámetro A obtenidos de tests. Fuente: Wood D. y Simms C, 2000

Para una mayor garantía, se sometió al modelo a una nueva validación sobre estudios realizados que representaban atropellos de todo tipo, obteniéndose los siguientes resultados para el parámetro *A* en comparación con los ya obtenidos anteriormente:

Table 3. *A* values

	Min	Max	Mean
Hybrid Model ( $V_{COL}$ : Danner & Langwieder)	2.51	4.47	3.55
Real accidents	2.50	4.40	3.49
Staged tests	2.53	3.90	3.23

Figura núm. 5-25. Comparación de los resultados de los parámetros A obtenidos por diferentes métodos. Fuente: Wood D. y Simms C, 2000



Finalmente, la expresión del modelo expuesta al principio, tras la adición del valor del parámetro  $A$ , muy próximos a los obtenidos en la última validación, queda como sigue para cada una de las velocidades citadas:

$$\text{VELOCIDAD MÍNIMA} \quad V_{COL} = 2,5 \sqrt{S_T}$$

$$\text{VELOCIDAD MEDIA} \quad V_{COL} = 3,6 \sqrt{S_T}$$

$$\text{VELOCIDAD MÁXIMA} \quad V_{COL} = 4,5 \sqrt{S_T}$$

Donde:  $V_{COL}$  = velocidad del vehículo (m/s)

$S_T$  = distancia desde el punto de impacto a la posición final del peatón (m).

La distancia de proyección se obtendrá para velocidades medias utilizando como única variable la velocidad, que se tomará como referencia para despejar en la formulación propuesta la distancia resultante:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

Velocidad	Distancia
20 km/h	2,38 m
35 km/h	7,29 m
50 km/h	14,89 m
65 km/h	25,16 m
80 km/h	38,11 m

Tabla núm. 5-21. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo híbrido de Wood.

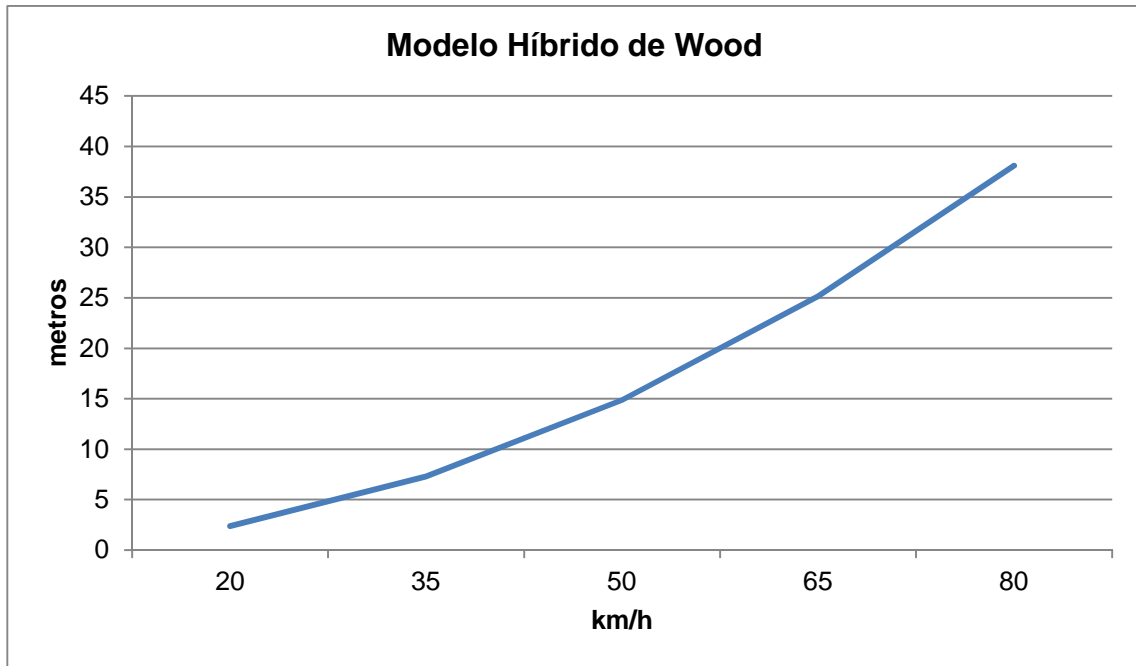


Figura núm. 5-26. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello utilizando el modelo híbrido de Wood.

Como se observa, se sigue corroborando que la distancia de proyección aumenta con la velocidad de atropello.

### 5.1.9. MODELO DE HAN Y BRACH

Otro modelo teórico fue presentado por Han y Brach [Han y Brach, 2001]. Este modelo de cálculo tiene en cuenta la distancia horizontal existente entre los impactos primario y secundario del peatón con el vehículo, el ángulo de proyección, la altura del centro de gravedad del peatón, la velocidad del peatón, así como el coeficiente de fricción del peatón contra la calzada en su caída y posterior deslizamiento hasta su posición final. También incorpora en su desarrollo, parámetros relativos a la distancia de detención del vehículo y la distancia existente entre ese punto de detención y la posición final del peatón.

Según el planteamiento desarrollado por los autores, en base a la distancia de proyección del peatón, la velocidad del vehículo en el momento del atropello vendría determinada en una superficie a nivel por la siguiente expresión:

$$V = A \sqrt{d - B}$$

Donde:  $V$  = velocidad del vehículo (m/s)

$A$  = constante

$B$  = constante

$d$  = distancia desde el punto de impacto a la posición final del peatón (m).

El modelo fue validado, como se muestra en la Figura núm. 5-27, tras el análisis y comparación de datos seleccionados relativos a pruebas experimentales de diferentes fuentes (11 estudios de otros tantos autores) en los que se habían utilizado dummies, reconstrucciones en laboratorios de accidentes reales y pruebas con cadáveres humanos, aportando parámetros con la denominación de A y B obtenidos de ajustes realizados a partir de los datos de dichas pruebas experimentales. Además, esos datos iniciales fueron agrupados por tipo de peatón (persona o dummy) y tamaño del mismo (adulto o niño), obteniéndose igualmente parámetros A y B.

Data	Conditions	A	B
<b>Source</b>	<b>Type</b>		
Dettinger	adult/reconstruction	3.88	3.13
Hill	adult/reconstruction	3.65	0.67
Kramer	adult/reconstruction	3.65	0.79
Sturtz	adult/reconstruction	3.71	1.20
Kramer	adult/dummy/wrap	3.48	0.31
Kuhnel	adult/dummy/wrap	3.52	0.00
Lucchini	adult/dummy/wrap	3.58	1.55
Schneider	adult/dummy/wrap	3.84	3.61
Severy	adult/dummy/wrap	3.15	0.00
Stcherbatcheff	adult/dummy/wrap	2.81	0.00
Wood	adult/dummy/wrap	3.14	0.00
<b>Collision Type</b>			
Adult: reconstructions & dummies		3.33	0.40
Child: reconstructions & dummies		3.24	0.74
Adult/Reconstruction		3.55	0.60
Adult/Dummy		3.21	0.24
Child/Reconstruction		3.28	0.87
Child/Dummy		3.16	0.20
Reconstruction: adult & child		3.52	0.94
Dummy: adult & child		3.20	0.25

Figura núm. 5-27. Resultados de los parámetros A y B obtenidos en función de las distintas pruebas realizadas. Fuente: Han y Brach, 2001

Los valores promediados para los parámetros A y B, tanto para peatones adultos como para niños, se expresan a continuación [Brach y Brach, 2005].

	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>Adulto</b>	3,55	0,6
<b>Niño</b>	3,28	0,87

A la hora de calcular la distancia de proyección necesaria para obtener datos de velocidades de atropello para los dos grupos citados, se van a utilizar las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Valores promediados de los parámetros A y B citados anteriormente.

Para obtener las distancias de proyección, se tomarán como referencia las velocidades expuestas y se despejará en la formulación propuesta la distancia resultante.

<b>Velocidad / tipo peatón</b>	<b>Adulto</b>	<b>Niño</b>
<b>20 km/h</b>	3,04 m	3,73 m
<b>35 km/h</b>	8,09 m	9,65 m
<b>50 km/h</b>	15,89 m	18,79 m
<b>65 km/h</b>	26,45 m	31,17 m
<b>80 km/h</b>	39,78 m	46,79 m

Tabla núm. 5-22. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos y niños utilizando el modelo de Han y Brach.



Figura núm. 5-28. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para distintos tipos de peatón utilizando el modelo de Han y Brach.

Como se observa en los datos obtenidos, la distancia de proyección que se obtiene aumenta con la velocidad de atropello, siendo esta distancia mayor para peatones niños que para adultos a la misma velocidad de atropello.



## **5.2. MODELOS EMPÍRICOS O ESTADÍSTICOS**

En el caso de atropellos reales, el cuerpo humano no se comporta como un proyectil, considerado así por los modelos teóricos, sino que sufre una trayectoria compleja. Los modelos empíricos ajustan una expresión matemática sencilla y práctica a datos reales, incorporando constantes para la solución de dicha expresión. Su desventaja reside en que se utilizan los valores medios de los datos considerados, con lo que si la muestra tiene un tamaño limitado o si la información no es lo suficientemente completa, el resultado que se obtenga puede no ser representativo de accidentes reales [Toor y Araszewski, 2003].

Al igual que se ha hecho con los modelos teóricos, se van a presentar una serie de modelos empíricos representativos y por orden cronológico de aparición.

### **5.2.1. MODELO DE APPEL**

Como método alternativo para estimar la velocidad de impacto, un equipo dirigido por el profesor Appel [Appel, et al, 1975] realizó un estudio sobre 137 accidentes reales en los que el frontal del vehículo proyectaba a los peatones.

De una forma gráfica, se comparan a continuación los resultados analizados por Appel, por tipo de geometrías de vehículo y tipo de peatones.

### Appel's Data - Pontoon & V-Form

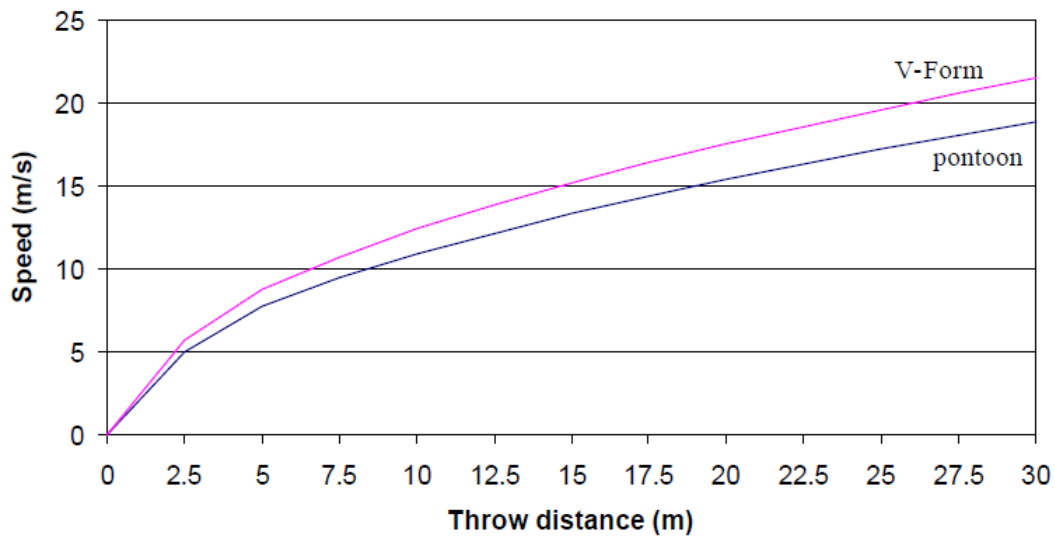


Figura núm. 5-29. Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección diferenciándose por tipos de geometría del frontal del vehículo. Fuente: Appel, et al, 1975.

### Appel's Data - Child and adult

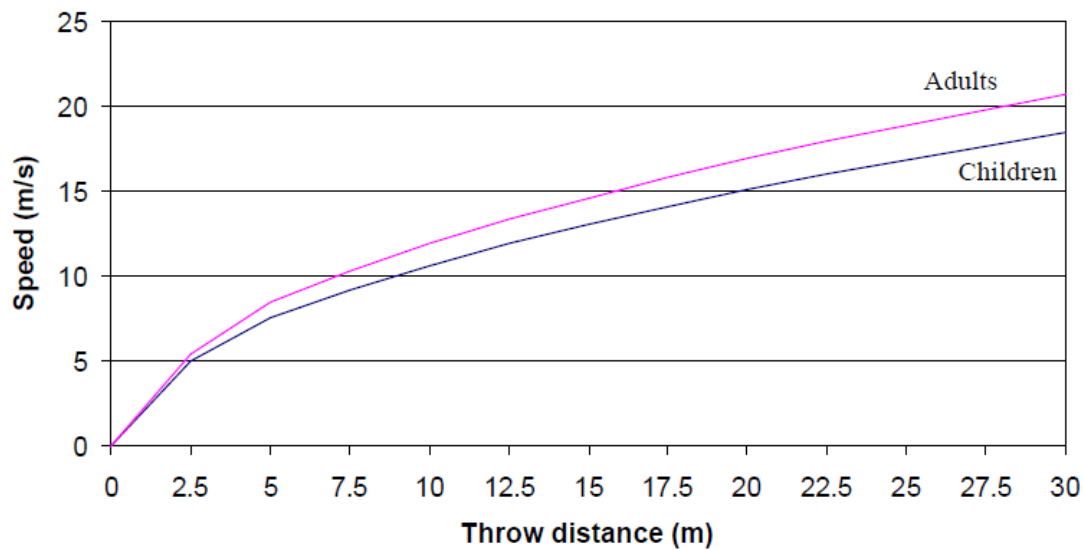


Figura núm. 5-30. Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección diferenciándose por tipos de peatón. Fuente: Appel, et al, 1975.



Como se observa, este método tiene una limitación al no distinguir el tipo de peatón que es atropellado en cada una de las geometrías (frontales), ni tampoco distinguir el tipo de geometría con la que es atropellado cada uno de los peatones (adultos o niños).

Dicho equipo analizó, como se ha visto, los datos distinguiendo entre geometrías de frontal alto y bajo para los vehículos y por otro lado, peatones adultos y niños, pudiendo establecerse las siguientes relaciones entre distancia de proyección y velocidad de atropello:

	<b>Muestra</b>	<b>Ecuación</b>
<b>Vehículo frontal alto</b>	n= 56	$S=0,084 V^2$
<b>Vehículo frontal bajo</b>	n= 11	$S=0,065 V^2$
<b>Adultos</b>	n= 31	$S=0,070 V^2$
<b>Niños</b>	n= 39	$S=0,088 V^2$

Esas relaciones, establecidas para el cálculo de velocidades de atropello, quedarían determinadas de las siguientes formas:

$$V_{V \text{ frontal alto}} = \sqrt{\frac{S}{0,084}}$$

$$V_{V \text{ frontal bajo}} = \sqrt{\frac{S}{0,065}}$$

$$V_{adultos} = \sqrt{\frac{S}{0,070}}$$

$$V_{niños} = \sqrt{\frac{S}{0,088}}$$

Donde:  $V$  = velocidad del vehículo (m/s)

$S$  = distancia desde el punto de impacto a la posición final del peatón (m).

Los resultados que se obtienen son bastante ajustados para peatones niños, pero sobreestiman la velocidad en caso de atropellos a peatones adultos en cinemáticas con volteo sobre el vehículo [Luque y Álvarez, 2007].

Para obtener distancias de proyección con los modelos de cálculo propuestos para el presente trabajo, se va a tener en cuenta únicamente la siguiente variable que se tomará como referencia para despejar en la formulación propuesta la distancia resultante:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

Velocidad/ Tipo	Frontal alto	Frontal bajo	Adultos	Niños
20 km/h	2,60 m	2,01 m	2,16 m	2,72 m
35 km/h	7,94 m	6,14 m	6,62 m	8,32 m
50 km/h	16,21 m	12,54 m	13,51 m	16,98 m
65 km/h	27,39 m	21,19 m	22,82 m	28,69 m
80 km/h	41,49 m	32,10 m	34,57 m	43,46 m

Tabla núm. 5-23. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando los modelos de Appel.

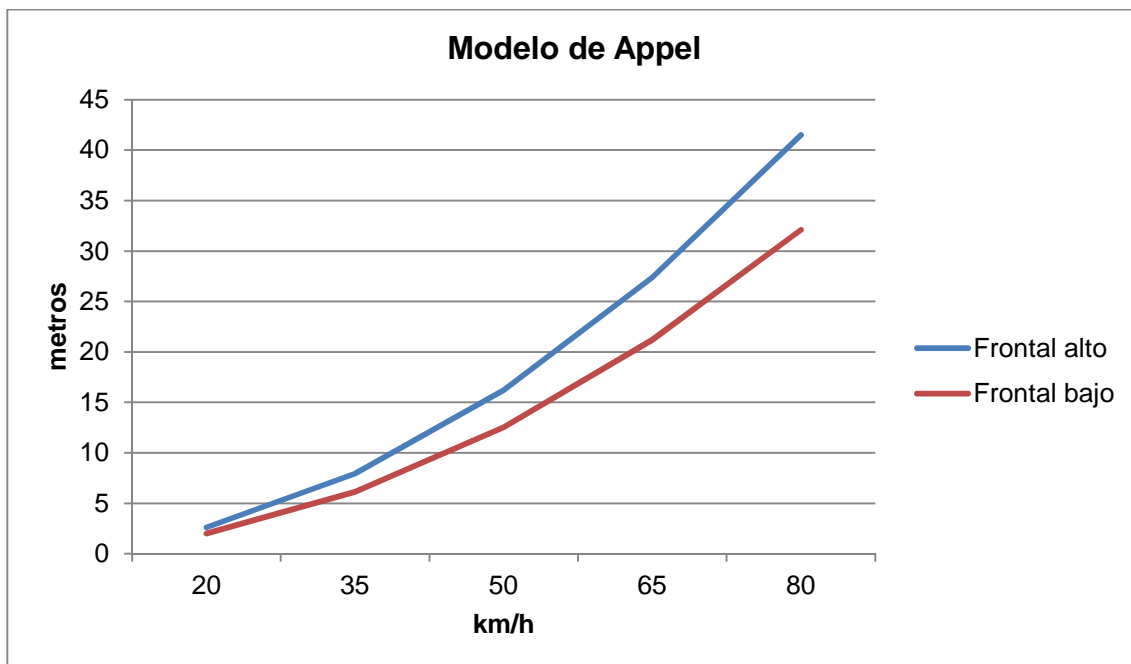


Figura núm. 5-31. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello para distintos tipos de frontal del vehículo utilizando el modelo de Appel.

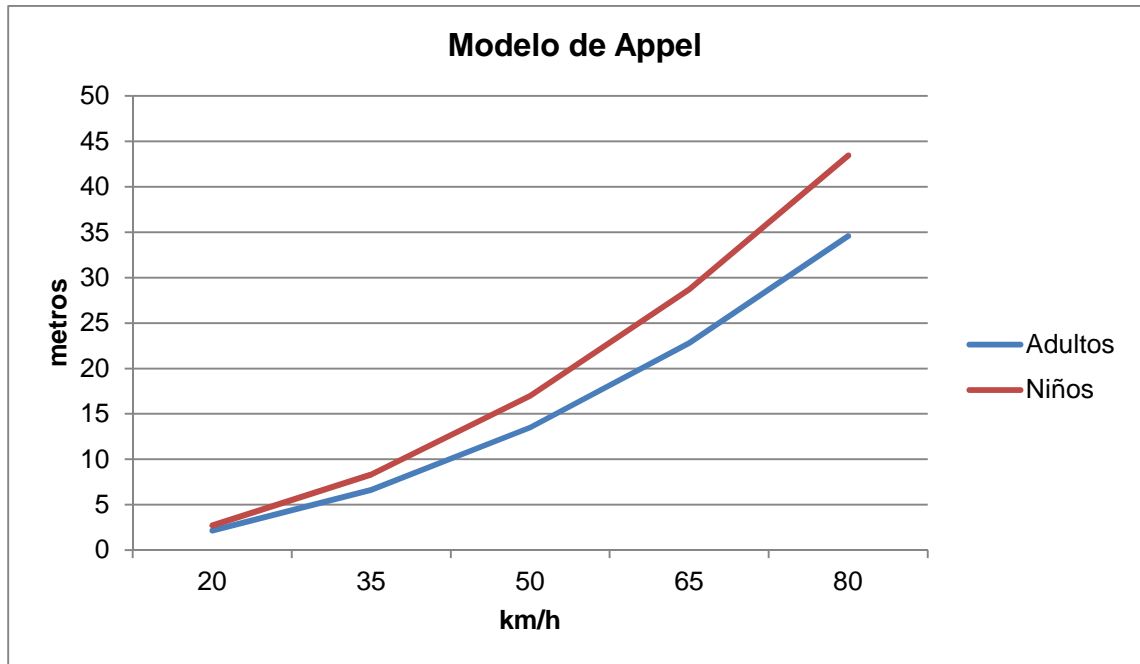


Figura núm. 5-32. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello para distintos tipos de peatón utilizando el modelo de Appel.

Como se observa en los gráficos, la distancia de proyección obtenida sigue aumentando con la velocidad de atropello, si bien, a igualdad de velocidad de atropello los peatones atropellados con vehículos cuya geometría de frontal es elevada son lanzados a mayor distancia que los que son atropellados por vehículos con frontales bajos. De igual manera y en las mismas circunstancias, los peatones niños son lanzados a mayor distancia que los peatones adultos.

### 5.2.2. MODELO DE STURTZ

En 1976 en Alemania, un equipo interdisciplinar dirigido por el profesor Sturtz [Sturtz et al., 1976] realizó un estudio sobre 230 accidentes por atropello, en el que se incluían 128 donde se encontraban implicados niños, la mayor parte de ellos ocurridos en las ciudades de Hannover y Berlín. El objetivo principal del estudio era analizar la cinemática ocurrida y sus variables, así como la producción de lesiones.

Como cuestión de especial importancia para la reconstrucción de accidentes, se analizó, tomando para ello una muestra reducida del estudio, la distancia de proyección desde el punto de atropello hasta que el peatón alcanzaba su posición final y las variables relativas a la velocidad de impacto, la altura del cuerpo y su posición en los impactos primario y secundario con el vehículo.

Como resultado de la cuestión anterior se obtuvieron una serie de regresiones que relacionaban la distancia de proyección con la velocidad de atropello, teniendo en cuenta la altura del peatón atropellado así como tres tipos de frontal del vehículo (frontal alto, frontal bajo y frontal tipo caja).

Los resultados de los datos de campo obtenidos, junto con las regresiones citadas y los resultados de un modelo matemático informático fueron comparados gráficamente como se muestra a continuación:

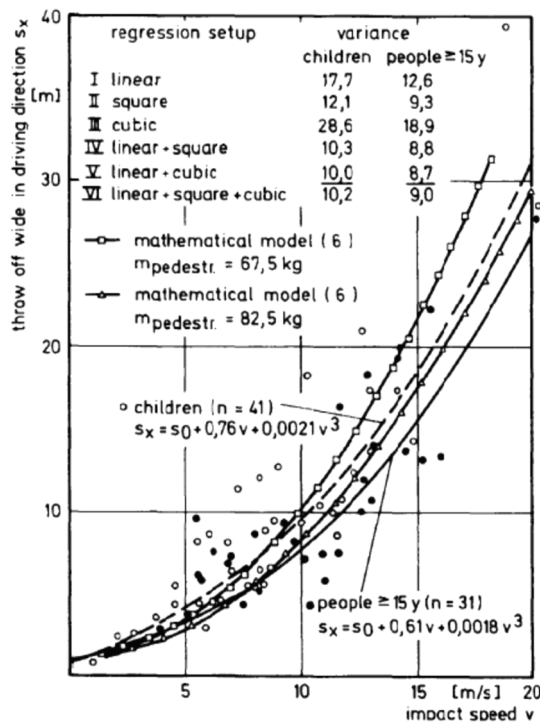


Figura núm. 5-33. Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección para vehículos de frontal alto y las regresiones matemáticas obtenidas. Fuente: Sturtz et al., 1976.

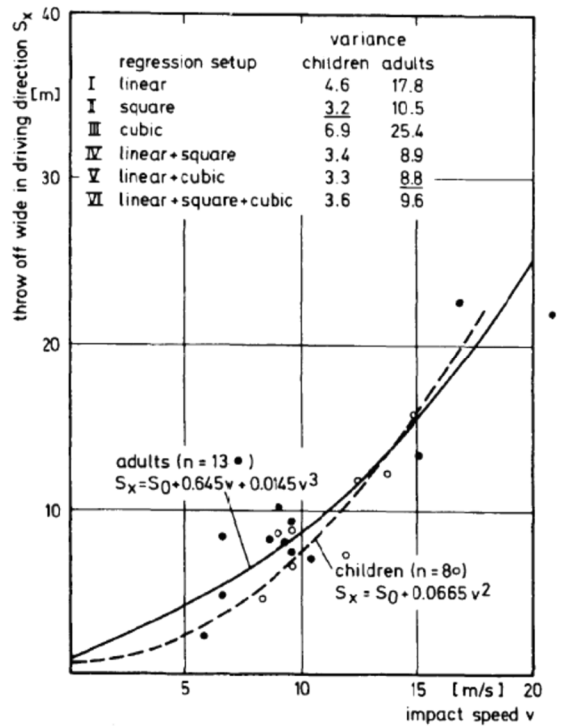


Figura núm. 5-34. Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección para vehículos de frontal bajo y las regresiones matemáticas obtenidas. Fuente: Sturtz et al., 1976.

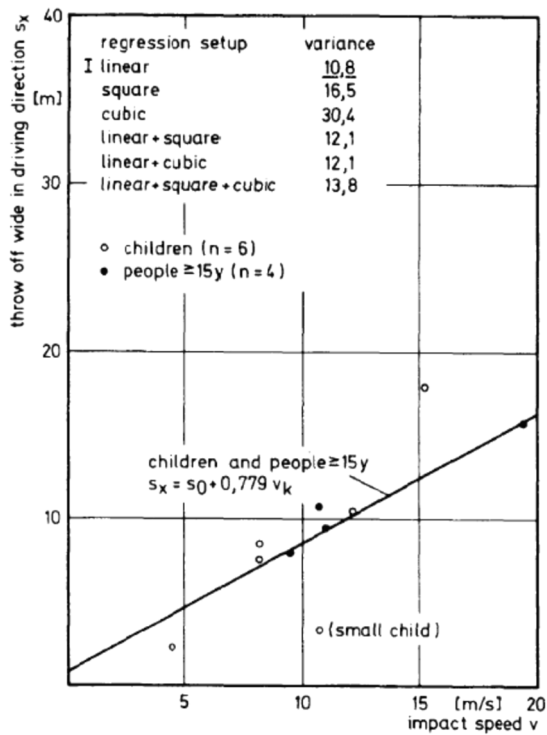


Figura núm. 5-35. Gráfico en el que se muestra la relación entre velocidad de atropello y distancia de proyección para vehículos de frontal tipo caja y la regresión matemática obtenida. Fuente: Sturtz et al., 1976.

Como se ha observado en las gráficas, la elección de la regresión adecuada para cada uno de los frontales y tipo de peatón ha venido determinada por el menor valor de varianza. En el caso de los vehículos de frontal alto esos valores se han dado tanto para adultos como para niños en la regresión lineal cúbica, mientras que para frontales bajos, en el caso de adultos, también se corresponde con dicha regresión y sin embargo, para niños, sería la regresión cuadrática la que ha resultado con menos varianza. En el caso de vehículos con frontal tipo caja, la regresión lineal es la que menos varianza ha tenido de todas las planteadas.

Las regresiones para el cálculo de distancias de proyección en función de las velocidades de atropello, quedarían establecidas de las siguientes formas:

a) Frontal alto.

- Niños  $S_x = s_0 + 0,76 v + 0,0021 v^3$

- Adultos  $S_x = s_0 + 0,61 v + 0,0018 v^3$

b) Frontal bajo.

- Niños  $S_x = s_0 + 0,0665 v^2$

- Adultos  $S_x = s_0 + 0,645 v + 0,0145 v^3$

c) Frontal tipo caja.

- Niños y adultos  $S_x = s_0 + 0,779 v$

Donde:  $S$  = distancia de proyección (m).

$s_0$  = altura del centro de gravedad del peatón (m).

$v$  = velocidad de atropello (m/s).

Para obtener las distancias de proyección en función de velocidades de atropello, se van a utilizar las regresiones mencionadas utilizando para ello las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Altura aproximada de los centros de gravedad de los peatones correspondientes a las tallas<sup>5</sup> 1,75 m y 1,00 m.

√ Vehículos a utilizar de tipo frontal alto, frontal bajo y frontal tipo caja.

Así, para cada uno de los frontales se obtendrán resultados en función de las alturas de los centros de gravedad de los peatones.

a) Frontal alto.

<b>Velocidad/ c.d.g</b>	<b>0,6</b>	<b>1</b>
<b>20 km/h</b>	5,17 m	4,69 m
<b>35 km/h</b>	9,91 m	8,58 m
<b>50 km/h</b>	16,76 m	14,28 m
<b>65 km/h</b>	26,66 m	22,59 m
<b>80 km/h</b>	40,52 m	34,30 m

Tabla núm. 5-24. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando las regresiones para vehículos de frontal alto utilizando el modelo de Sturtz.

<sup>5</sup> “Estudios Españoles de Crecimiento 2010” Carrascosa A., et al, 2010, tomando como referencia la altura recogida en dichos Estudios para valores medios entre varones y mujeres de las siguientes categorías: adultos y 3 años - 6 meses, siendo reducidos un 40 % para calcular aproximadamente la altura del centro de gravedad.

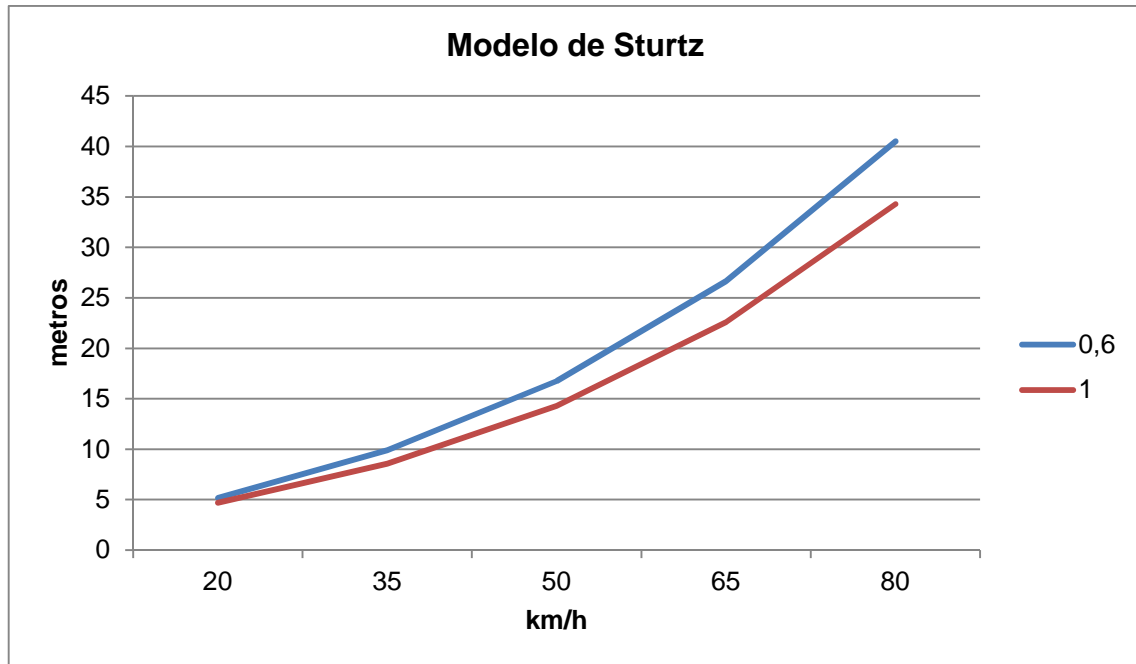


Figura núm. 5-36. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de velocidades de atropello para vehículos de frontal alto utilizando el modelo de Sturtz.

b) Frontal bajo.

Velocidad/ <i>c.d.g</i>	0,6	1
20 km/h	2,64 m	7,05 m
35 km/h	6,88 m	20,58 m
50 km/h	13,41 m	48,72 m
65 km/h	22,26 m	97,91 m
80 km/h	33,43 m	174,40 m

Tabla núm. 5-25. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando las regresiones para vehículos de frontal bajo utilizando el modelo de Sturtz.



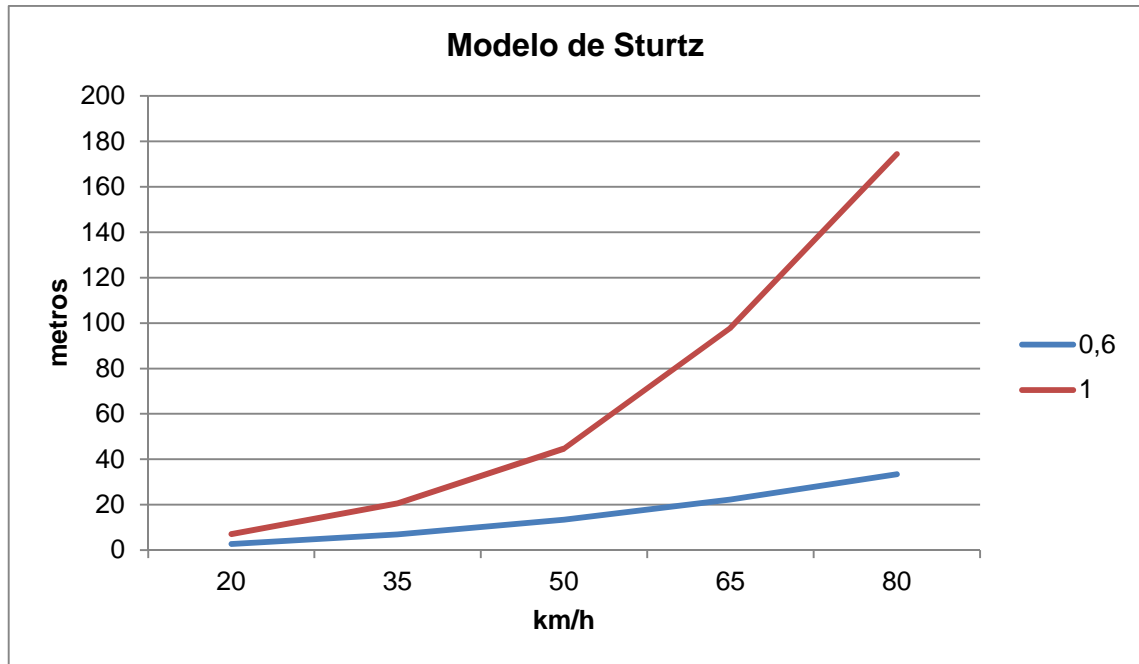


Figura núm. 5-37. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de velocidades de atropello para vehículos de frontal bajo utilizando el modelo de Sturtz.

c) Frontal tipo caja.

Velocidad/ <i>c.d.g</i>	0,6	1
20 km/h	4,92 m	5,32 m
35 km/h	8,17 m	8,57 m
50 km/h	11,41 m	11,81 m
65 km/h	14,66 m	15,06 m
80 km/h	17,90 m	18,30 m

Tabla núm. 5-26. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando la regresión para vehículos de frontal tipo caja utilizando el modelo de Sturtz.

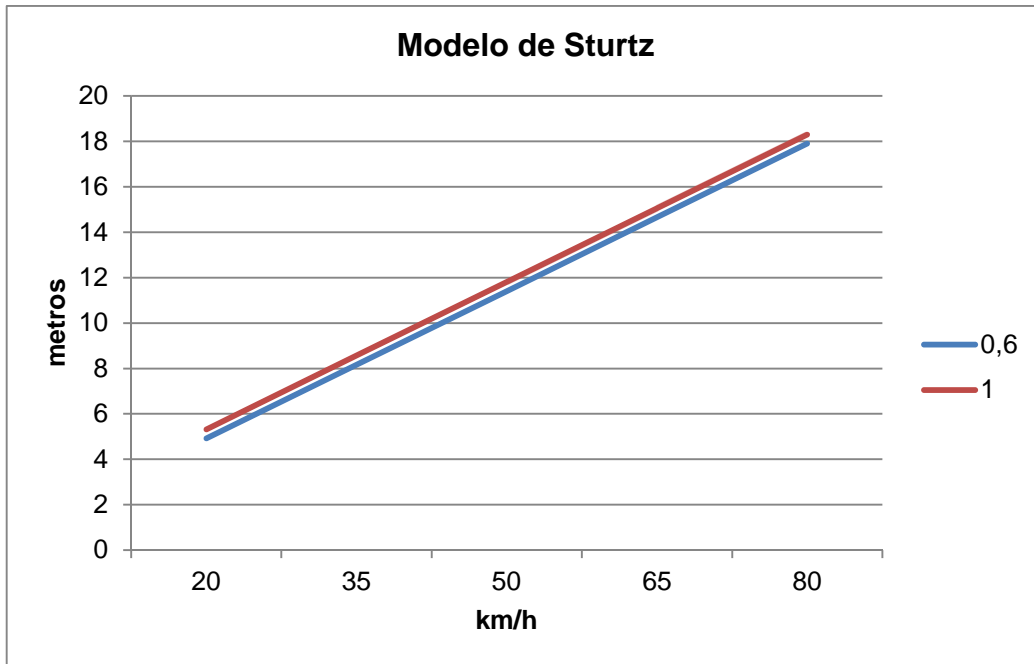


Figura núm. 5-38. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de velocidades de atropello para vehículos de frontal tipo caja utilizando el modelo de Sturtz.

En los gráficos se observa como la distancia de proyección obtenida aumenta con la velocidad de atropello.

Para atropellos en los que se encuentran implicados vehículos con frontal alto, los peatones niños son lanzados a mayor distancia que los adultos. En el caso de atropellos en los que se encuentran implicados vehículos de frontal bajo, existe claramente una sobreestimación de las distancias de proyección en el caso de los peatones adultos que evidencia que el modelo no está validado por la regresión propuesta. En accidentes donde se encuentran implicados vehículos cuyo frontal es del tipo caja, no existen prácticamente diferencias entre peatones adultos y niños en cuanto a la distancia de proyección, siendo ésta proporcional a la velocidad de atropello.

### 5.2.3. MODELO DE WOOD

En el trabajo de Wood [Wood et al, 2005], se presentan dos modelos de cálculo para trayectorias de peatones tipo “forward projection” y “wrap”. Estos modelos utilizan como novedad un segmento rígido como representación del peatón teniendo en cuenta el impacto y la fase de proyección. La distancia total de proyección del peatón será el eje principal del cálculo, habiendo sido validados mediante comparaciones de datos de accidentes reales.

En la trayectoria “forward projection” el modelo considera el movimiento del peatón durante tres fases: el impacto, la caída, y por último, el deslizamiento, rebote, etc., hasta llegar a la posición final.

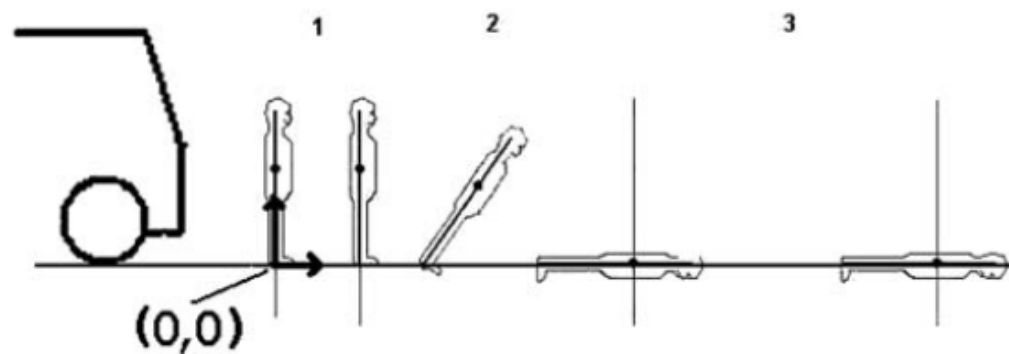


Figura núm. 5-39. Esquema de la trayectoria “forward projection” vista desde el sistema de origen. Fuente: Wood et al, 2005.

Con respecto a la trayectoria “wrap”, el movimiento del peatón es tenido en cuenta considerando el impacto, el deslizamiento sobre el capó y por último el deslizamiento, rebote, etc., hasta llegar a la posición final.

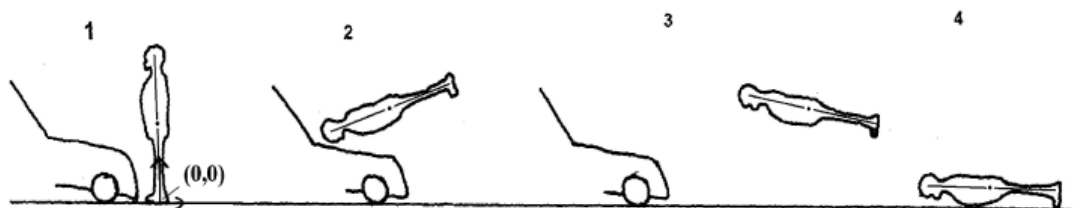


Figura núm. 5-40. Esquema de la trayectoria “wrap” vista desde el sistema de origen. Fuente: Wood et al, 2005.

El autor destaca dos aspectos en la validación de los modelos, por un lado, la exactitud de la velocidad media obtenida en su predicción, y por otro, el grado de dispersión de esa velocidad media alrededor de los datos reales.

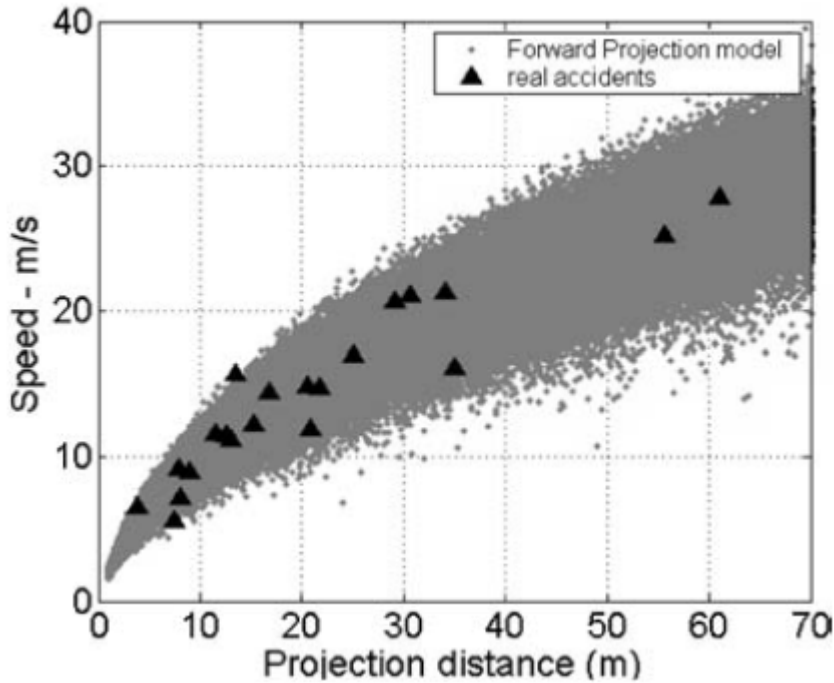


Figura núm. 5-41. Gráfico en el que se muestra la dispersión en la comparativa de datos de accidentes reales y la predicción según el modelo para la trayectoria "forward projection". Fuente: Wood et al, 2005.

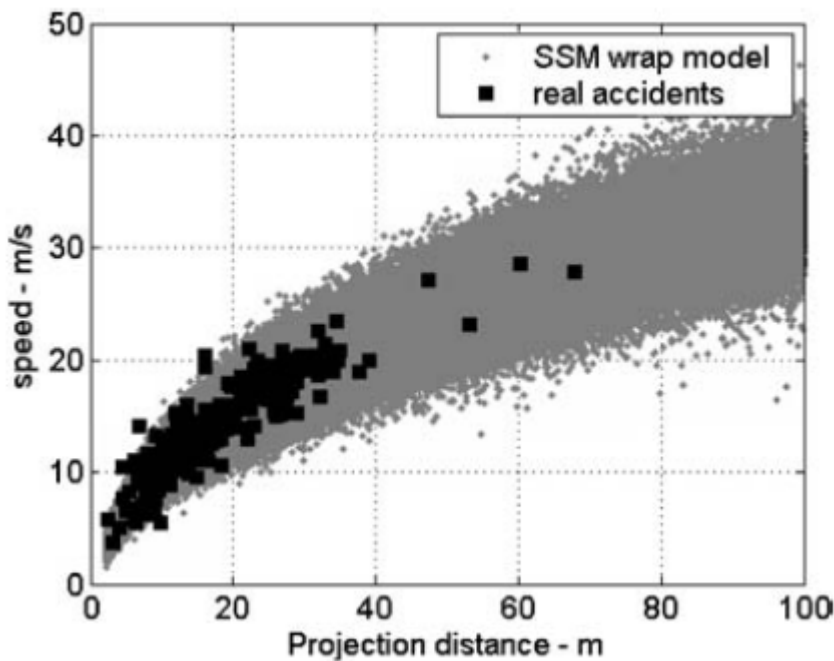


Figura núm. 5-42. Gráfico en el que se muestra la dispersión en la comparativa de datos de accidentes reales y la predicción según el modelo para la trayectoria "wrap". Fuente: Wood et al, 2005.

El modelo de cálculo para la trayectoria “forward projection”, se expresa de la siguiente manera:

$$V_{col} = A \sqrt{S} + B$$

Para la trayectoria “wrap”, el modelo de cálculo propuesto se expresa:

$$V_{col} = C x[S - S_0]^D$$

Donde:  $V_{col}$  = velocidad del vehículo (m/s)

$S$  = distancia desde el punto de impacto a la posición final del peatón (m).

$A, B, C, D, S_0$  = constantes.

Las variables constantes (para valores medios) expuestas en los dos modelos citados, se obtienen de la siguiente tabla:

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>S<sub>0</sub></b>	<b>C</b>	<b>D</b>
3,7	-1,5	1,6	4,0	0,47

En ambos modelos el autor describe un porcentaje del noventa y cinco por cien de fiabilidad en los niveles medios.

Para obtener distancias de proyección con los modelos de cálculo propuestos, se va a tener en cuenta la siguiente variable, que se tomará como referencia para despejar en la formulación propuesta la distancia resultante:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

Velocidad / trayectoria	Forward projection	Wrap
20 km/h	3,6 m	3,62 m
35 km/h	9,19 m	8,22 m
50 km/h	17,27 m	15,74 m
65 km/h	27,91 m	26,30 m
80 km/h	41,09 m	40,02 m

Tabla núm. 5-27. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Wood.

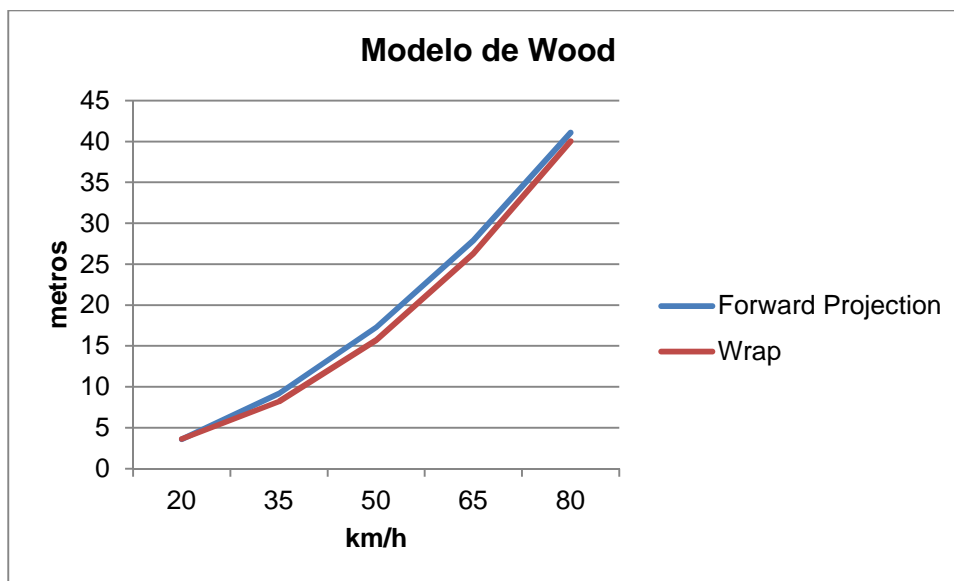


Figura núm. 5-43. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de la velocidad de atropello para distintos tipos de trayectoria utilizando el modelo de Wood.

Como se observa en el gráfico, la distancia de proyección obtenida aumenta con la velocidad de atropello, no existiendo una diferencia sustancial en el empleo de un modelo u otro.

## 5.3. MODELO A PARTIR DE LOS DESPERFECTOS EN EL VEHÍCULO

### 5.3.1. MODELO DE HAPPER

En el año 2000, un grupo de ingenieros de la empresa INTECH [Happer et al, 2000], presentaron un método integral para el cálculo de la velocidad de atropello de peatones.

Dentro de ese método, se hacía una referencia a la extensa información existente para poder determinar la velocidad de atropello de un peatón, en función de los desperfectos sufridos por el vehículo, y más concretamente, cuando las trayectorias post-atropello eran Wrap o Forward Projection.

En el caso que nos ocupa, la referencia se va a hacer a la primera de las trayectorias citadas (Wrap), tomando como indicador principal el segundo impacto, es decir, el impacto de la cabeza sobre el vehículo. En este tipo de trayectoria post-atropello, un impacto típico de la cabeza sería entre el capó y el marco superior del parabrisas; para vehículos de frontal bajo, el impacto de la cabeza se localizaría en la zona inferior del parabrisas a velocidades de impacto de 40 km/h aproximadamente.

En el caso de que la fuerza de impacto se encuentre a la misma altura que el centro de gravedad del peatón, la cabeza de éste golpearía con la parte inferior del parabrisas a velocidades de impacto de 60 km/h. A velocidades superiores, podría existir contacto del peatón con el techo; en caso de presentarse una deformación considerable de los paneles del techo, la velocidad de impacto sería superior a 70 km/h.

El lugar de impacto podría variar con respecto a la tabla que se presenta a continuación, en el caso de peatones con una altura mucho mayor o menor que la media normal (percentil 50 para peatones adultos), así como la mayor o menor longitud del capó del vehículo.

Approx. Vehicle Impact Speed	General Damage Summary
< 20 km/h	Surface cleaning marks.
25 km/h	Head contact near bottom edge of windshield when pedestrian C.G. ~60 cm above low-fronted vehicle's bumper assembly; otherwise, head contact near middle of hood for average-sized vehicle and pedestrian. Body contact on roof when pedestrian C.G. ~85 cm above low-fronted vehicle's bumper assembly.
25 to 40 km/h	Head contact near trailing portion of hood or cowl; slight body panel deformation.
40 km/h	Head contact near bottom edge of windshield for impacts significantly below (~50 cm) pedestrian's C.G. (i.e. typical braking low-fronted vehicle).
40 to 50 km/h	Clearly defined dents on body panels.
50 km/h	Head contact near bottom edge of windshield when pedestrian C.G. ~40 cm above low-fronted vehicle's bumper assembly. Body contact on roof when pedestrian C.G. ~60 cm above low-fronted vehicle's bumper assembly.
50 to 55 km/h	Head contact near middle of windshield for typical braking low-fronted vehicle.
60 km/h	Head contact near bottom edge of windshield when vehicle's upper leading edge near pedestrian's C.G.
> 60 km/h	More probable body to roof contact.
70 km/h	Head contact near upper frame of windshield; significant deformation of body panels.
80 km/h	Pelvic contact with roof; roof deformation (unbraked vehicle).

Figura núm. 5-44. Daños generales sufridos en el vehículo por impacto de peatón. Fuente: Happer et al, 2000.

Gráficamente, la relación entre el punto de impacto de la cabeza del peatón y la velocidad del vehículo se puede establecer según lo expuesto en el gráfico siguiente:

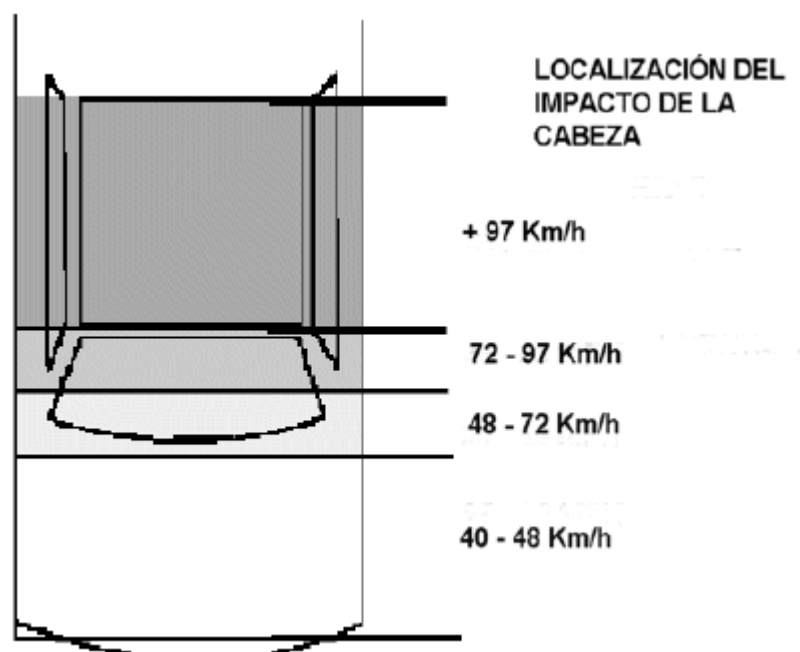


Figura núm. 5-45. Relación entre la altura de impacto de la cabeza del peatón y la velocidad de atropello del vehículo. Fuente: Campón, 2005.



Los resultados presentados en la tabla se pueden emplear para estimar un rango de velocidades de atropello, estando basados en atropellos con cadáveres humanos y dummies fundamentalmente. Dichas estimaciones son mucho más precisas hasta velocidades de 60 km/h, puesto que a velocidades superiores la información y resultados disponibles son mucho menores [Campón, 2005].



## **CAPÍTULO 6**

### **PROGRAMA VIRTUAL CRASH**



## CAPÍTULO 6. PROGRAMA VIRTUAL CRASH

### 6. INTRODUCCIÓN

En muchos accidentes en los que se encuentran implicados peatones, como hemos visto, los modelos matemáticos que se utilizan para calcular la velocidad de impacto del vehículo con el peatón están basados en la distancia de proyección del mismo con respecto al punto de atropello. Algunos de estos modelos se basan en test o análisis estadísticos en los que en muchas ocasiones no se tienen en cuenta datos como los contactos del peatón con el vehículo, el primer contacto del peatón con el suelo, etc.; además, al estar basados la mayoría de ellos en test realizados hace años, la geometría de los vehículos utilizados no refleja correctamente el diseño actual de los mismos. [Moser et al, 2000]

En la primera fase se ha realizado el estudio y análisis de diferentes modelos de cálculo físico-matemáticos existentes para estimar las velocidades en el momento del atropello a peatones. De esta manera, se han obtenido datos agrupados en tablas con valores relativos a la distancia de proyección que sería necesaria, utilizando dichos modelos, circulando los vehículos en el momento del atropello a distintas velocidades de impacto. Finalizada esa primera fase, comenzamos aquí la segunda de las fases.

Para ello, una vez obtenidos esos datos, se va a proceder a validar esos resultados con el programa informático Virtual Crash.

Dicho programa ha irrumpido con fuerza dentro del mundo de la simulación y reconstrucción de accidentes, poniéndose a la misma altura que otros programas de larga trayectoria y que prácticamente monopolizaban el mercado (PC-Crash, HVE, Reconstructor 98, ...). Su utilización será posible, tras ser adquirido el software correspondiente mediante un proyecto de licencia del programa Virtual Crash 2.2, en el que se han seleccionado para la realización de las simulaciones una serie de peatones y vehículos que se detallarán más adelante.

## 6.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA

Virtual Crash es un programa de nueva generación para la simulación de accidentes de tráfico, que se aprovecha de los últimos avances de hardware y software para realizar cálculos cada vez más complejos utilizando un PC, pudiéndose comprobar los resultados a través de gráficos y tablas, además de la visualización de las simulaciones en 3D.

Virtual Crash posee una base de datos que contiene multitud de vehículos (bicicletas, motocicletas, turismos, camiones, etc.), añadiendo además otros elementos ornamentales presentes en muchos accidentes (árboles, paredes, casas, etc.).

En cuanto a la utilización del programa en atropellos a peatones, la forma geométrica de los modelos juega un papel muy importante, ya que además de la variable de la velocidad de impacto del vehículo, la distancia de proyección del peatón, como ya se ha visto, depende también de la geometría del vehículo con el que es atropellado.

Los modelos de los vehículos utilizados son específicos, utilizando geometrías reales en 3D para sus cálculos, a diferencia de otros programas de simulación que utilizan las denominadas texturas para alcanzar solo un efecto visual.

Por lo que respecta a los peatones, utiliza el denominado multibody, construido como si fuera un peatón real, con un total de 14 partes interconectadas entre sí (cabeza, tronco, brazos, pelvis, piernas, etc.) y que puede adoptar diferentes velocidades y posiciones (andando, parado, tumbado, etc.). [Meleghe et al, 2007].

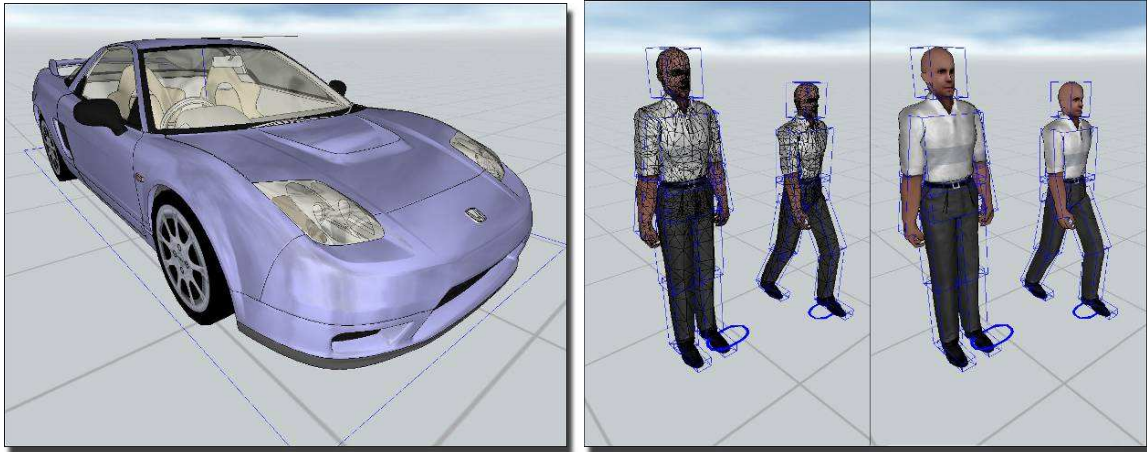


Figura núm. 6-1. Captura de imágenes de un turismo Honda NSX y un modelo de peatón. Fuente: Melegh, et al. 2007.

La exactitud y el funcionamiento apropiado de los modelos y algoritmos de cálculo que utiliza el programa, se evalúan con los llamados estudios de validación, mediante los cuales se comparan las similitudes de datos conocidos de accidentes con los que ofrece el programa.

Virtual Crash ha sido validado, por lo que respecta a atropellos a peatones, realizando simulaciones, tomando como datos de partida los obtenidos por DEKRA AG, en atropellos con distintos tipos de vehículos y a diferentes velocidades. [Melegh et al, 2007].

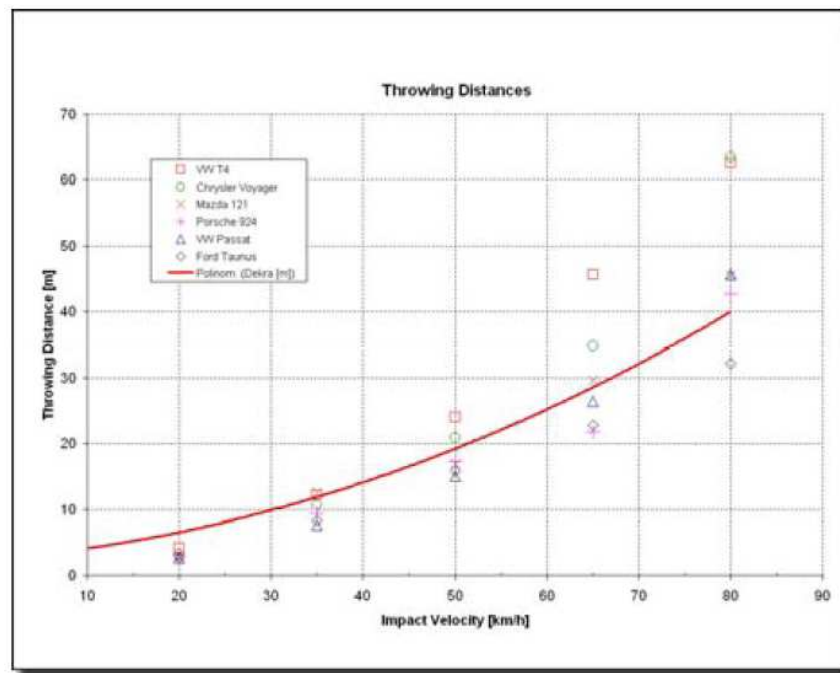


Figura núm. 6-2. Resultados obtenidos por DEKRA para diferentes tipos de atropellos. Fuente: Melegh, et al. 2007.

Además el Departamento de Ingeniería del Automóvil de la Universidad de Budapest, certifica la validación de los resultados obtenidos mediante el software Virtual Crash.

 <p>M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2</p> <p>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Budapest University of Technology and Economics</p>	 <p>Gépjárművek Tanszék Department of Automobile Engineering</p>
<h2 style="margin: 0;">IGAZOLÁS</h2> <p style="margin: 5px 0;">a Virtual CRASH járműszimulációs program számítási eredményeinek hitelességéről</p> <h2 style="margin: 0;">CERTIFICATE</h2> <p style="margin: 5px 0;">concerning the authenticity of the calculation result of the Virtual CRASH accident reconstruction software</p>	
<p>A program kereskedelmi megnevezése: <i>Trade name of the software:</i></p> <p>A program rendeltetése: <i>Function of the software:</i></p> <p>A fejlesztő neve és címe: <i>Manufacturer's name and address:</i></p> <p>A vizsgálatok elvégzésével megbízott intézmény: <i>Technical service conducting type approval tests:</i></p>	<p><b>Virtual CRASH 2.x</b></p> <p>Balesetrekonstruáció <i>Vehicle Accident Reconstruction</i></p> <p>VCRASH, s.r.o. SK - Nové Zámky 940 69, SNP 56/2.</p> <p>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépjárművek Tanszék Budapest University of Technology and Economics Department of Automobile Engineering</p>
<p>A programmal történő validációs vizsgálatok alapján megállapítom, hogy a Virtual CRASH program</p> <p style="text-align: center;"><b>a l k a l m a s</b></p> <p>balesetrekonstruációs számítási feladatok elvégzésére.</p> <p><i>Based on the result of the validation investigations I hereby state that the Virtual CRASH software is</i></p> <p style="text-align: center;"><b>a p p r o v e d</b></p> <p><i>for evaluating Vehicle Accident Reconstruction.</i></p>	
<p>Budapest, 2008. június 1.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>[Handwritten Signature]</i></p> <hr style="width: 100%;"/> <p>Tanszékvezető, Gépjárművek Tanszék Head of Department of Automobile Engineering</p>

Figura núm. 6-3. Certificado de validación del software Virtual Crash.



## **6.2. EMPLEO DEL PROGRAMA**

Disponiendo del proyecto de licencia para poder realizar el estudio, a continuación se va a detallar de forma somera, la descripción del programa, así como el método de trabajo, uso y resultados que se van a obtener del mismo, con el fin de comenzar la segunda fase de la hipótesis de trabajo planteada en esta tesis.

### **6.2.1. INTERFAZ**

La interfaz del programa está diseñada para acceder al mismo a través de ventanas, menús, base de datos y botones.

Existen una serie de barras de menús y de iconos en la parte superior y en el lado izquierdo, siendo el área de trabajo y visualización el que se encuentra en el lado derecho.

En la parte inferior izquierda del área de trabajo, se encuentran dos pestañas que permiten la visualización en 2D o 3D. En la parte derecha de la interfaz en caso de encontrarnos en la visualización 2D se nos muestra la escala de ésta y la de impresión; en caso de visualización 3D, la escala de la misma.

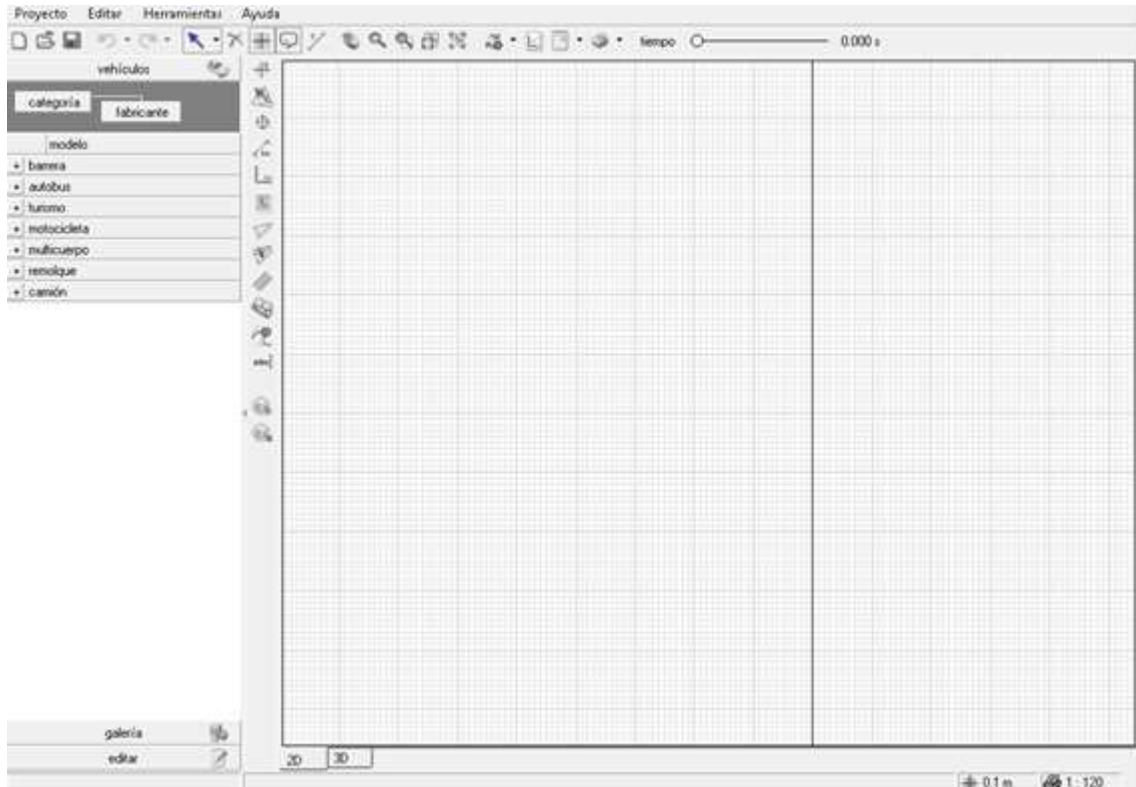


Figura núm. 6-4. Captura de la interfaz del programa Virtual Crash.

## 6.2.2. CONFIGURACIÓN DE MODELOS

### 6.2.2.1. VEHÍCULOS

Para la realización de las simulaciones se van a utilizar seis tipos de vehículos que se corresponderán en su geometría con los seis tipos de frontal más comunes en vehículos, tomando como clasificación la establecida en la Norma DIN 75204-1-1992 (Figura núm. 6-5). En dicha clasificación se tiene en cuenta la altura o ángulo a los que se encuentra el capó o el borde del vehículo del suelo, el ángulo del frontal o la posición del plano de contacto. Igualmente, se tendrá en cuenta la masa de los mismos al objeto de poder valorar, además de la geometría de su frontal, la influencia de sus masas. La importancia de estas variables viene determinada por su relación con la dinámica post-atropello del peatón y su distancia de proyección.









Wedge shape	Trapezoidal shape	Pontoon	Box shape	Bonnet height	Bonnet angle	Front angle
				$\leq 0.7\text{m}$	$\leq 20^\circ$	
						
					$\leq 20^\circ$	$\leq 70^\circ$
					$> 20^\circ$	$\leq 70^\circ$
				Ellipsoidal front Front vehicle edge R > 0.25m		
						$> 70^\circ$
				Box shape Upright contact plane		

Figura núm. 6-5. Clasificación de la geometría frontal de vehículos. Fuente: DIN 75204-1-1992.

Partiendo del menú que se encuentra en el lado izquierdo, donde se reflejan distintos tipos de vehículos o elementos viarios, se seleccionará el tipo (turismo, autobús, motocicleta). A partir de aquí se desplegarán por marcas, y dentro de éstas, por modelos.

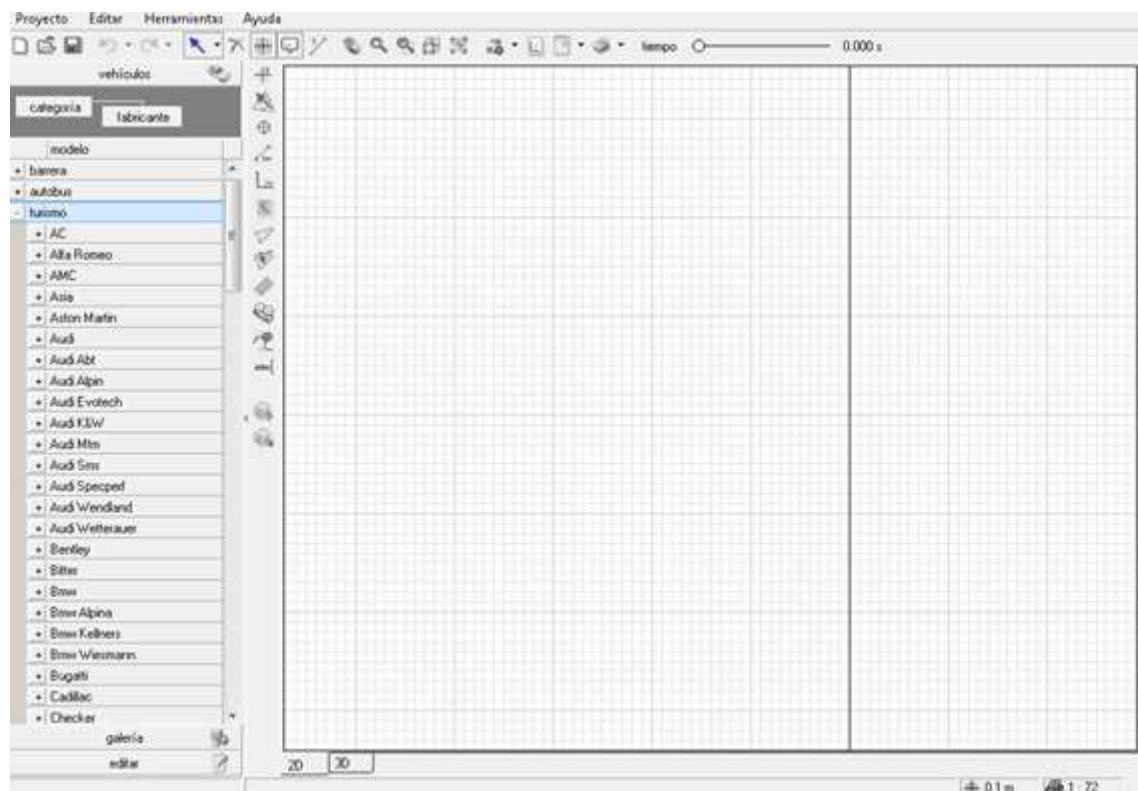


Figura núm. 6-6. Captura del programa Virtual Crash, con el menú de vehículos turismos desplegado.

Seleccionado el vehículo, el siguiente paso será arrastrar desde el menú hasta el área de trabajo, donde aparecerá el vehículo con sus características técnicas y geométricas principales.

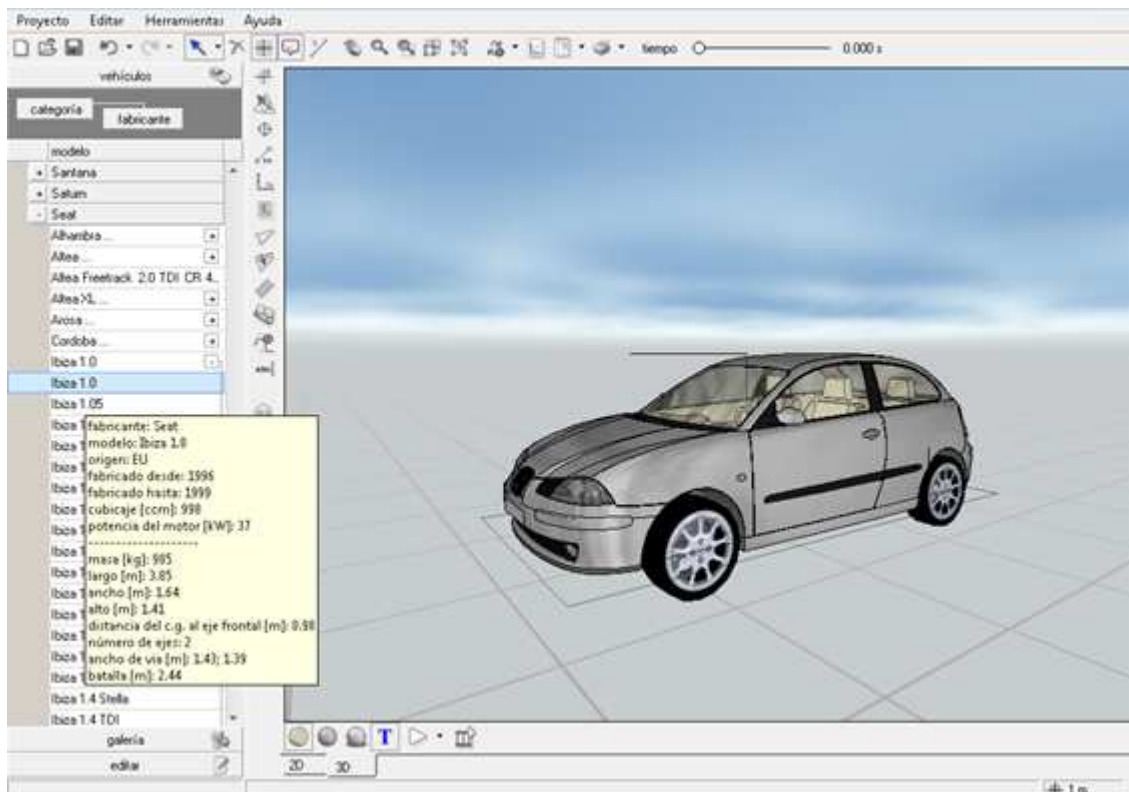


Figura núm. 6-7. Captura del programa Virtual Crash, apareciendo en el área de trabajo el vehículo una vez seleccionado.

Los seis tipos de vehículos seleccionados para realizar las simulaciones y cuya geometría se corresponde con cada una de las seis geometrías de la Figura número 6-5 son los que a continuación se exponen (al lado de la imagen de cada vehículo figuran sus características geométricas y técnicas):

### √ Porsche 911 Carrera (Wedge shape)

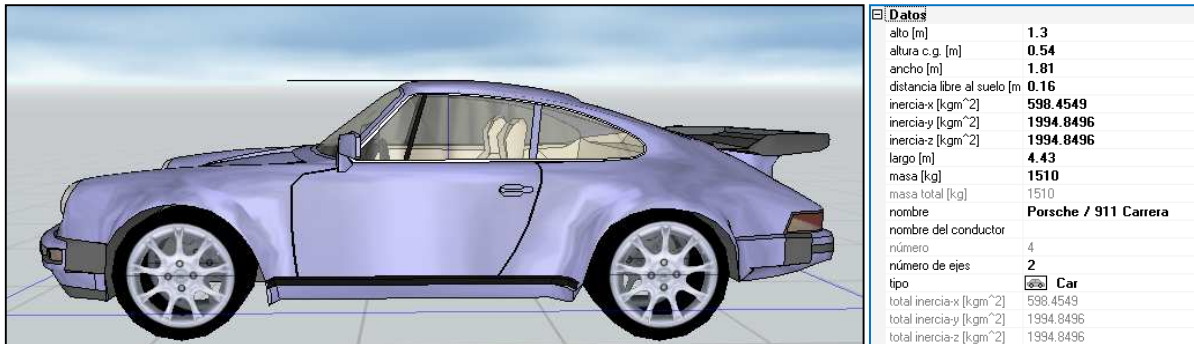


Figura núm. 6-8. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Porsche Carrera 911.

### √ Mercedes Benz CL5 350 (Trapezoidal shape-shallow bonnet)

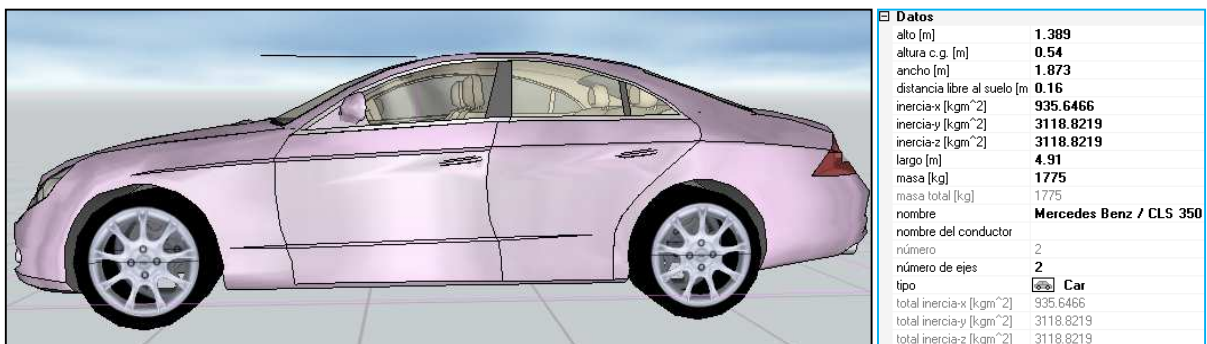


Figura núm. 6-9. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Mercedes Benz CL5 350.

### √ Renault Scenic 1.9 dCi (Trapezoidal shape-steep bonnet)

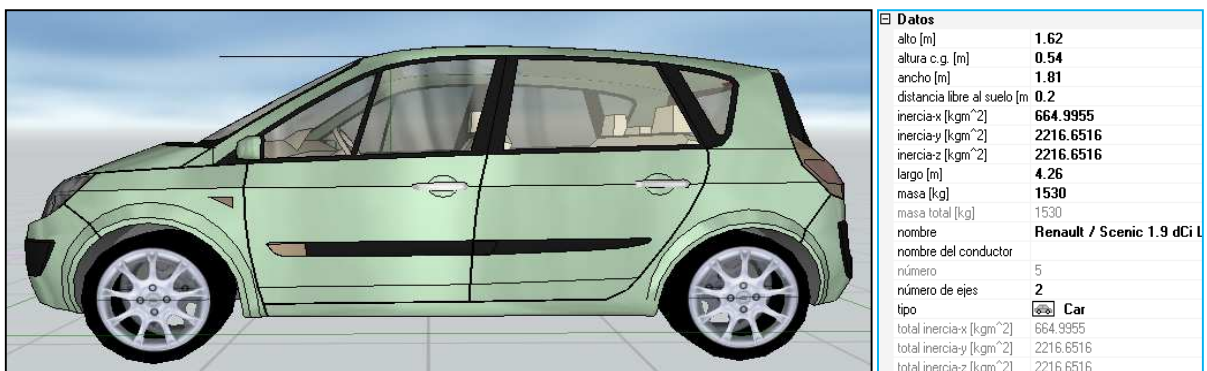


Figura núm. 6-10. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Renault Scenic 1.9 dCi.

### ✓ Seat Ibiza 1.0 (Trapezoidal shape-ellipsoidal front)

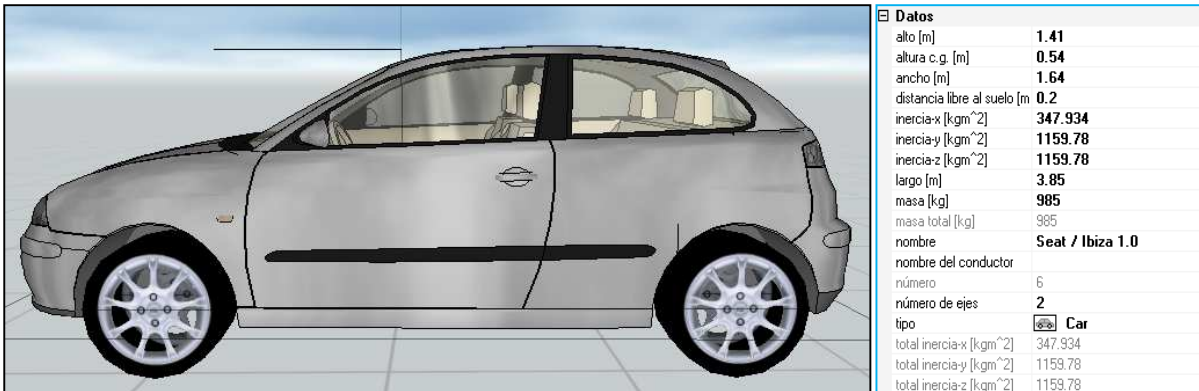


Figura núm. 6-11. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Seat Ibiza 1.0.

### ✓ Volvo 460 1.8 (Pontoon shape)

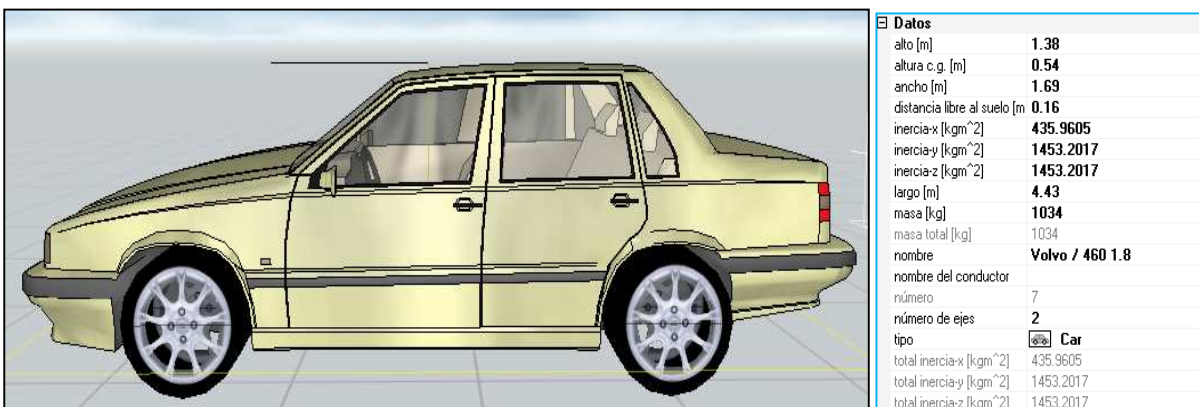


Figura núm. 6-12. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Volvo 460 1.8.

### ✓ Volkswagen LT 28 2.3 (Box shape)



Figura núm. 6-13. Captura del programa Virtual Crash donde se observa la imagen y datos del vehículo Volkswagen LT 28 2.3.

### 6.2.2.2. MULTIBODIES (PEATONES)

Con respecto a los multibodies a utilizar, se va intentar abarcar el mayor abanico posible de posibilidades. Para ello, los datos de referencia serán la altura y masa; estos datos se extraerán de los “Estudios Españoles de Crecimiento 2010” ya citados y utilizados en este trabajo.

De las tablas incluidas en dichos Estudios, más concretamente del Estudio Transversal de Crecimiento, tanto de varones como de mujeres, donde se reflejan datos relativos a talla y peso desde el nacimiento hasta la edad adulta, se extraerán los datos de los valores medios para poder modelar los multibodies a utilizar con el programa Virtual Crash.

Analizadas las tablas, se observa que no existen diferencias significativas en esos valores medios entre ambos sexos. Dicho esto, para la modelización de los multibodies se recogerán datos de varones y mujeres de las siguientes edades:

√ Varones: 6 años, edad adulta.

√ Mujeres: 3 años y medio, 10 años, edad adulta.

## Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010

### Varones

Valores de talla (cm)  
expresados como Media y  
Desviación Estándar (DE)



Valores de peso (kg)  
expresados como Media y  
Desviación Estándar (DE)

▶ Talla (cm)			
Edad en años	Nº	Media	DE
0,00	2974	50,02	1,82
0,25	233	61,06	3,05
0,50	214	67,57	2,62
0,75	213	72,61	2,43
1,00	169	75,88	2,81
1,25	166	79,66	2,80
1,50	149	82,64	3,13
1,75	153	85,61	3,00
2,00	182	88,21	2,83
2,50	263	92,29	3,10
3,00	545	97,16	3,30
3,50	588	100,14	3,58
4,00	598	103,86	4,10
4,50	564	106,86	4,16
5,00	497	110,24	4,46
5,50	501	113,77	4,42
6,00	454	116,83	4,96
6,50	446	120,51	5,06
7,00	448	123,55	5,42
7,50	445	126,36	5,76
8,00	418	129,24	5,29
8,50	477	132,79	5,77
9,00	466	134,67	5,66
9,50	491	137,82	6,12
10,00	488	139,64	6,09
10,50	519	142,43	6,80
11,00	493	145,42	6,03
11,50	456	147,79	6,81
12,00	455	151,39	7,32
12,50	394	154,68	7,24
13,00	410	157,52	7,84
13,50	404	160,91	7,88
14,00	359	164,45	8,40
14,50	349	166,59	7,37
15,00	391	169,67	7,55
15,50	64	171,59	7,07
16,00	324	172,20	7,01
17,00	706	174,90	7,15
18,00	658	176,21	6,06
Adultos	1551	177,45	6,40

▶ Peso (Kg)			
Edad en años	Nº	Media	DE
0,00	2974	3,31	0,43
0,25	233	6,25	0,90
0,50	215	8,10	1,09
0,75	213	9,32	1,13
1,00	169	10,37	1,12
1,25	167	11,22	1,40
1,50	149	12,08	1,45
1,75	153	12,59	1,34
2,00	183	12,89	1,42
2,50	263	14,14	1,60
3,00	545	15,37	2,00
3,50	588	16,14	2,55
4,00	598	17,34	2,57
4,50	564	18,37	2,79
5,00	497	19,38	3,30
5,50	502	20,94	3,52
6,00	454	22,15	3,72
6,50	448	23,85	4,40
7,00	448	25,38	4,83
7,50	446	26,90	5,32
8,00	418	28,35	5,18
8,50	478	31,48	7,21
9,00	466	32,84	7,03
9,50	491	35,18	7,65
10,00	488	36,17	8,06
10,50	519	38,26	9,14
11,00	493	41,05	9,38
11,50	456	42,77	9,67
12,00	455	45,53	10,42
12,50	394	48,77	10,65
13,00	411	50,15	10,90
13,50	406	53,78	10,99
14,00	359	57,73	12,28
14,50	349	58,84	11,86
15,00	392	61,78	11,95
15,50	364	63,96	11,32
16,00	324	65,25	12,23
17,00	706	68,54	11,74
18,00	658	70,34	11,27
Adultos	1551	74,59	11,32

Figura núm. 6-14. Tabla del Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010 para varones desde el nacimiento hasta la edad adulta.



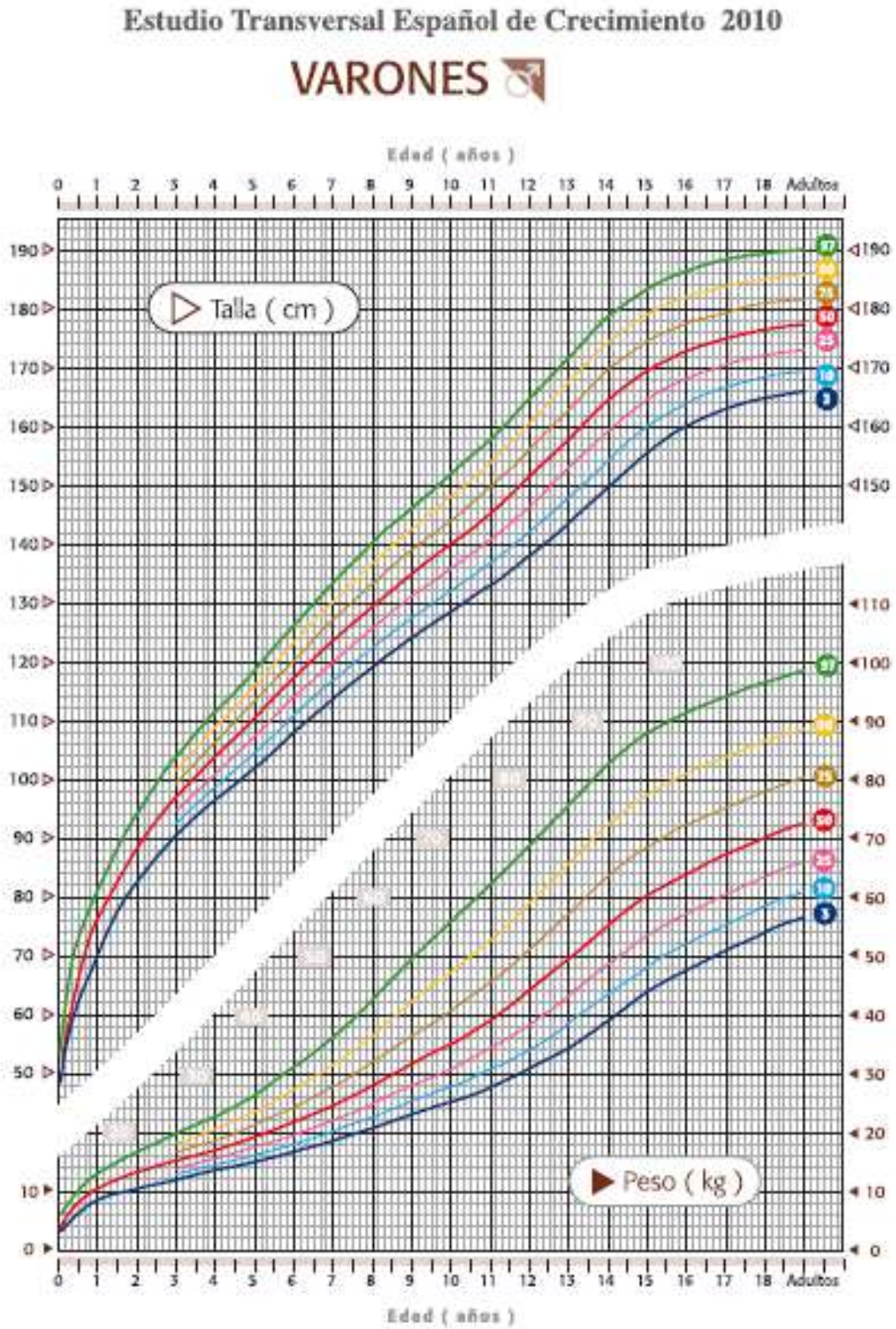


Figura núm. 6-15. Gráfico del Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010 para varones desde el nacimiento hasta la edad adulta.

▶ Talla (cm)				▶ Peso (Kg)			
Edad en años	Nº	Media	DE	Edad en años	Nº	Media	DE
5,00	497	110,24	4,46	5,00	497	19,38	3,30
5,50	501	113,77	4,42	5,50	502	20,94	3,52
6,00	454	116,83	4,96	6,00	454	22,15	3,72
6,50	446	120,51	5,06	6,50	448	23,85	4,40
7,00	448	123,55	5,42	7,00	448	25,38	4,83
7,50	445	126,36	5,76	7,50	446	26,90	5,32
8,00	418	129,24	5,29	8,00	418	28,35	5,18
8,50	477	132,79	5,77	8,50	478	31,48	7,21
9,00	466	134,67	5,66	9,00	466	32,84	7,03
9,50	491	137,82	6,12	9,50	491	35,18	7,65
10,00	488	139,64	6,09	10,00	488	36,17	8,06
10,50	519	142,43	6,80	10,50	519	38,26	9,14
11,00	493	145,42	6,03	11,00	493	41,05	9,38
11,50	456	147,79	6,81	11,50	456	42,77	9,67
12,00	455	151,39	7,32	12,00	455	45,53	10,42
12,50	394	154,68	7,24	12,50	394	48,77	10,65
13,00	410	157,52	7,84	13,00	411	50,15	10,90
13,50	404	160,91	7,88	13,50	406	53,78	10,99
14,00	359	164,45	8,40	14,00	359	57,73	12,28
14,50	349	166,59	7,37	14,50	349	58,84	11,86
15,00	391	169,67	7,55	15,00	392	61,78	11,95
15,50	64	171,59	7,07	15,50	364	63,96	11,32
16,00	324	172,20	7,01	16,00	324	65,25	12,23
17,00	706	174,90	7,15	17,00	706	68,54	11,74
18,00	658	176,21	6,06	18,00	658	70,34	11,27
Adultos	1551	177,45	6,40	Adultos	1551	74,59	11,32

Figura núm. 6-16. Datos que se van a utilizar para la modelización de los multibodies varones.

## Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010

### Mujeres

Valores de talla (cm)  
expresados como Media y  
Desviación Estándar (DE)



Valores de peso (kg)  
expresados como Media y  
Desviación Estándar (DE)

▶ Talla (cm)			
Edad en años	Nº	Media	DE
0,00	2822	49,43	1,73
0,25	233	59,06	2,81
0,50	205	65,60	2,65
0,75	186	70,26	2,75
1,00	175	74,27	2,47
1,25	138	77,57	2,67
1,50	125	80,91	2,85
1,75	106	83,93	3,08
2,00	114	86,73	2,96
2,50	193	91,11	3,55
3,00	494	95,58	3,75
3,50	499	98,96	3,83
4,00	537	103,07	4,10
4,50	464	106,24	4,01
5,00	534	109,94	4,49
5,50	478	113,08	4,54
6,00	460	116,47	4,57
6,50	427	119,47	4,98
7,00	505	122,30	4,59
7,50	477	125,59	5,00
8,00	521	128,34	5,11
8,50	420	130,99	5,59
9,00	462	134,15	5,92
9,50	428	136,84	6,13
10,00	436	139,33	6,40
10,50	458	143,45	6,70
11,00	484	146,21	6,77
11,50	403	149,48	6,58
12,00	422	151,76	6,52
12,50	352	154,96	6,67
13,00	352	156,96	6,09
13,50	328	159,02	6,30
14,00	289	160,66	6,70
14,50	315	161,10	6,30
15,00	330	162,35	6,69
15,50	299	162,28	6,46
16,00	307	163,64	6,97
17,00	595	163,11	6,37
18,00	494	163,98	6,52
Adultas	1619	164,10	5,97

▶ Peso (Kg)			
Edad en años	Nº	Media	DE
0,00	2822	3,18	0,41
0,25	233	5,64	0,80
0,50	205	7,40	0,92
0,75	186	8,71	1,15
1,00	175	9,73	1,08
1,25	138	10,32	1,14
1,50	126	11,12	1,29
1,75	106	11,82	1,31
2,00	115	12,49	1,40
2,50	195	13,62	1,53
3,00	496	14,50	1,69
3,50	499	15,52	2,22
4,00	537	16,65	2,34
4,50	464	17,95	2,57
5,00	534	19,08	2,95
5,50	478	20,35	3,72
6,00	460	21,76	3,75
6,50	429	23,46	4,14
7,00	505	24,56	4,49
7,50	479	26,84	5,08
8,00	521	28,38	5,79
8,50	421	30,30	6,45
9,00	462	32,19	7,41
9,50	428	34,05	7,48
10,00	436	35,93	8,31
10,50	458	38,62	8,65
11,00	484	41,76	9,58
11,50	403	43,38	8,85
12,00	422	45,20	9,73
12,50	352	48,37	11,38
13,00	352	50,85	11,03
13,50	328	52,81	10,86
14,00	289	53,68	10,07
14,50	315	55,03	10,46
15,00	330	55,96	10,95
15,50	299	56,45	9,53
16,00	307	57,96	10,76
17,00	595	57,55	9,46
18,00	494	58,27	10,02
Adultas	1619	57,58	8,35

Figura núm. 6-17. Tabla del Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010 para mujeres desde el nacimiento hasta la edad adulta.

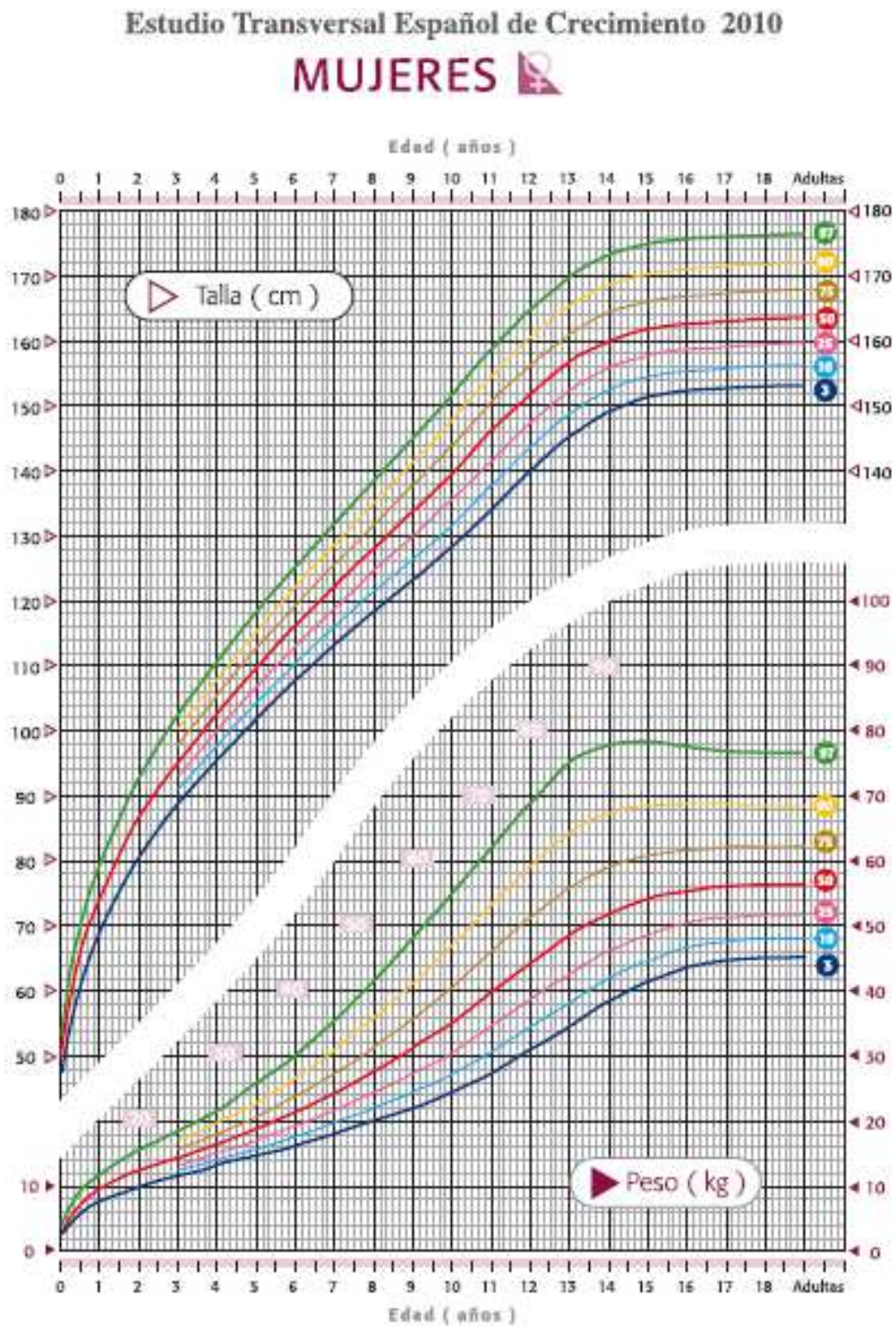


Figura núm. 6-18. Gráfico del Estudio Transversal Español de Crecimiento 2010 para mujeres desde el nacimiento hasta la edad adulta.

▶ Talla (cm)				▶ Peso (Kg)			
Edad en años	N°	Media	DE	Edad en años	N°	Media	DE
3,50	499	98,96	3,83	3,50	499	15,52	2,22
4,00	537	103,07	4,10	4,00	537	16,65	2,34
4,50	464	106,24	4,01	4,50	464	17,95	2,57
5,00	534	109,94	4,49	5,00	534	19,08	2,95
5,50	478	113,08	4,54	5,50	478	20,35	3,72
6,00	460	116,47	4,57	6,00	460	21,76	3,75
6,50	427	119,47	4,98	6,50	429	23,46	4,14
7,00	505	122,30	4,59	7,00	505	24,56	4,49
7,50	477	125,59	5,00	7,50	479	26,84	5,08
8,00	521	128,34	5,11	8,00	521	28,38	5,79
8,50	420	130,99	5,59	8,50	421	30,30	6,45
9,00	462	134,15	5,92	9,00	462	32,19	7,41
9,50	428	136,84	6,13	9,50	428	34,05	7,48
10,00	436	139,33	6,40	10,00	436	35,93	8,31
10,50	458	143,45	6,70	10,50	458	38,62	8,65
11,00	484	146,21	6,77	11,00	484	41,76	9,58
11,50	403	149,48	6,58	11,50	403	43,38	8,85
12,00	422	151,76	6,52	12,00	422	45,20	9,73
12,50	352	154,96	6,67	12,50	352	48,37	11,38
13,00	352	156,96	6,09	13,00	352	50,85	11,03
13,50	328	159,02	6,30	13,50	328	52,81	10,86
14,00	289	160,66	6,70	14,00	289	53,68	10,07
14,50	315	161,10	6,30	14,50	315	55,03	10,46
15,00	330	162,35	6,69	15,00	330	55,96	10,95
15,50	299	162,28	6,46	15,50	299	56,45	9,53
16,00	307	163,64	6,97	16,00	307	57,96	10,76
17,00	595	163,11	6,37	17,00	595	57,55	9,46
18,00	494	163,98	6,52	18,00	494	58,27	10,02
Adultas	1619	164,10	5,97	Adultas	1619	57,58	8,35

Figura núm. 6-19. Datos que se van a utilizar para la modelización de los multibodies mujeres.

A la hora de modelizar los multibodies para su utilización como peatones en el programa, se partirá, igual que para la selección del vehículo, del menú localizado en el lado izquierdo de la interfaz seleccionando multicuerpo.

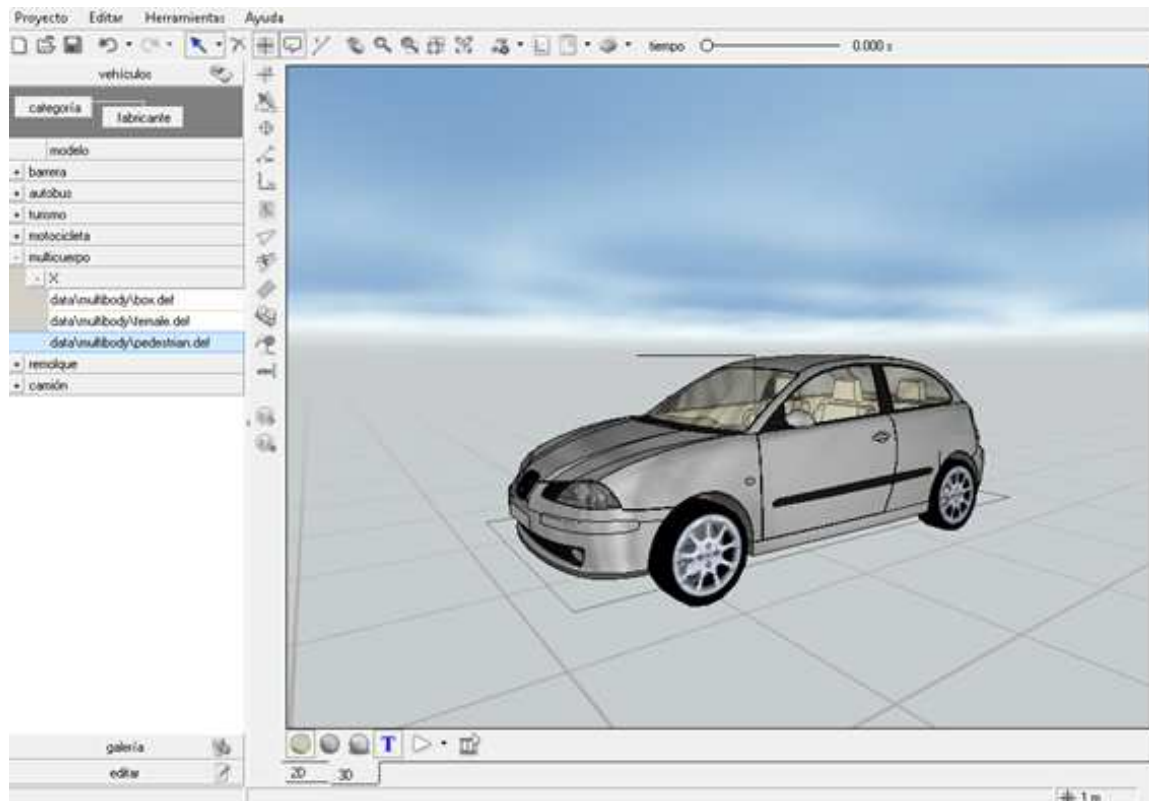


Figura núm. 6-20. Captura del programa Virtual Crash, con el menú de multicuerpos desplegado.

A continuación se seleccionará el modelo de pedestrian (peatón), arrastrándolo hasta el área de trabajo, donde aparecerá el peatón con sus características por defecto.

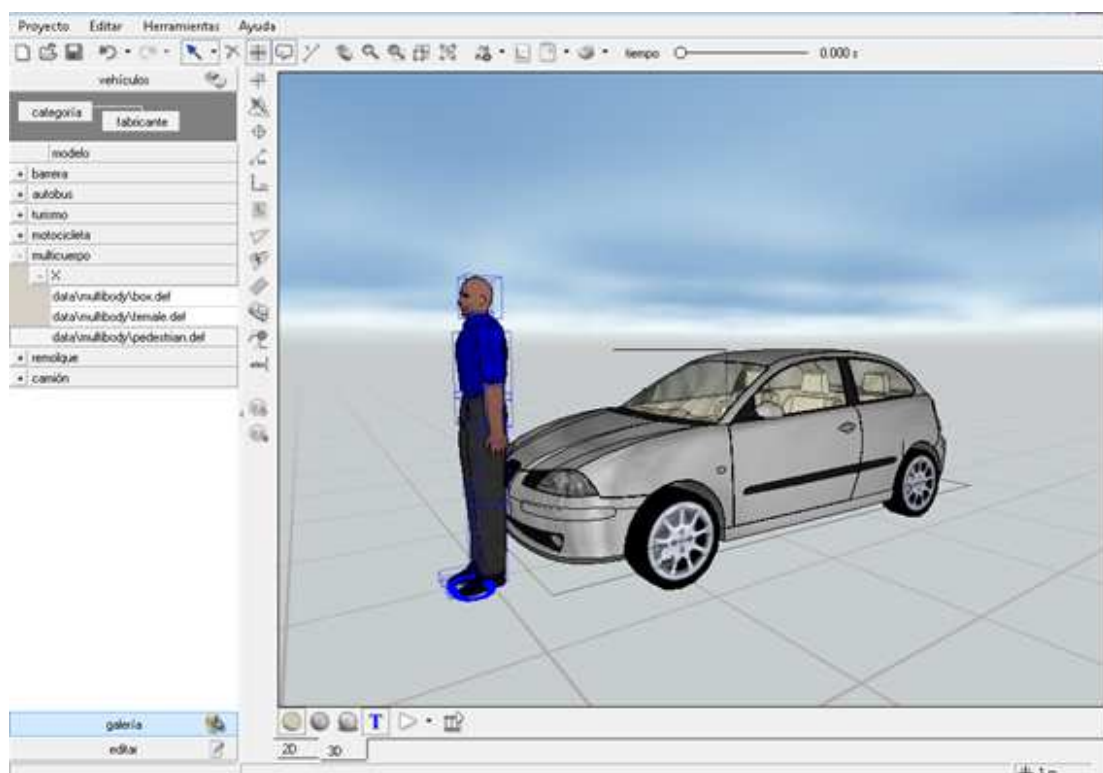


Figura núm. 6-21. Captura del programa Virtual Crash, con el multicuerpo seleccionado en el área de trabajo.

Seguidamente se editarán esas características para poder ser modificadas según las tablas anteriores y poder modelar los peatones en función de su edad en cuanto a talla y peso.

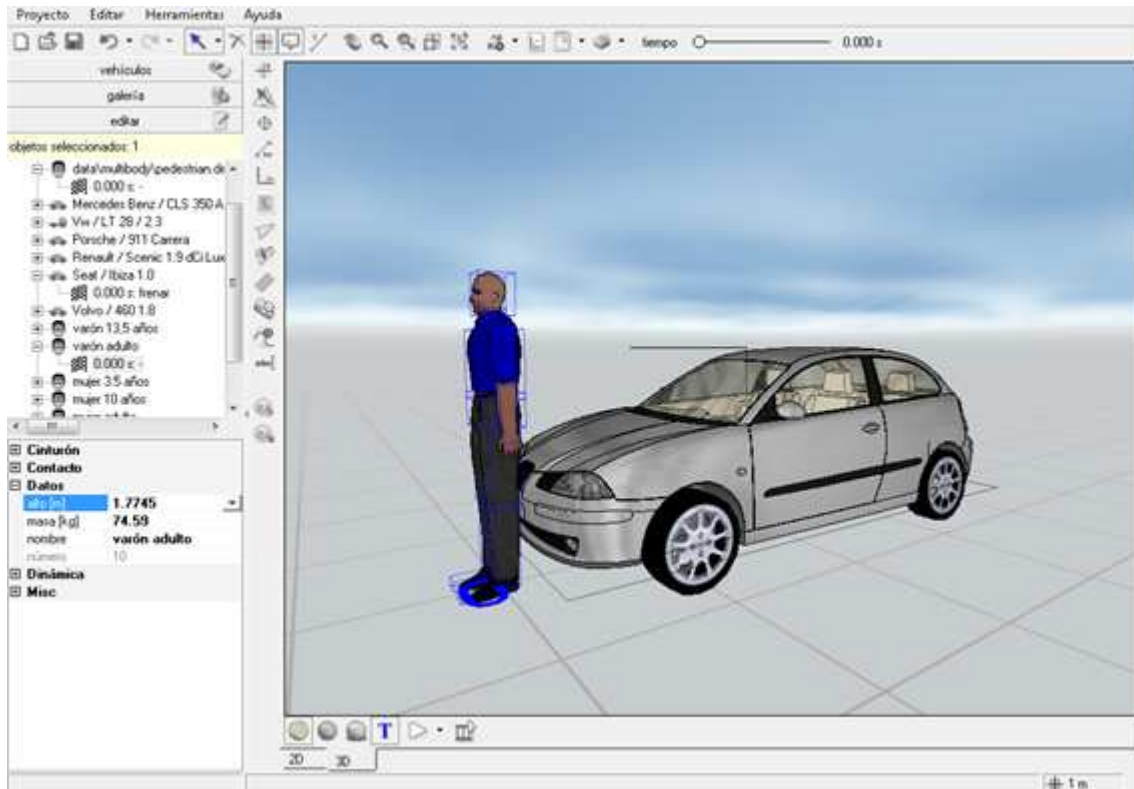


Figura núm. 6-22. Captura del programa Virtual Crash, con el multicuerpo seleccionado en el área de trabajo y la ventana de características desplegada para ser éstas modificadas.

Se exponen los multibodies que se usarán como peatones, una vez configurados con el programa Virtual Crash, en base a los datos expuestos en las tablas anteriores.



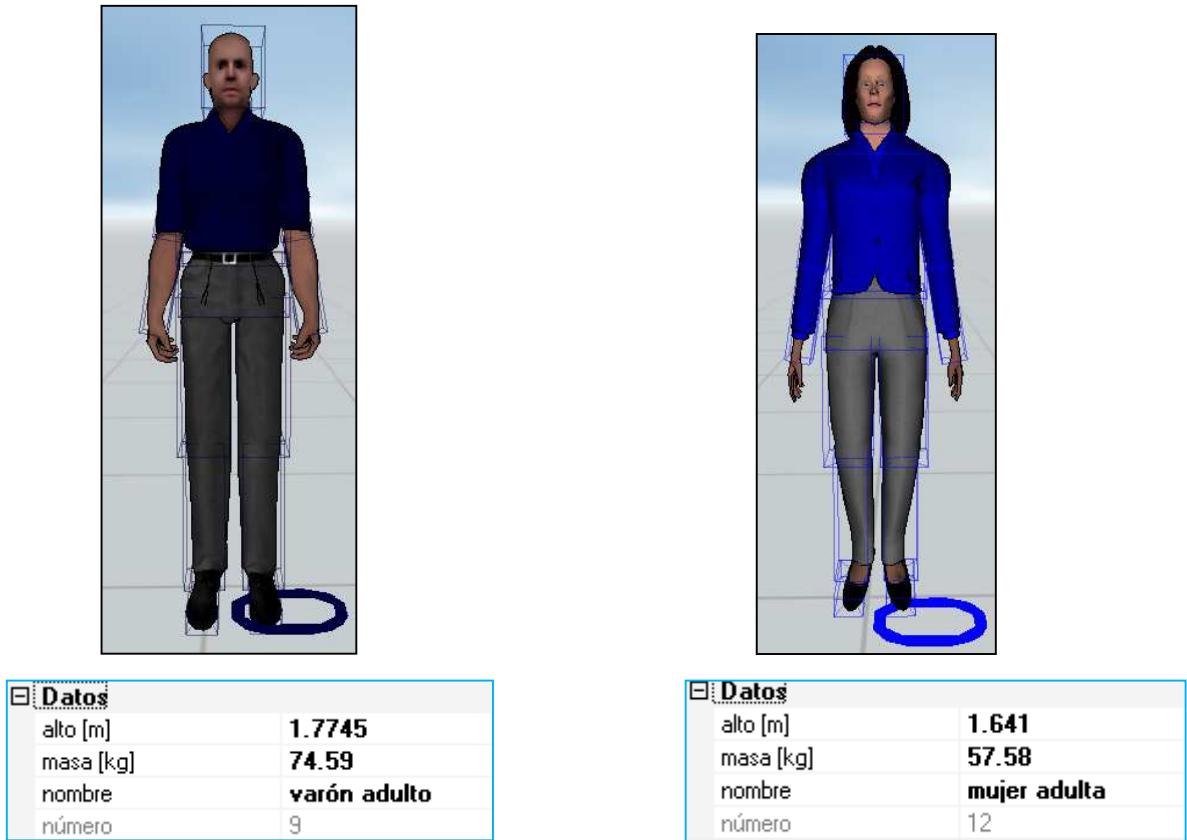


Figura núm. 6-23. Modelado y datos de multibodies adultos, una vez modificadas las características.

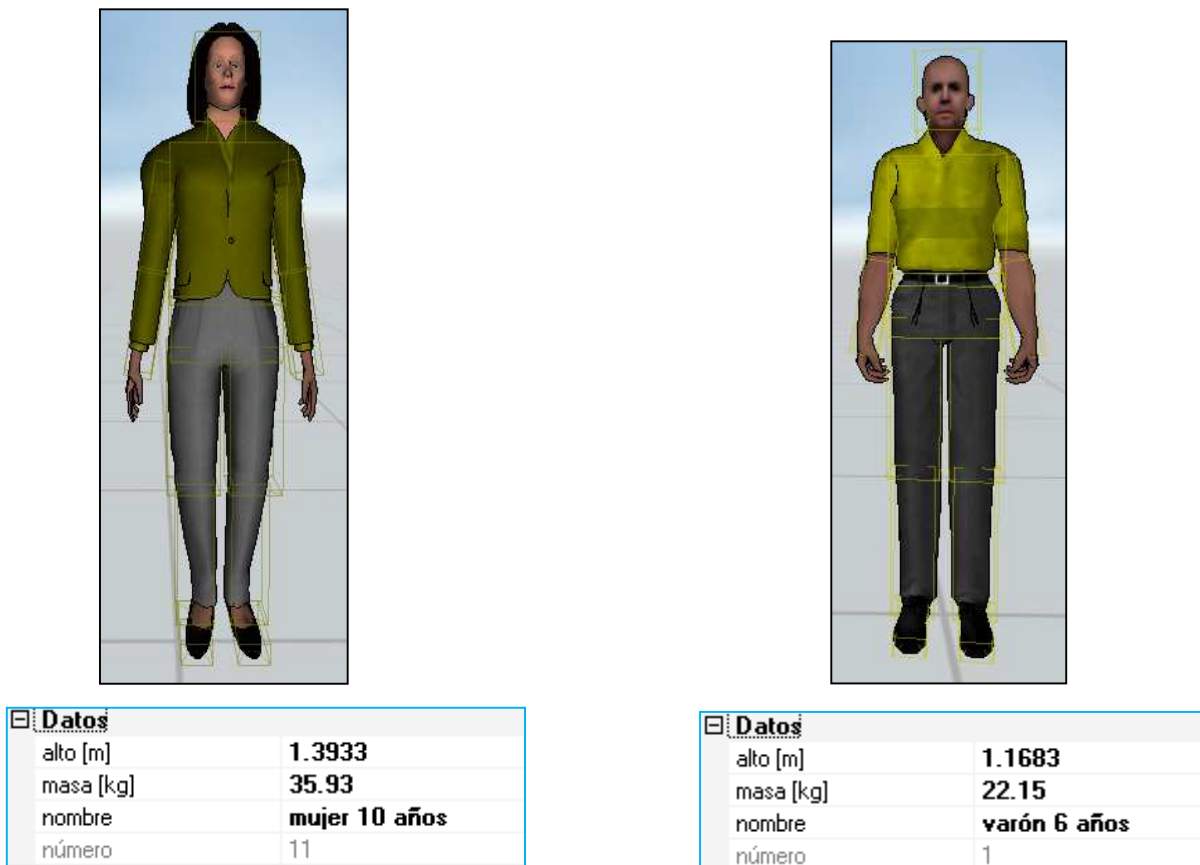


Figura núm. 6-24. Modelado y datos de multibodies de 10 años, así como de 6 años, una vez modificadas las características.



Datos	
alto [m]	0.9896
masa [kg]	15.52
nombre	mujer 3.5 años
número	10

Figura núm. 6-25. Modelado y datos del multibody de 3 años y 6 meses, una vez modificadas las características.

### 6.2.2.3. SITUACIÓN DE VEHÍCULOS Y PEATONES

Finalizado tanto el diseño de los vehículos como la modelización de los peatones, el siguiente paso consistirá en situar en primer lugar en el escenario del área de trabajo tanto a los peatones como a los vehículos y colocarlos en posición de atropello.

Para ello, el primer paso será, modificando los datos más significativos (velocidad, situación con respecto al vehículo y coeficiente de rozamiento con la superficie de deslizamiento), establecer los datos de partida para el peatón.

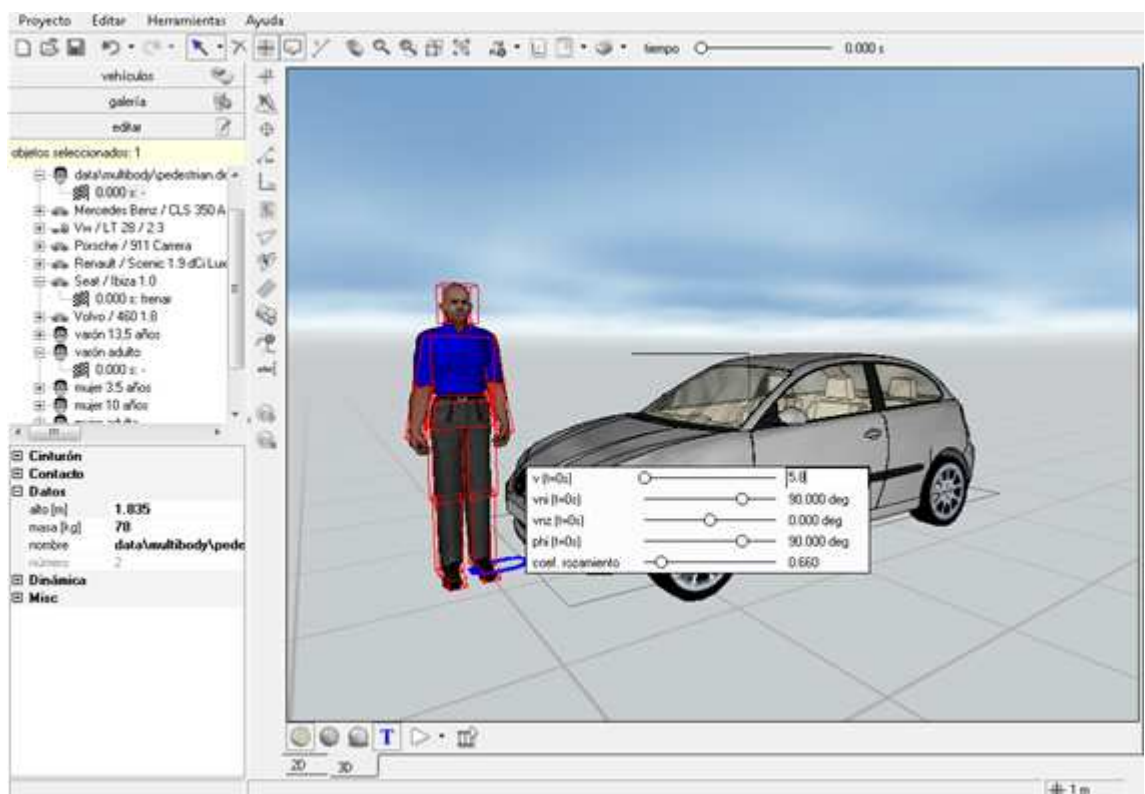


Figura núm. 6-26. Captura del programa Virtual Crash, con la modificación de datos en la ventana correspondiente al multibody.

Dentro del menú de galería de imágenes, en las posturas de peatones, se elegirá la que se considera más habitual en los atropellos, andando de forma perpendicular al vehículo y cruzando de derecha a izquierda, según el sentido de circulación del mismo.

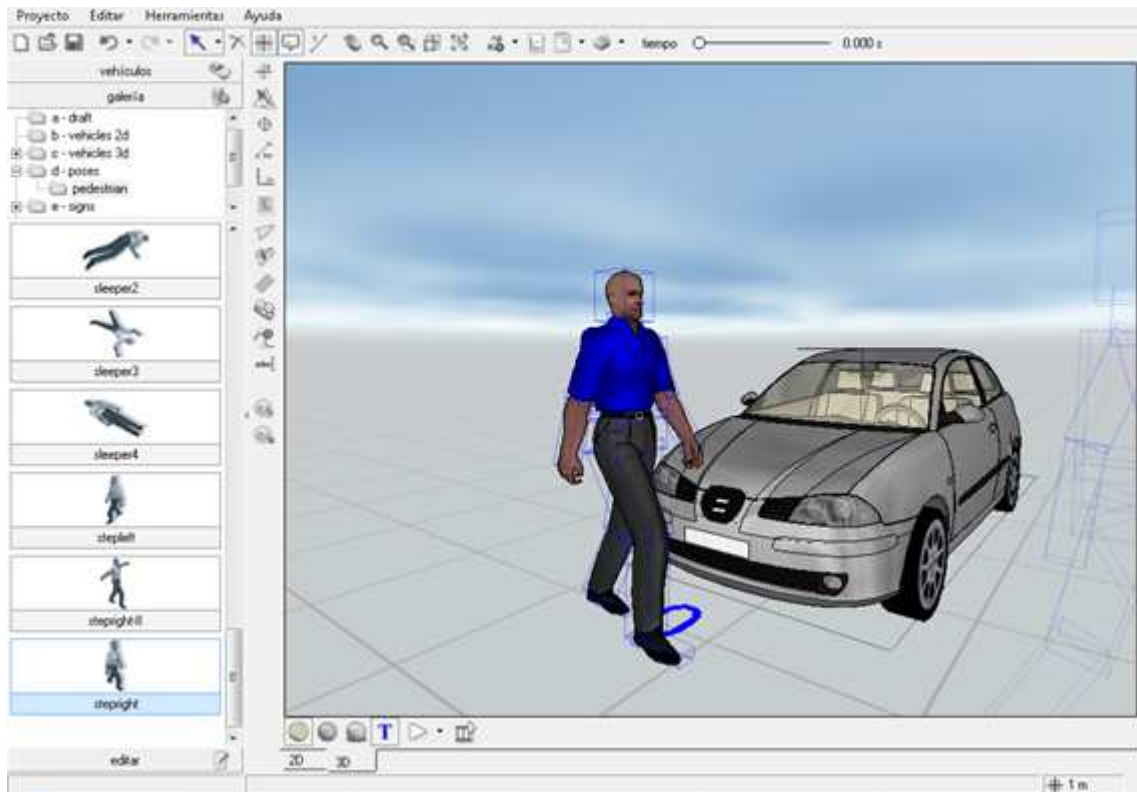


Figura núm. 6-27. Captura del programa Virtual Crash, una vez modificada la postura en posición caminando del multibody.

El siguiente paso será situar en posición de atropello tanto al vehículo como al peatón. Esta operación se realizará desde el visor 2D, comprobándose mediante coordenadas según la tabla de datos que facilita al respecto el programa. Posteriormente, igualmente se verificará dicha posición desde el visor 3D.

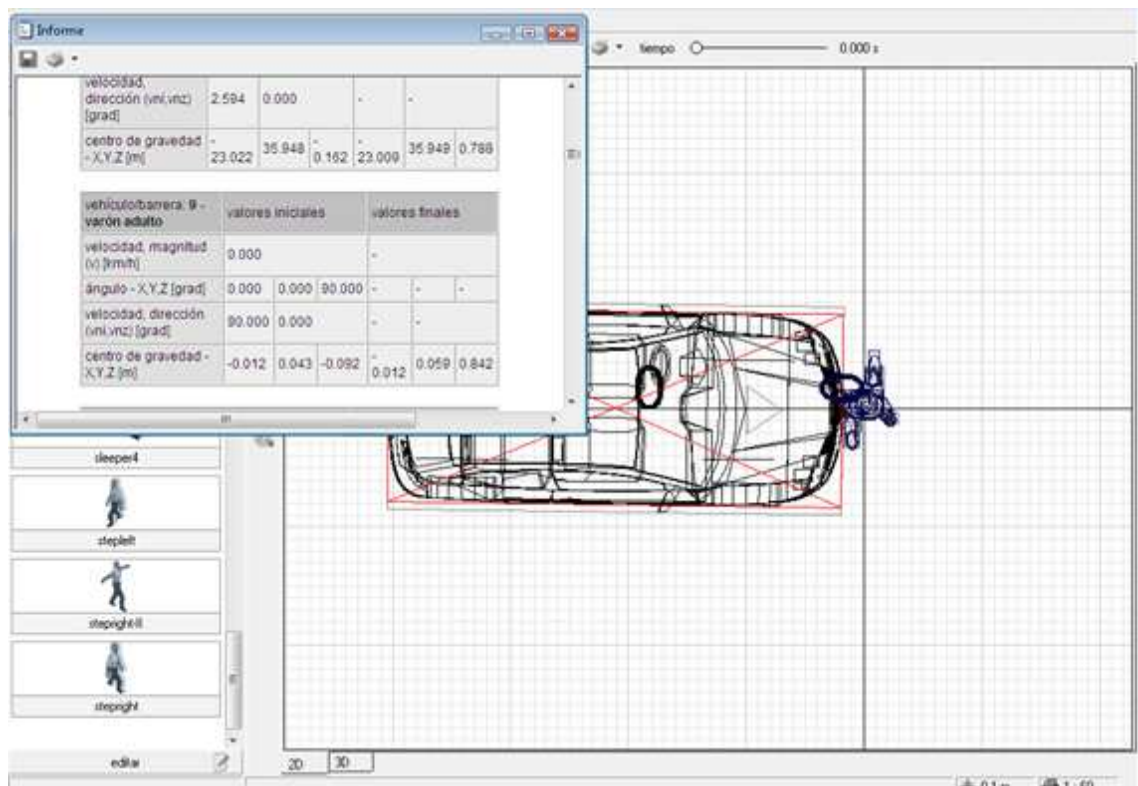


Figura núm. 6-28. Captura del programa Virtual Crash, visor 2D, desde donde se sitúan tanto el vehículo como el peatón en posición de atropello.

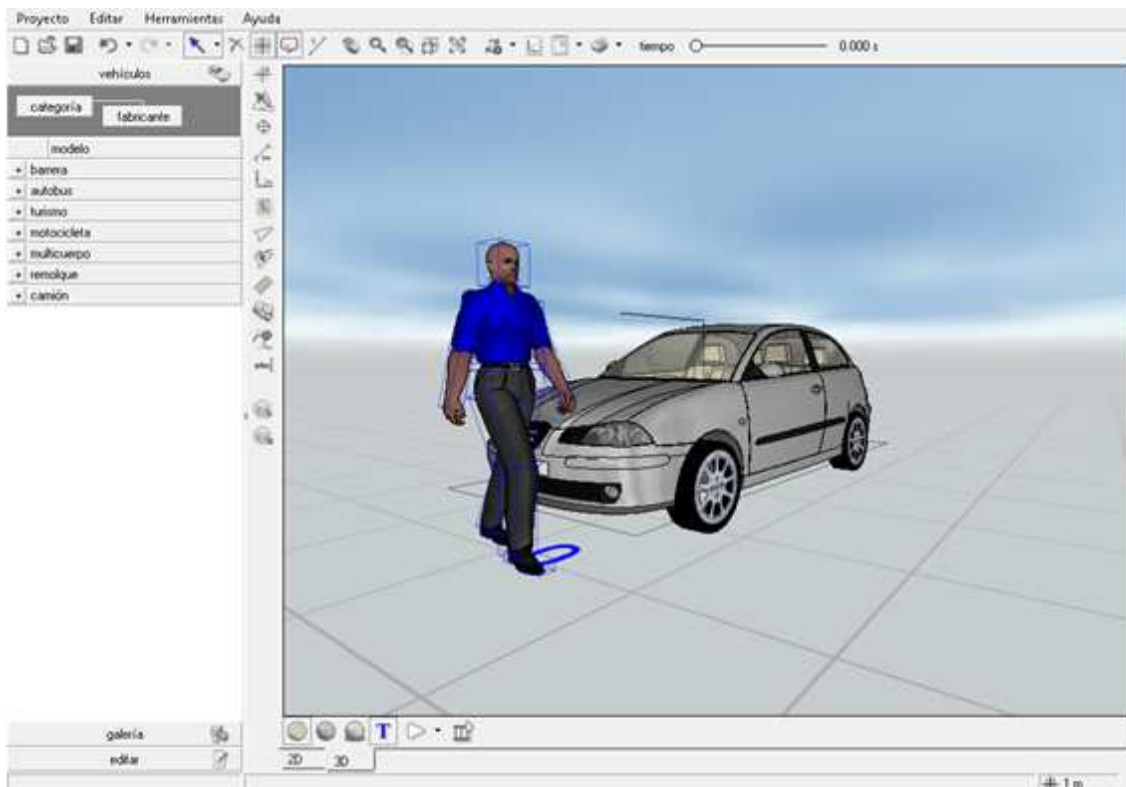


Figura núm. 6-29. Captura del programa Virtual Crash, visor 3D, desde donde se verifica la posición de atropello tanto para el vehículo como para el peatón.

#### 6.2.2.4. SIMULACIÓN DE LOS ATROPELLOS

Situados tanto el peatón como el vehículo en posición de atropello, quedaría comenzar las simulaciones aportando las variables al vehículo mediante la ventana existente al respecto. Dentro de estas variables, se modificarán criterios de velocidad, deceleración o no y coeficiente de fricción neumático-superficie.

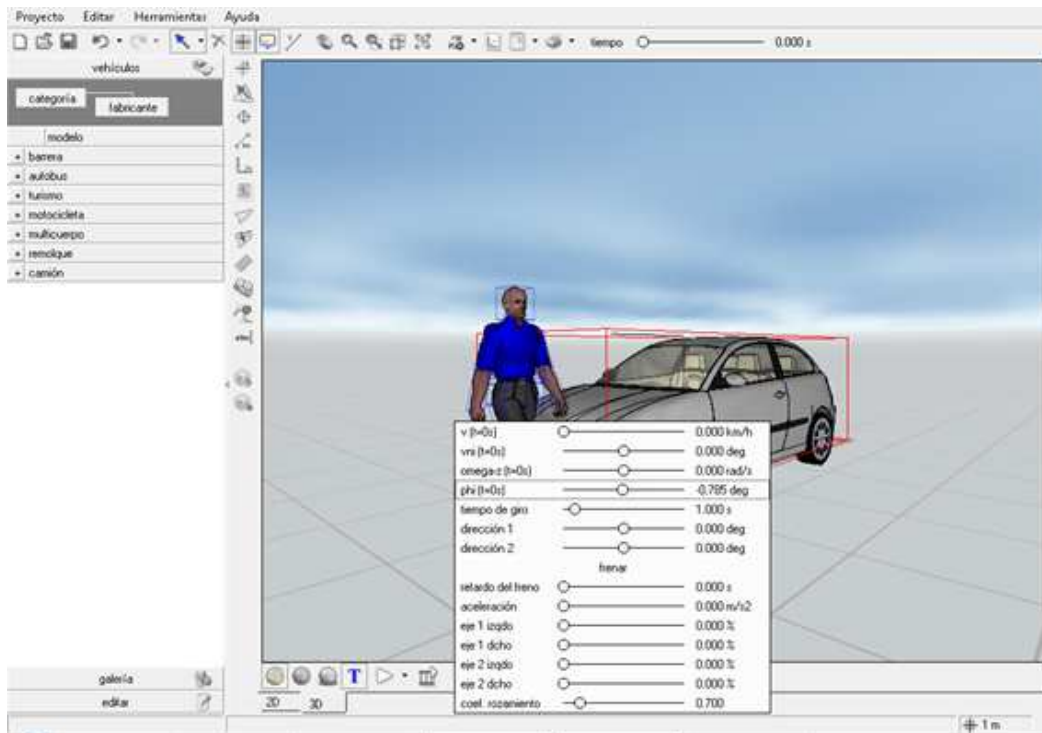


Figura núm. 6-30. Captura del programa Virtual Crash, desde donde se establecen las variables del vehículo para realizar el atropello.

A partir de aquí, quedaría ir modificando las variables, tanto para los vehículos como para los peatones y comenzar a realizar las simulaciones.

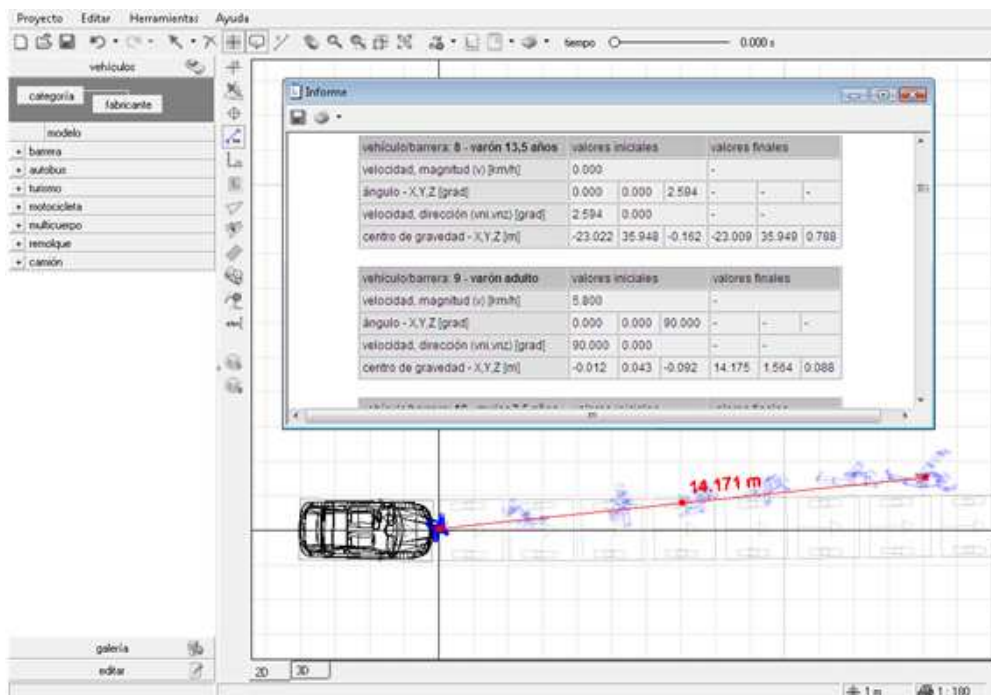


Figura núm. 6-31. Captura del programa Virtual Crash, visor 2D, una vez realizada una simulación de atropello, donde se observa la posición final alcanzada por el peatón y la distancia de proyección alcanzada.

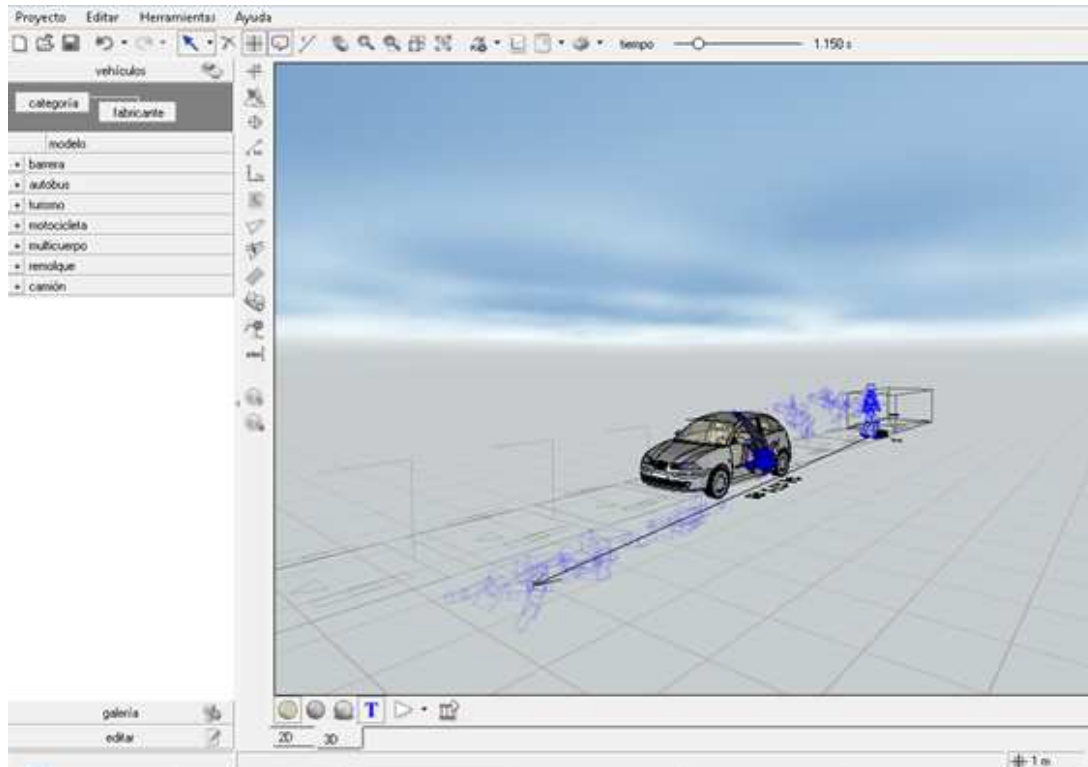


Figura núm. 6-32. Captura del programa Virtual Crash, visor 3D, una vez realizada una simulación de atropello, donde se observa la posición inicial y trayectoria seguida por ambas unidades de tráfico, posición final del peatón y distancia de proyección alcanzada.

### 6.2.2.5. RESULTADOS

Los resultados de las simulaciones, son recogidos en informes que aporta el propio programa, cuyos parámetros más significativos serían la velocidad de atropello del vehículo, la velocidad del peatón en el momento del atropello, su situación al inicio y en su posición final, datos que nos aportarán la distancia de proyección sufrida por el peatón.

vehículo/barrera: 6 - Seat / Ibiza 1.0; conductor:	valores iniciales			valores finales		
velocidad, magnitud (v) [km/h]	35.000			32.586		
ángulo - X,Y,Z [grad]	0.000	0.000	-0.785	0.000	0.000	0.696
velocidad, dirección (vni,vnz) [grad]	0.000	0.000		0.696	0.000	
velocidad angular - X,Y,Z (omega) [rad/s]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
centro de gravedad - X,Y,Z [m]	-1.965	0.008	0.540	52.457	0.581	0.540

vehículo/barrera: 9 - varón adulto	valores iniciales			valores finales		
velocidad, magnitud (v) [km/h]	5.800			-		
ángulo - X,Y,Z [grad]	0.000	0.000	90.000	-	-	-
velocidad, dirección (vni,vnz) [grad]	90.000	0.000		-	-	
centro de gravedad - X,Y,Z [m]	-0.012	0.043	-0.092	14.175	1.564	0.088

Figura núm. 6-33. Captura del programa Virtual Crash, en la que se muestra los resultados de un informe tras haber realizado una simulación de un atropello.



Igualmente, el programa, permitirá visualmente determinar el tipo de trayectoria post-atropello que realiza el peatón y clasificarla dentro de las categorías expuestas por Ravani [Ravani et al, 1981].

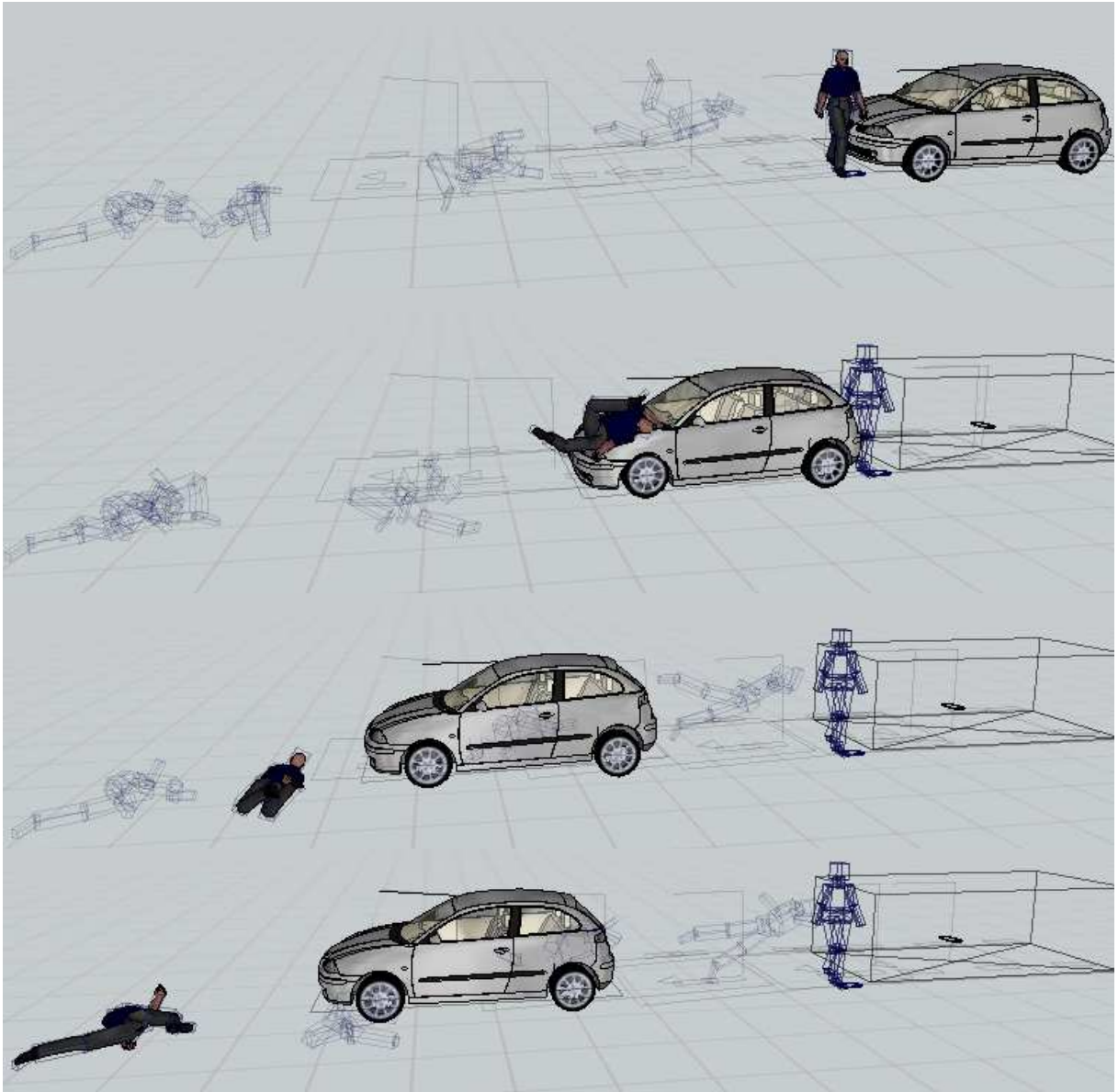


Figura núm. 6-34. Captura del programa Virtual Crash, en la que se muestra la trayectoria post-atropello sufrida por el peatón tras la simulación.

Por último, en el transcurso de la simulación, se procederá a determinar la posición de impacto de la cabeza sobre la estructura del vehículo



Figura núm. 6-35. Captura del programa Virtual Crash, en la que se muestra el impacto de la cabeza del multibody sobre la estructura del vehículo tras el atropello.

Como resumen a lo expuesto en este apartado, decir que las simulaciones permitirán obtener datos relativos a distancia de proyección, tipología de trayectoria, influencia de posiciones y geometrías de vehículos, puntos de impacto de la cabeza contra el vehículo, etc, que se irán recogiendo en tablas para su posterior estudio y comparación con el modelo matemático concreto.

### 6.3. SIMULACIONES REALIZADAS

El total de simulaciones de atropellos realizadas con el programa Virtual Crash ha sido de 1435, exponiéndose a continuación los resultados gráficos de dichas simulaciones en función del tipo de peatón con el que se han realizado.

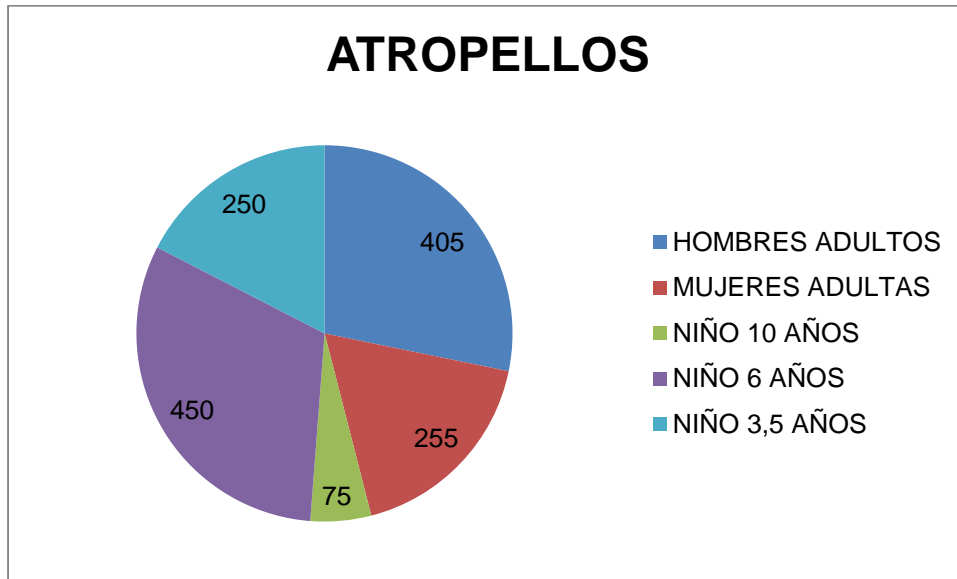


Figura núm. 6-36. Gráfico de las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados en función del tipo de peatón de forma numérica.

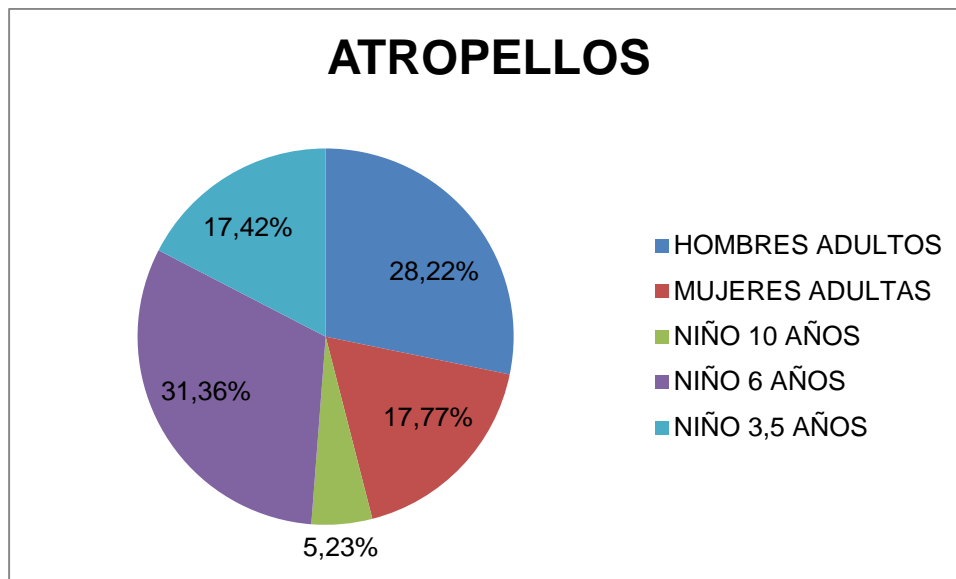


Figura núm. 6-37. Gráfico de las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados en función del tipo de peatón de forma porcentual.

Del total de simulaciones realizadas, 1213 se han considerado válidas y 222 no válidas en función de distintas anomalías producidas durante las simulaciones (consistentes normalmente en transporte o arrastre del peatón por el vehículo). Ello ha supuesto que casi el 85% de las simulaciones realizadas sean válidas para el estudio, considerándose además un número suficientemente amplio para emitir unas conclusiones objetivas y con base científica.

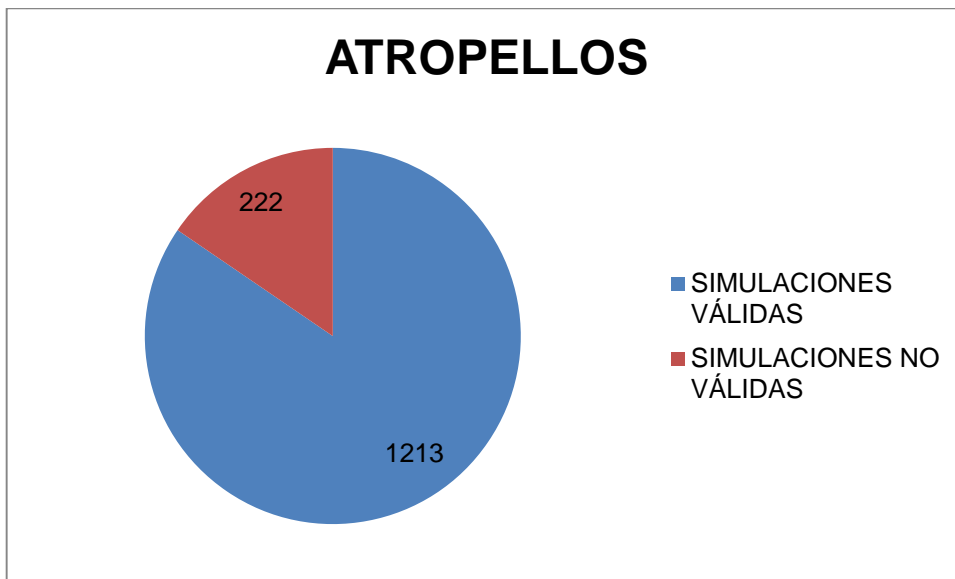


Figura núm. 6-38. Gráfico de las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados para el estudio de forma numérica.

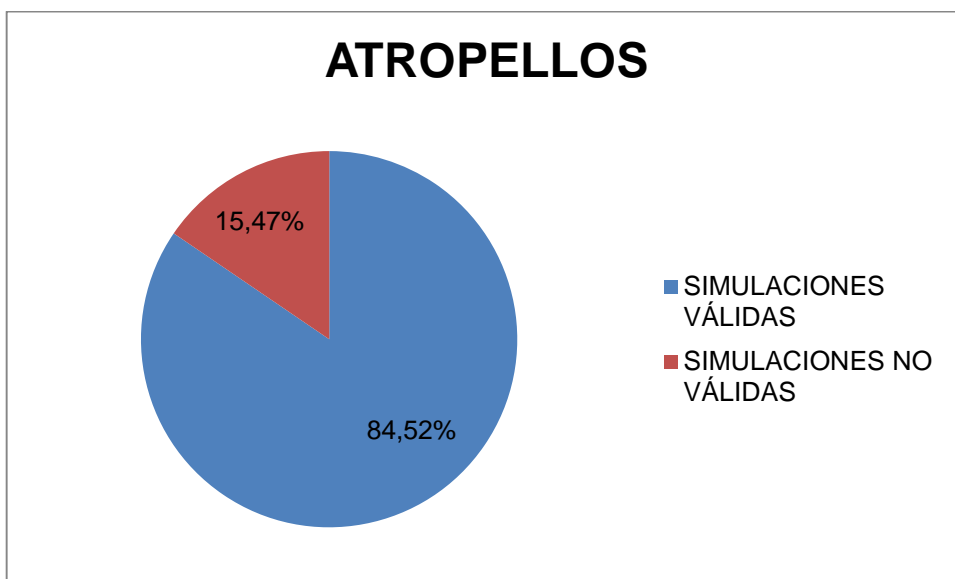


Figura núm. 6-39. Gráfico de las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados para el estudio de forma porcentual.

En cuanto al resultado de las simulaciones, destaca el alto número de simulaciones que por tipo de peatón han resultado válidas.

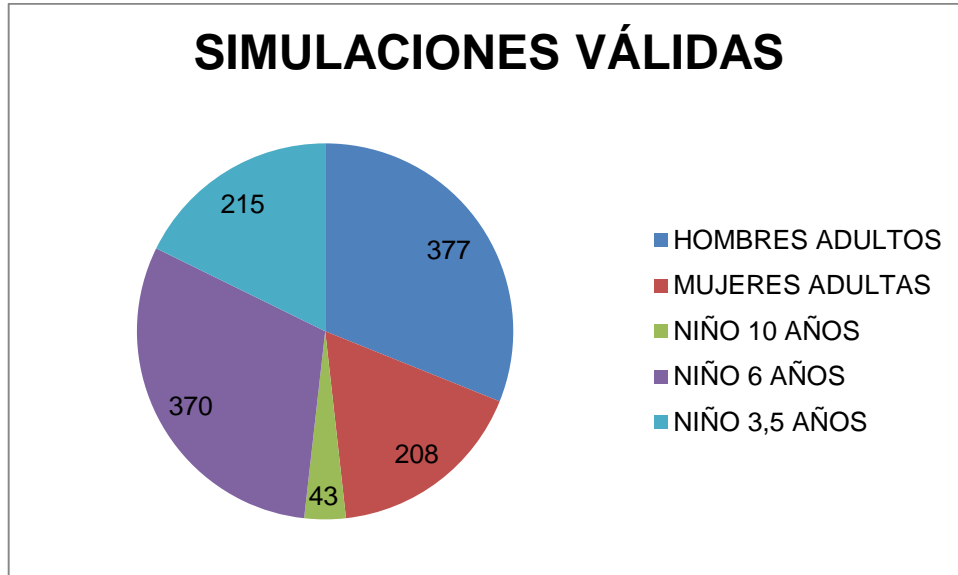


Figura núm. 6-40. Gráfico de las simulaciones válidas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados comparativos entre peatones de forma numérica.

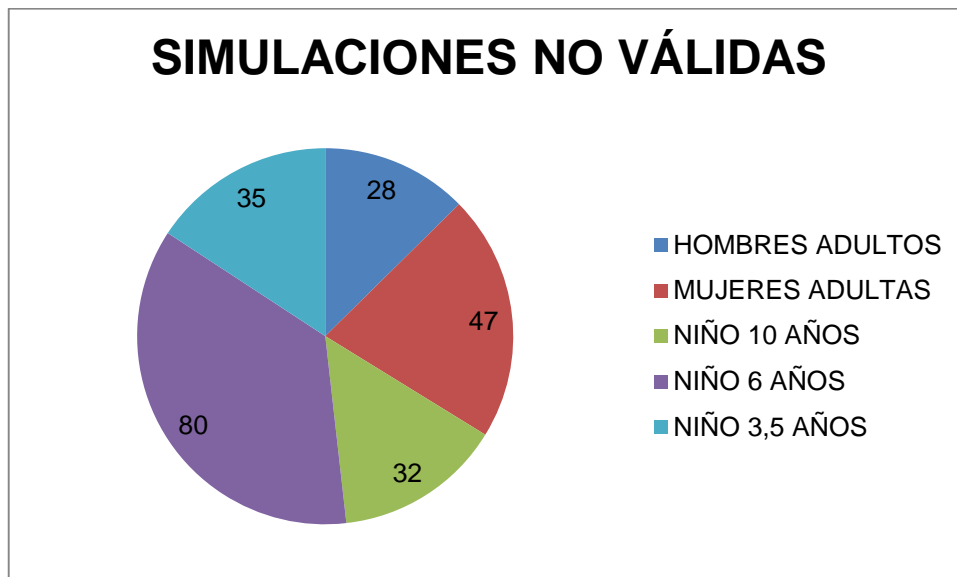


Figura núm. 6-41. Gráfico de las simulaciones no válidas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados comparativos entre peatones de forma numérica.

Tratando los mismos datos de forma porcentual, los resultados muestran que el porcentaje general de simulaciones válidas por tipo de peatón supera el 80%, salvo para el peatón niño de 10 años que con un porcentaje de sólo un 57,33% destaca negativamente sobre el resto.

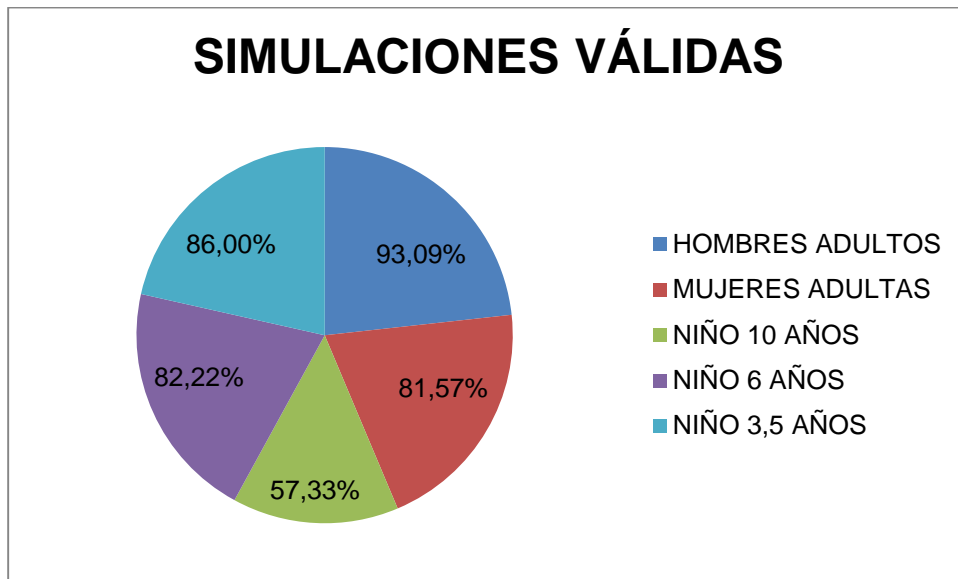


Figura núm. 6-42. Gráfico de las simulaciones válidas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados comparativos entre peatones de forma porcentual.

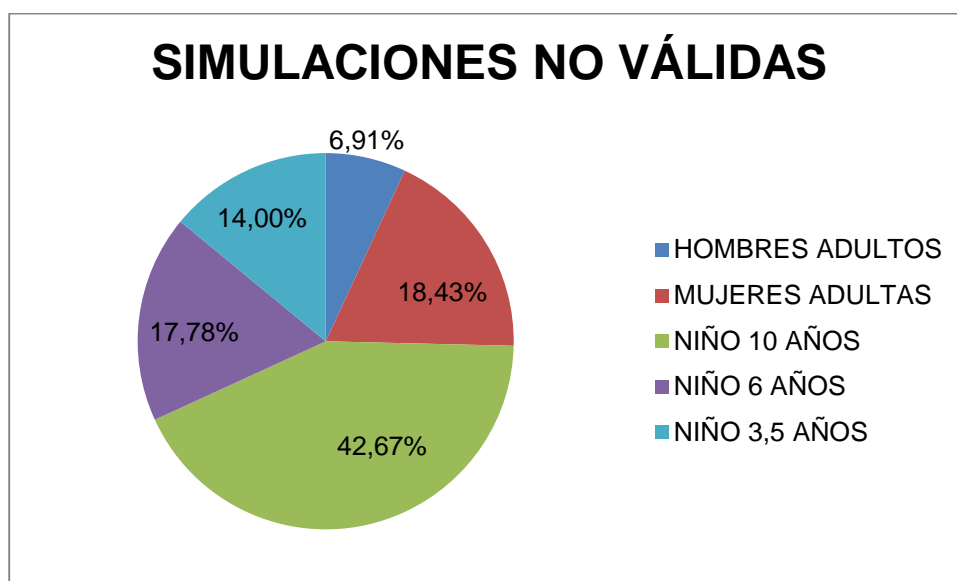


Figura núm. 6-43. Gráfico de las simulaciones no válidas con el programa Virtual Crash exponiendo los resultados comparativos entre peatones de forma porcentual.

## **CAPÍTULO 7**

# **COMPARACIÓN MODELOS FÍSICO MATEMÁTICOS – PROGRAMA VIRTUAL CRASH**





## **CAPÍTULO 7. COMPARACIÓN MODELOS FÍSICO MATEMÁTICOS – PROGRAMA VIRTUAL CRASH**

### **7. INTRODUCCIÓN**

Llegados a este punto, el siguiente paso será la comparación entre los datos obtenidos referidos a la distancia de proyección, a distintas velocidades bajo una serie de condiciones concretas en los métodos físico-matemáticos expuestos y simular esas mismas condiciones con el programa Virtual Crash comparando la distancia de proyección que se obtiene y aportar otra serie de datos de interés para este trabajo.

De esta manera, aunque los datos básicos a obtener para todos los modelos serán similares, habrá variaciones dependiendo del número de variables que el modelo y el programa puedan aceptar.

Se seguirá el mismo orden que se ha seguido a la hora de exponer los cálculos físico-matemáticos.

El análisis se establecerá sobre tres parámetros:

√ La comparación entre las distancias de proyección obtenidas con los métodos físico-matemáticos y el programa Virtual Crash.

√ El análisis de la influencia de diferentes geometrías de vehículos en la obtención de esas distancias de proyección con el programa Virtual Crash.

√ El análisis de las trayectorias cinemáticas de los multibodies utilizados por el programa Virtual Crash tras haber sufrido el atropello.

En cuanto a la distancia de proyección, además, se compararán los resultados obtenidos con los métodos y el programa Virtual Crash mediante el error porcentual existente entre ambas magnitudes, asignando un nivel de fiabilidad en función del error existente según se determina a continuación:

√ Grado de fiabilidad ALTO: Porcentaje de error entre 0-20 %.

√ Grado de fiabilidad MEDIO: Porcentaje de error entre 20-40 %.

√ Grado de fiabilidad BAJO: Porcentaje de error + 40%.

## 7.1. MODELOS MATEMÁTICOS O TEÓRICOS

### 7.1.1. MODELO DE STCHERBATCHEFF

En el modelo físico-matemático se utilizaron las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Maniobra de frenada antes del atropello, con deceleraciones equivalentes a 4, 5.5 y 7 m/s<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos fueron los que se exponen en la siguiente tabla.

Velocidad / deceleración	4 m/s <sup>2</sup>	5,5 m/s <sup>2</sup>	7 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	3,99 m	2,94 m	2,35 m
35 km/h	12,11 m	8,85 m	7,04 m
50 km/h	24,73 m	18,09 m	14,32 m
65 km/h	41,76 m	30,51 m	24,11 m
80 km/h	63,23 m	46,14 m	36,43 m

Tabla núm. 7-1. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Stcherbatcheff

A la hora de realizar las simulaciones con el programa Virtual Crash, se van a utilizar una serie de variables comunes en todas ellas y otras diferentes según se expone a continuación, incluyéndose las utilizadas en el modelo físico-matemático:

#### Variables comunes:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,66.
- Peatón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

Otras variables:

- Tipo de vehículo (6 tipos de vehículos con seis frontales distintos).
- Deceleración del vehículo (3 distintas, según las utilizadas para el modelo físico-matemático – 4 m/s<sup>2</sup>, 5,5 m/s<sup>2</sup> y 7 m/s<sup>2</sup>).
- Edad peatón (2 distintos, 1 adulto y 1 niño de 6 años).

Para el análisis de la distancia de proyección, se compararán los valores medios de los resultados obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los dos multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático; además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

**7.1.1.1. Peatón hombre adulto. Deceleración 4 m/s<sup>2</sup>**

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

<b>Velocidad</b>	<b>VC P H Adulto</b>	<b>Modelo Matemático</b>	<b>Error porcentual</b>
<b>20 km/h</b>	4,29 m	3,99 m	6,99
<b>35 km/h</b>	10,85 m	12,11 m	11,61
<b>50 km/h</b>	19,98 m	24,73 m	23,77
<b>65 km/h</b>	32,12 m	41,76 m	30,01
<b>80 km/h</b>	41,61 m	63,23 m	51,96

Tabla núm. 7-2. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 4 m/s<sup>2</sup> con peatones adultos.

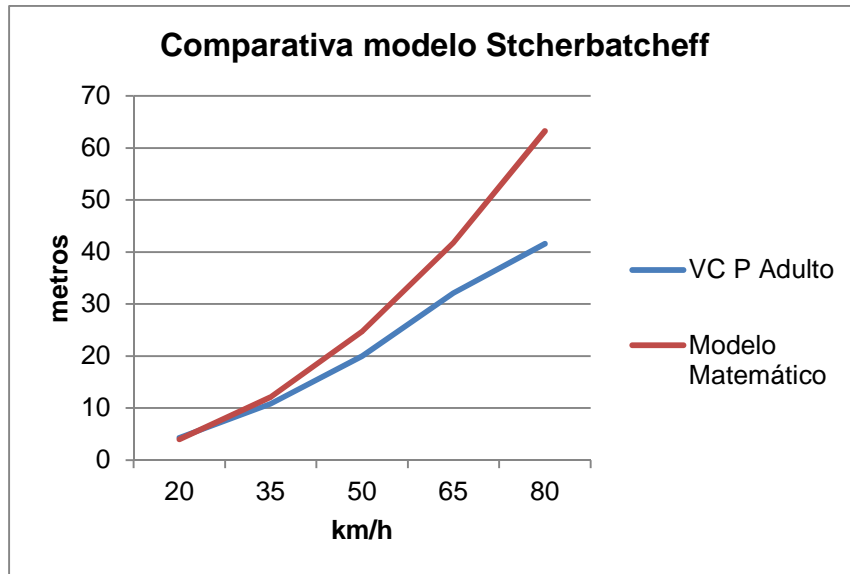


Figura núm. 7-1. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  con peatones adultos comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash.

A modo de conclusión se puede establecer que los valores obtenidos con respecto a la distancia de proyección con el programa Virtual Crash están por debajo de los obtenidos con el modelo físico-matemático. Si bien siguen una relación lineal, éstos se hallan más próximos a velocidades bajas.

√ Geometrías.

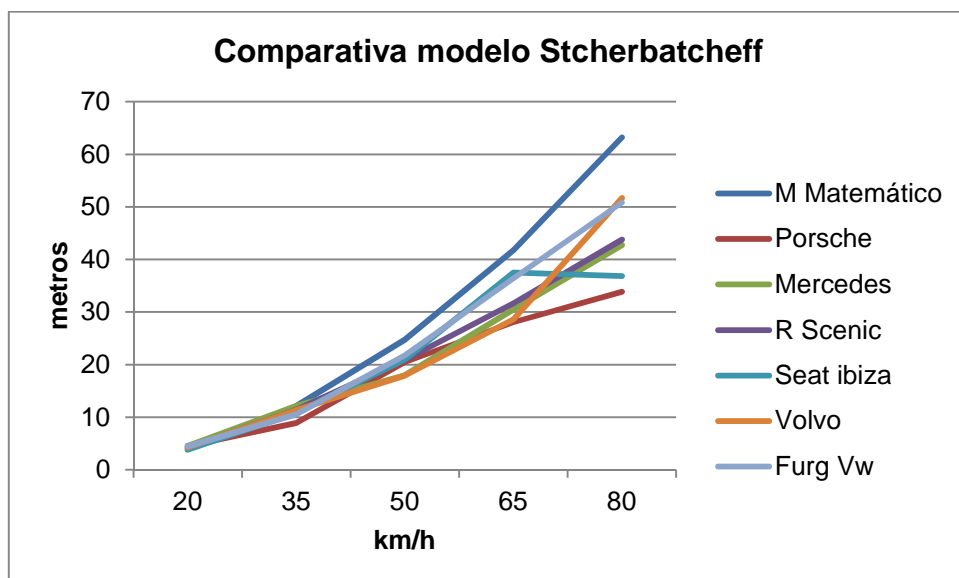


Figura núm. 7-2. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff.

Como se observa en el gráfico, a velocidades de hasta 50 km/h las geometrías de los vehículos utilizados en Virtual Crash no influyen de manera determinante en las distancias de proyección obtenidas. Si bien, a 65 km/h, existen irregularidades reseñables que afectan disminuyendo la distancia de proyección sobre todo en las geometrías Wedge shape (Porsche 911 Carrera), Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8). Los atropellos a 80 km/h con el programa Virtual Crash implican una disminución considerable de la distancia de proyección con respecto a la obtenida con el modelo matemático, siendo mucho más acusada esa diferencia en las geometrías Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

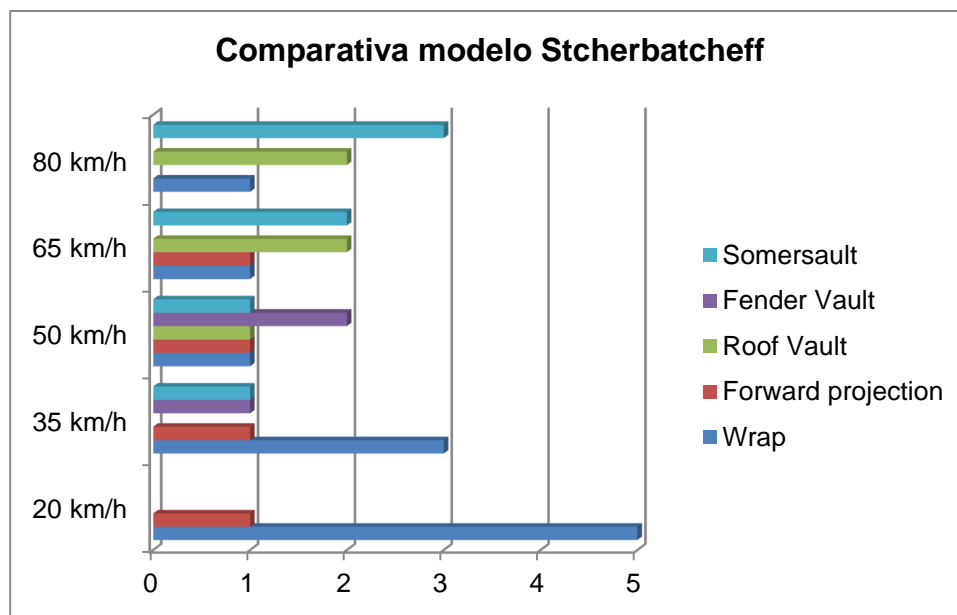


Figura núm. 7-3. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos utilizando el modelo de Stcherbatcheff.

A velocidades de atropello bajas (20-35 km/h) la trayectoria más común es la denominada Wrap. A medida que va aumentando la velocidad, las trayectorias son más diversas, destacando por su frecuencia un poco más las que conllevan volteo del peatón (Somersault o Roof Vault).

### 7.1.1.2. Peatón niño 6 años. Deceleración 4 m/s<sup>2</sup>

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,18 m	3,99 m	4,55
35 km/h	11,09 m	12,11 m	9,20
50 km/h	22,05 m	24,73 m	12,15
65 km/h	36,68 m	41,76 m	13,85
80 km/h	50,53 m	63,23 m	25,13

Tabla núm. 7-3. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 4 m/s<sup>2</sup> con peatones de 6 años.

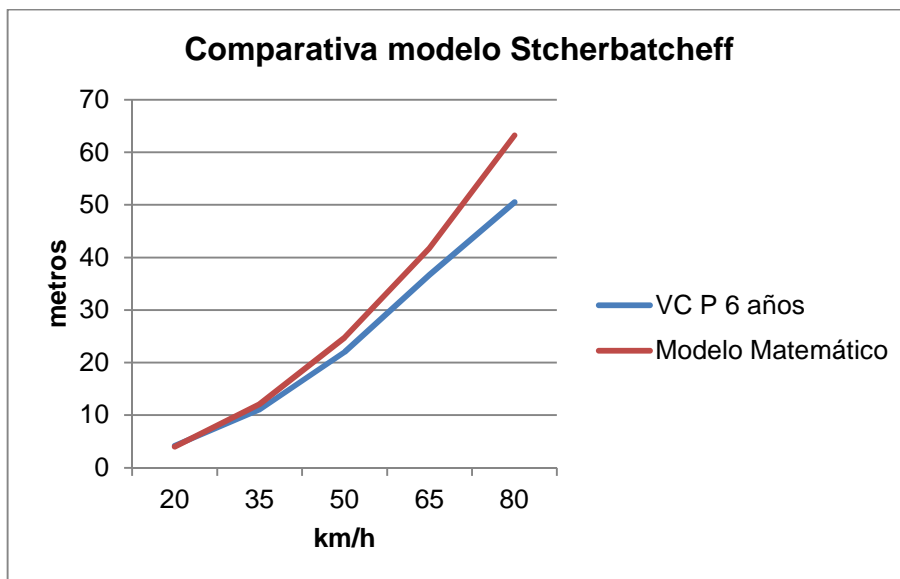


Figura núm. 7-4. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de 4 m/s<sup>2</sup> con peatones de 6 años comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash.

Como se observa, los resultados obtenidos con el programa Virtual Crash, con respecto a las distancias de proyección, son inferiores en relación a los obtenidos con el modelo matemático, hallándose más próximos a velocidades bajas.

√ Geometrías.

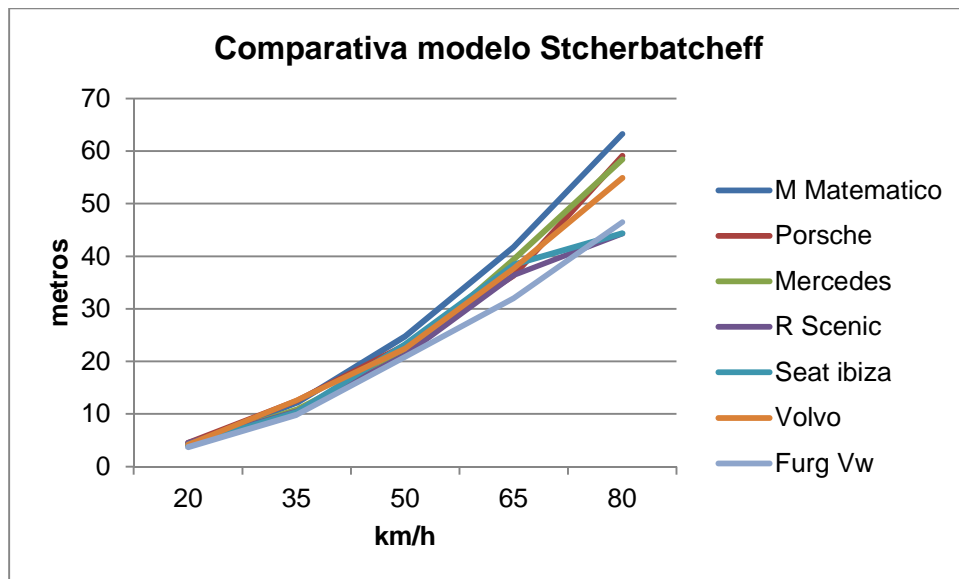


Figura núm. 7-5. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff.

En general, a velocidades de hasta  $65 \text{ km/h}$  las geometrías de los vehículos utilizados en Virtual Crash no tienen una influencia reseñable a la hora de obtener distancias de proyección con respecto a las obtenidas con el modelo matemático. A velocidades de  $80 \text{ km/h}$ , existe una disminución considerable de las distancias de proyección cuando intervienen las geometrías Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

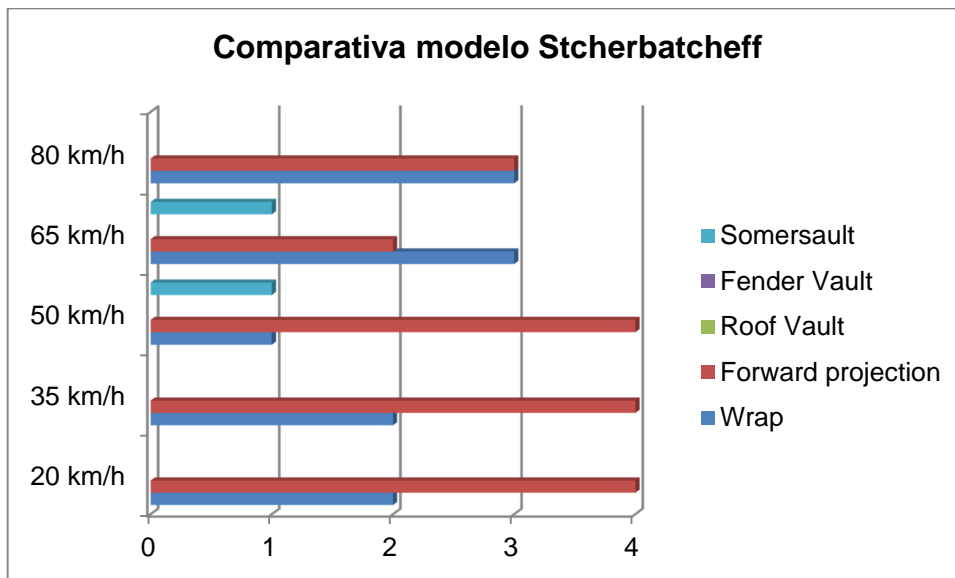


Figura núm. 7-6. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $4 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años utilizando el modelo de Stcherbatcheff.

La trayectoria post-impacto más común para este peatón es la denominada Forward Projection (sobre todo a velocidades de hasta  $50 \text{ km/h}$ ), seguida de la trayectoria Wrap.

### 7.1.1.3. Peatón hombre adulto. Deceleración $5,5 \text{ m/s}^2$

Los resultados y gráficos obtenidos utilizando el programa Virtual Crash son los siguientes:

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,56 m	2,94 m	17,42
35 km/h	9,66 m	8,85 m	8,39
50 km/h	16,91 m	18,09 m	6,98
65 km/h	30,02 m	30,51 m	1,63
80 km/h	41,52 m	46,14 m	11,13

Tabla núm. 7-4. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  con peatones adultos.



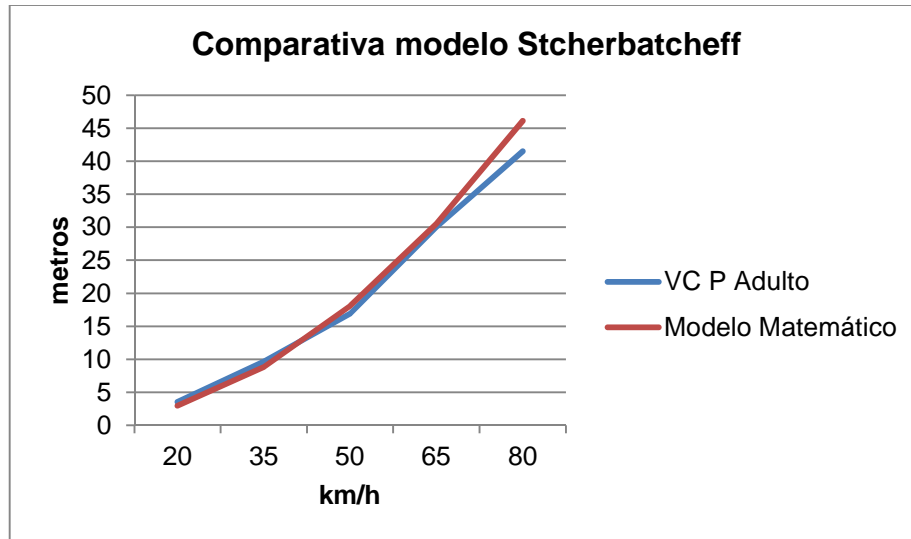


Figura núm. 7-7. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  con peatones adultos comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash.

Como se ha podido observar tanto en las tablas como en los gráficos, los valores obtenidos con respecto a este parámetro con el programa Virtual Crash están bastante ajustados a los obtenidos con el modelo físico-matemático.

√ Geometrías.

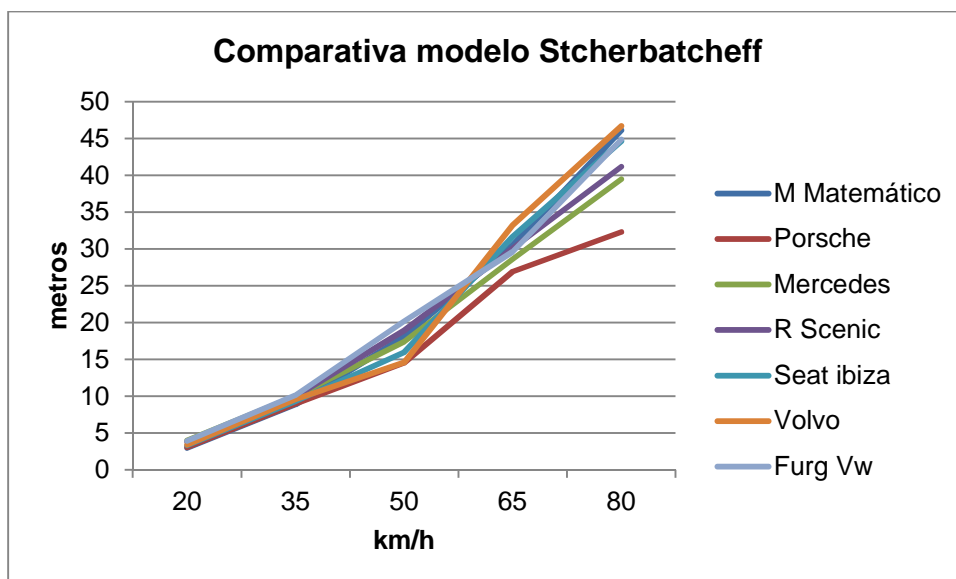


Figura núm. 7-8. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff.

En este caso, a velocidades bajas de atropello (20-35 km/h), no se constata una influencia significativa de las geometrías para obtener los resultados de distancias de proyección. A velocidades de atropello de 50 km/h o superiores se observan comportamientos irregulares, siendo reseñables los que producen la geometría Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), que disminuye, en algún caso de forma considerable, la distancia de proyección; y la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8), que para velocidad de 50 km/h disminuye la distancia de proyección y para 65-80 km/h aumenta la misma.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

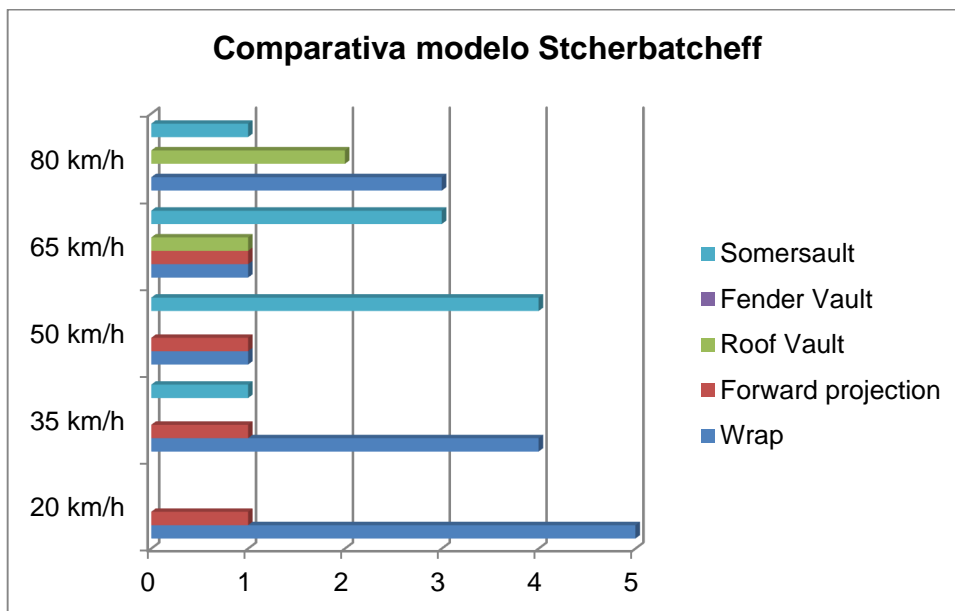


Figura núm. 7-9. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos utilizando el modelo de Stcherbatcheff.

Las trayectorias más comunes son las trayectorias Wrap a velocidades de atropello bajas (20-35 km/h) y Somersault.

#### 7.1.1.4. Peatón niño 6 años. Deceleración 5,5 m/s<sup>2</sup>

Los resultados y gráficos obtenidos utilizando el programa Virtual Crash son los siguientes:

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,59 m	2,94 m	18,11
35 km/h	10,09 m	8,85 m	12,29
50 km/h	19,26 m	18,09 m	6,07
65 km/h	31,65 m	30,51 m	3,60
80 km/h	45,83 m	46,14 m	0,68

Tabla núm. 7-5. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 5,5 m/s<sup>2</sup> con peatones de 6 años.

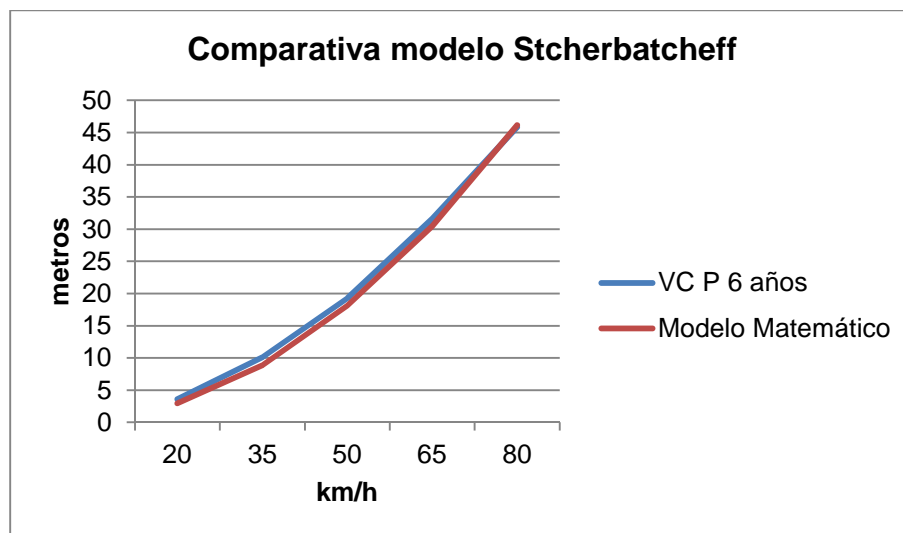


Figura núm. 7-10. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de 5,5 m/s<sup>2</sup> comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash.

Los resultados obtenidos con el programa Virtual Crash son similares a los obtenidos con el modelo físico-matemático.

√ Geometrías.

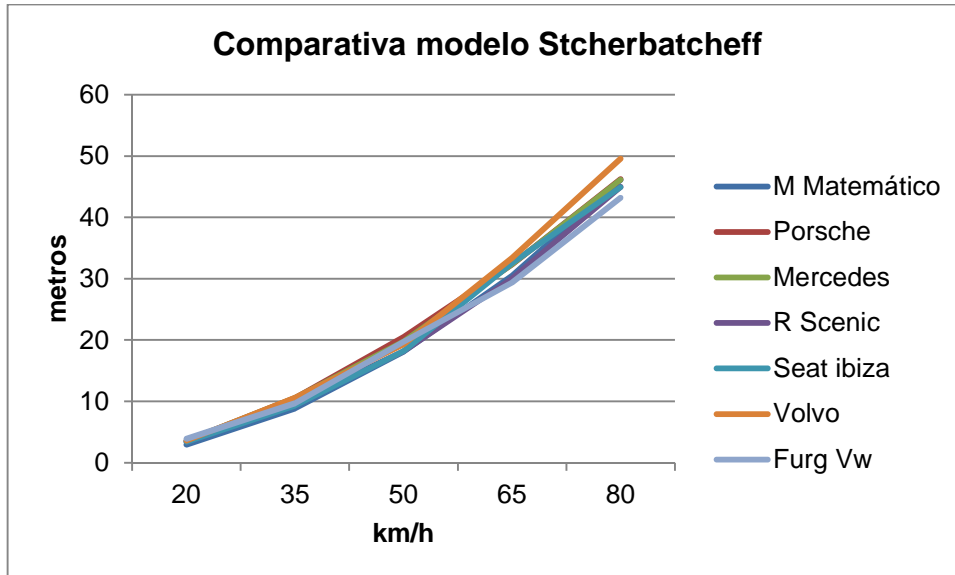


Figura núm. 7-11. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff.

Como se observa en el gráfico, en general, las geometrías no tienen una gran influencia a la hora de establecer diferencias en las distancias de proyección a obtener con el programa Virtual Crash. No obstante, por destacar alguna, la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) es la que parece que aumenta ligeramente las distancias a velocidades de 65-80 km/h.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

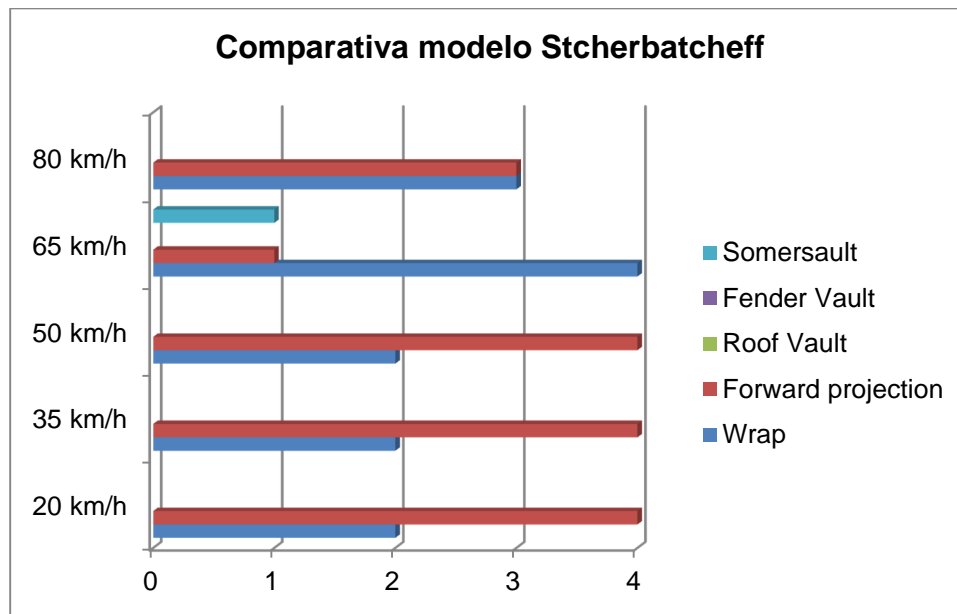


Figura núm. 7-12. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $5,5 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años utilizando el modelo de Stcherbatcheff.

Las trayectorias post-impacto más comunes para este peatón son las denominadas Forward Projection y Wrap.

#### 7.1.1.5. Peatón hombre adulto. Deceleración $7 \text{ m/s}^2$

Los resultados y gráficos obtenidos tras las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,12 m	2,35 m	24,68
35 km/h	8,6 m	7,04 m	18,14
50 km/h	17,25 m	14,32 m	16,99
65 km/h	27,63 m	24,11 m	12,74
80 km/h	41,28 m	36,43 m	11,75

Tabla 1 núm. 7-6. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  con peatones adultos.

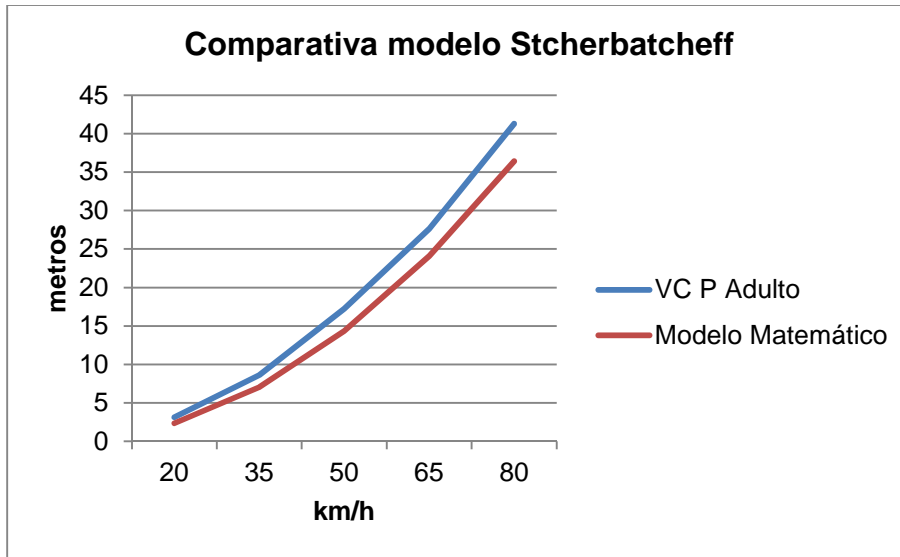


Figura núm. 7-13. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  con peatones adultos comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash.

Los valores obtenidos con respecto a este parámetro con el programa Virtual Crash son ligeramente superiores a los obtenidos con el modelo físico-matemático; la diferencia es menos significativa a medida que se va aumentando la velocidad de atropello.

√ Geometrías.

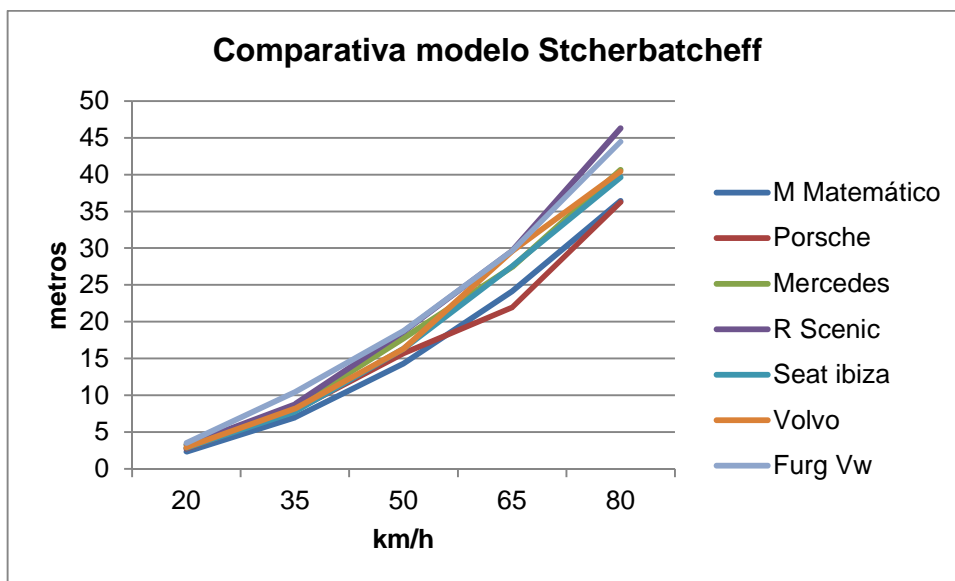


Figura núm. 7-14. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff.

Prácticamente todas las geometrías establecen valores superiores de distancia de proyección a los obtenidos en el modelo matemático. No obstante, destacan por su aumento con velocidades de atropello de 65-80 km/h las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

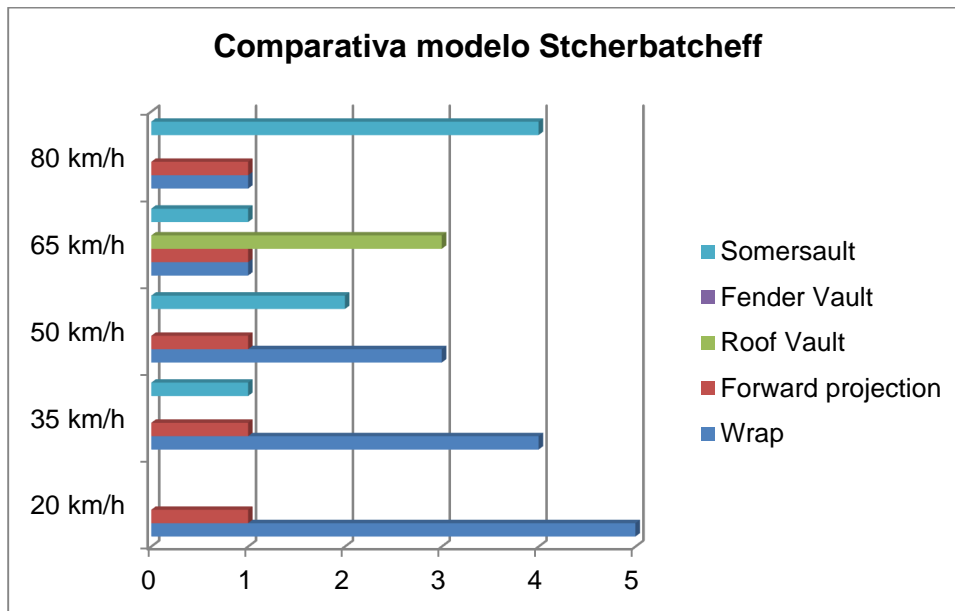


Figura núm. 7-15. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos utilizando el modelo de Stcherbatcheff.

La trayectoria más común es la denominada Wrap, observándose que a velocidades altas las que predominan suponen volteo del peatón (Somersault y Roof Vault).

### 7.1.1.6. Peatones niños 6 años. Deceleración 7 m/s<sup>2</sup>

Los resultados y gráficos obtenidos tras las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,78 m	2,35 m	37,83
35 km/h	9,56 m	7,04 m	26,36
50 km/h	18,63 m	14,32 m	23,13
65 km/h	30,38 m	24,11 m	20,64
80 km/h	45,55 m	36,43 m	20,02

Tabla núm. 7-7. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Stcherbatcheff para deceleraciones de 7 m/s<sup>2</sup> con peatones de 6 años.

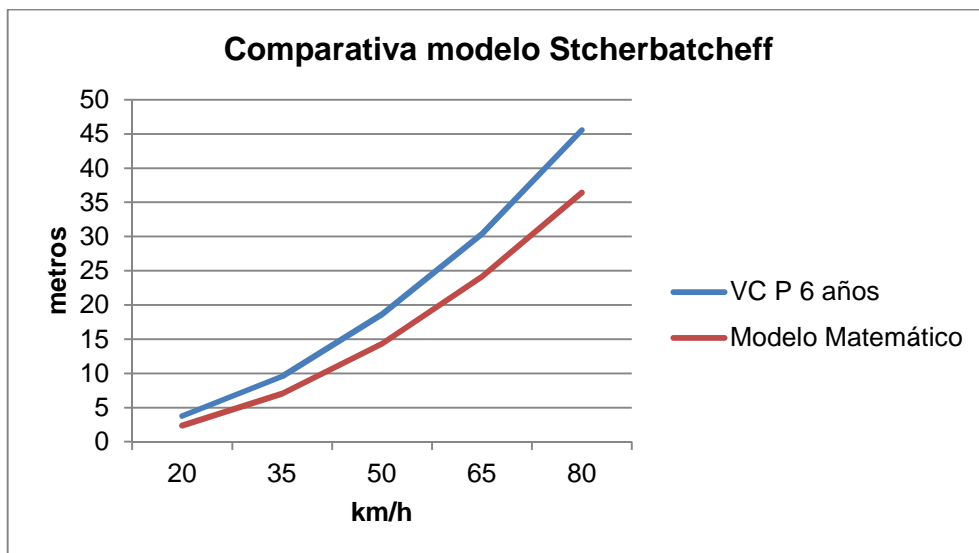


Figura núm. 7-16. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de 7 m/s<sup>2</sup> con peatones de 6 años comparando los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff y del programa Virtual Crash.

Los resultados mostrados indican que los valores obtenidos con Virtual Crash están ligeramente por encima de los obtenidos con el modelo matemático, siendo más significativa la diferencia a velocidades de atropello bajas (20-35 km/h).



√ Geometrías.

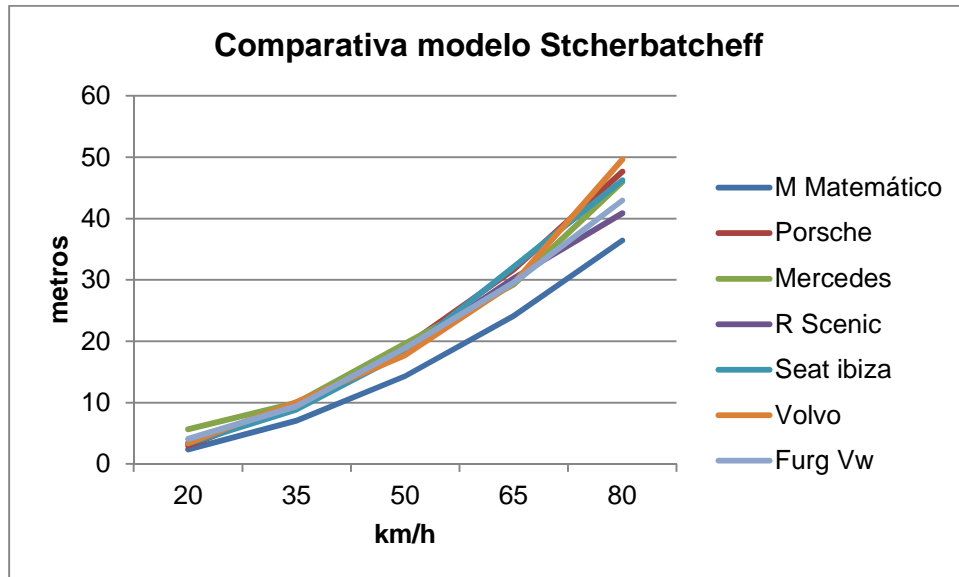


Figura núm. 7-17. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Stcherbatcheff.

Todas las geometrías de los vehículos establecen unas distancias de proyección superiores a las obtenidas con el modelo matemático, siendo más significativo este hecho para velocidades de  $65 \text{ km/h}$  en las geometrías Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0). A velocidades de  $80 \text{ km/h}$  destacan por su aumento de distancia de proyección, además de las anteriores, las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

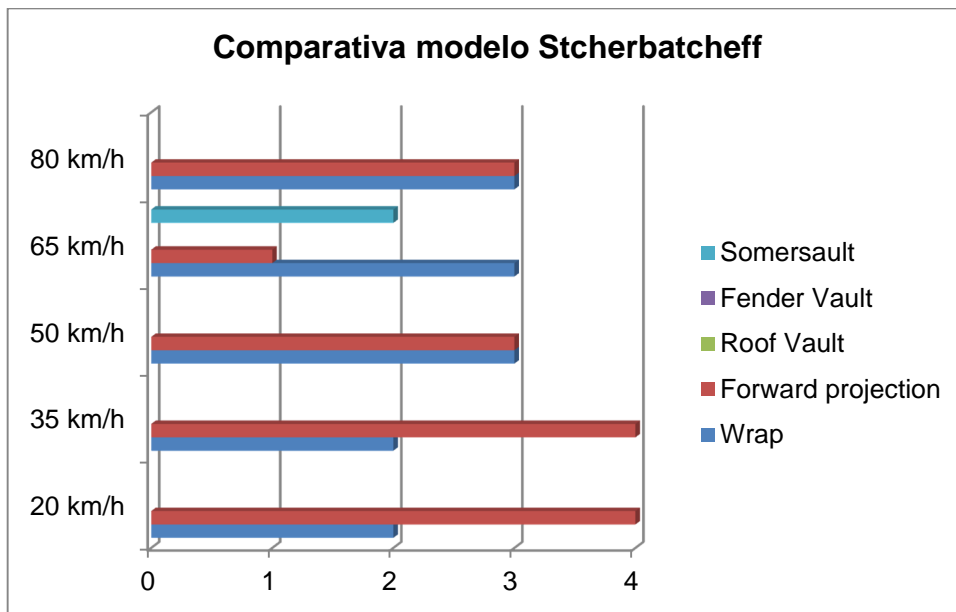


Figura núm. 7-18. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $7 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años utilizando el modelo de Stcherbatcheff.

La trayectoria post-impacto más común para este peatón es la denominada Forward Projection, seguida de la trayectoria Wrap.

#### 7.1.1.7. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Stcherbatcheff.

El modelo físico-matemático, en cuanto a la distancia de proyección, comparándolo con los resultados obtenidos con el programa Virtual Crash, tiene un grado de fiabilidad alto con deceleraciones medias ( $5,5 \text{ m/s}^2$ ) tanto para peatones adultos como peatones de 6 años. En el caso de las otras dos deceleraciones los resultados, también para ambos peatones, tienen un grado de fiabilidad medio-alto.

Se ha comprobado la influencia de todas las geometrías del frontal del vehículo que atropella, aumentando o disminuyendo distancias de proyección, no destacando ninguna en concreto.

Las trayectorias post-impacto más comunes son Wrap y Forward Projection.

En base a lo anterior, se puede establecer que la utilización de dicho modelo físico-matemático es bastante fiable ante atropellos con deceleraciones medias objetivadas, sin distinción de tamaño del peatón y para trayectorias post-impacto Wrap o Forward Projection.

### 7.1.2. MODELO DE COLLINS

En el modelo físico-matemático se utilizaron las siguientes variables:

- √ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.
- √ Coeficiente de fricción de 0,8, según propuesta del autor del modelo.
- √ Altura aproximada de los centros de gravedad de los peatones correspondientes a las tallas<sup>6</sup> 1,75 m, 1,40 m y 1,00 m.

Con esas variables se obtuvieron los resultados que se exponen a continuación.

<b>Velocidad / altura c.d.g</b>	<b>1 m</b>	<b>0,8 m</b>	<b>0,6 m</b>
<b>20 km/h</b>	4,46 m	4,20 m	3,90 m
<b>35 km/h</b>	10,41 m	9,94 m	9,42 m
<b>50 km/h</b>	18,57 m	17,91 m	17,15 m
<b>65 km/h</b>	28,94 m	28,08 m	27,10 m
<b>80 km/h</b>	41,52 m	40,46 m	39,26 m

Tabla núm. 7-8. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Collins.

<sup>6</sup> “Estudios Españoles de Crecimiento 2010” Carrascosa A., et al, 2010, tomando como referencia la altura recogida en dichos Estudios para valores medios entre varones y mujeres de las siguientes categorías: adultos, 10 años, 3 años y 6 meses, siendo reducidos un 40 % para calcular aproximadamente la altura del centro de gravedad.

En las simulaciones con el programa Virtual Crash, se utilizarán unas variables comunes y otras diferentes según se expone a continuación, incluyéndose las utilizadas en el modelo físico-matemático:

VARIABLES COMUNES:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,75.
- Coeficiente de fricción peatón-calzada, 0,8.
- Peatón dotado de velocidad, dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004), atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

OTRAS VARIABLES:

- Tipo de vehículo (6 tipos de vehículos con seis frontales distintos).
- Edad peatón (3 distintos, 1 adulto, 1 niño de 10 años y 1 niño de 3 años y 6 meses, al objeto de simular las alturas de los centros de gravedad estudiados en el modelo físico-matemático).

Como ya se indicó en su momento, este cálculo está ideado para atropellos en los que el peatón sufre un desplazamiento horizontal en la misma dirección que la fuerza de impacto del vehículo. Su metodología sugería que debía utilizarse en trayectorias post-atropello tipo Forward Projection.

Para obtener resultados relativos a distancia de proyección, se compararán los valores medios de los resultados obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los tres multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático, excluyéndose aquéllos resultados en los que se ha dado alguna circunstancia anómala (arrastre o transporte del multibody por el vehículo, ...); además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

### 7.1.2.1. Peatón hombre adulto

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,81 m	4,46 m	42,89
35 km/h	15,87 m	10,41 m	34,40
50 km/h	22,97 m	18,57 m	19,16
65 km/h	32,78 m	28,94 m	11,71
80 km/h	49,81 m	41,52 m	16,64

Tabla núm. 7-9. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Collins para peatones adultos.

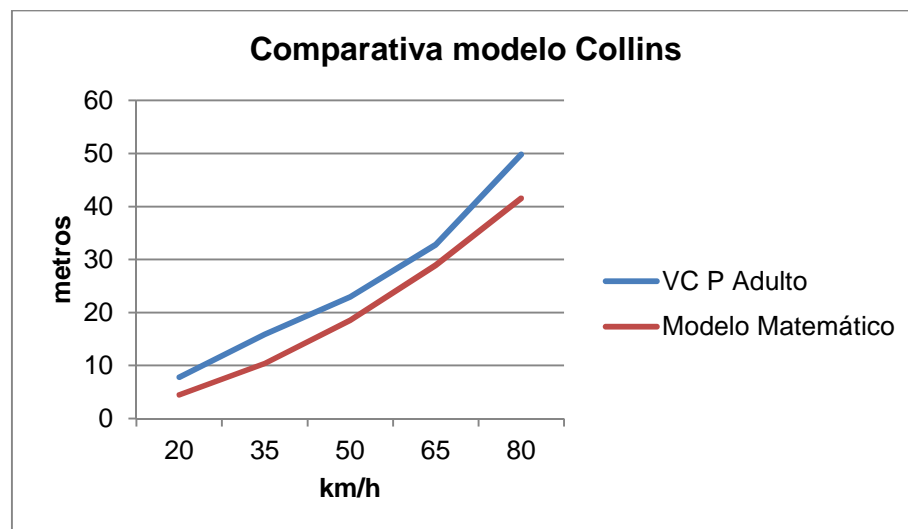


Figura núm. 7-19. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello comparando los datos del modelo físico-matemático de Collins y los datos obtenidos con el programa Virtual Crash para peatones adultos.

Los valores obtenidos con respecto a este parámetro con el programa Virtual Crash, se encuentran por encima de los obtenidos con el modelo físico-matemático; esta diferencia es más significativa a velocidades bajas (20-25 km/h).

√ Geometrías.

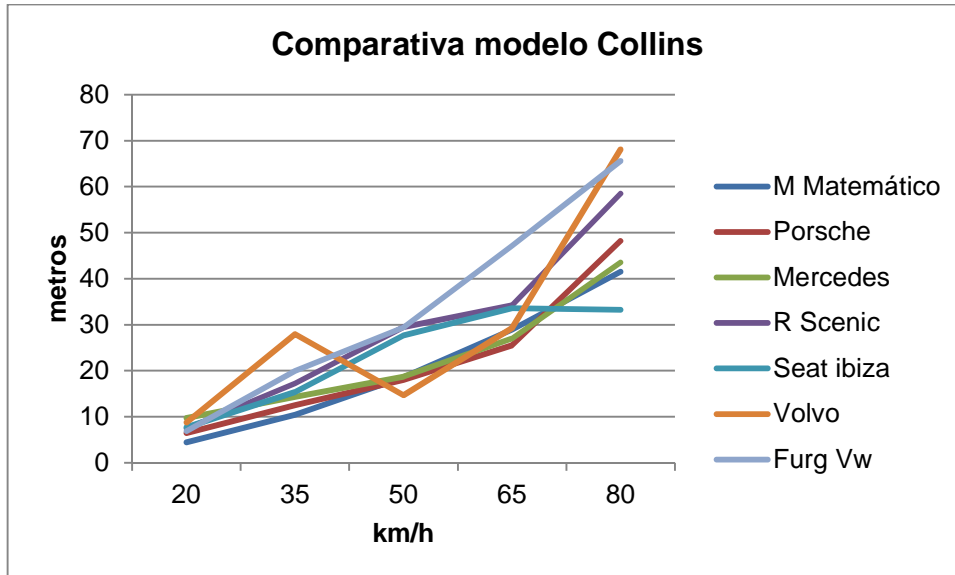


Figura núm. 7-20. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Collins.

En el gráfico se observa que a velocidades de 20 km/h, todas las geometrías mantienen una aproximación bastante ajustada al modelo matemático. A 35 km/h, si bien, todas las geometrías influyen al aumentar el resultado de la distancia de proyección, este valor se incrementa notablemente con la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), descartándose el resultado de la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) al haberse producido como consecuencia de una circunstancia anómala en el atropello. A 50 km/h, las geometrías Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), elevan el resultado de la distancia de proyección, al contrario que la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) que la reduce ligeramente. A 65 km/h destaca la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), siendo irregular el resultado de las otras geometrías al elevar unas y reducir otras esa distancia de proyección. En velocidades de atropello de 80 km/h, todas las geometrías elevan el resultado de la distancia obtenida, destacando en este aspecto la geometría Box shape (Furgoneta

Volkswagen LT 28 2.3), descartándose el resultado de la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) por la misma causa que la citada anteriormente; destaca por ser la única geometría que reduce la distancia de proyección la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

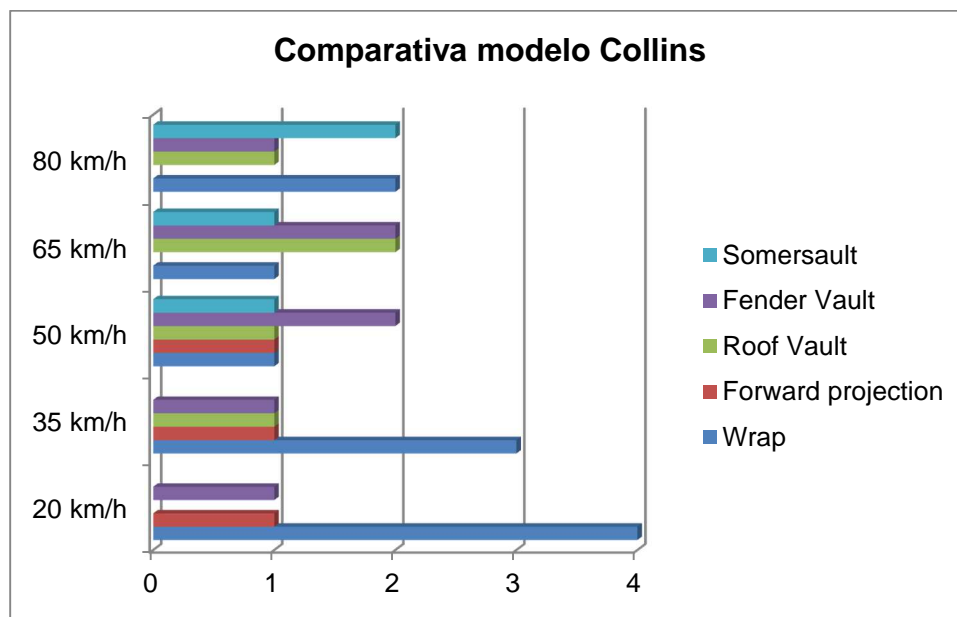


Figura núm. 7-21. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando el modelo de Collins.

Para velocidades de 20 y 35 km/h, la trayectoria más común es la denominada Wrap. A partir de esas velocidades no existe una trayectoria característica.

### 7.1.2.2. Peatón niño 10 años

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash fueron los siguientes:

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Niño 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,51 m	4,20 m	50,65
35 km/h	14,4 m	9,94 m	30,97
50 km/h	19,31 m	17,91 m	7,25
65 km/h	28,32 m	28,08 m	0,85
80 km/h	45,26 m	40,46 m	10,61

Tabla núm. 7-10. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Collins para peatones de 10 años.

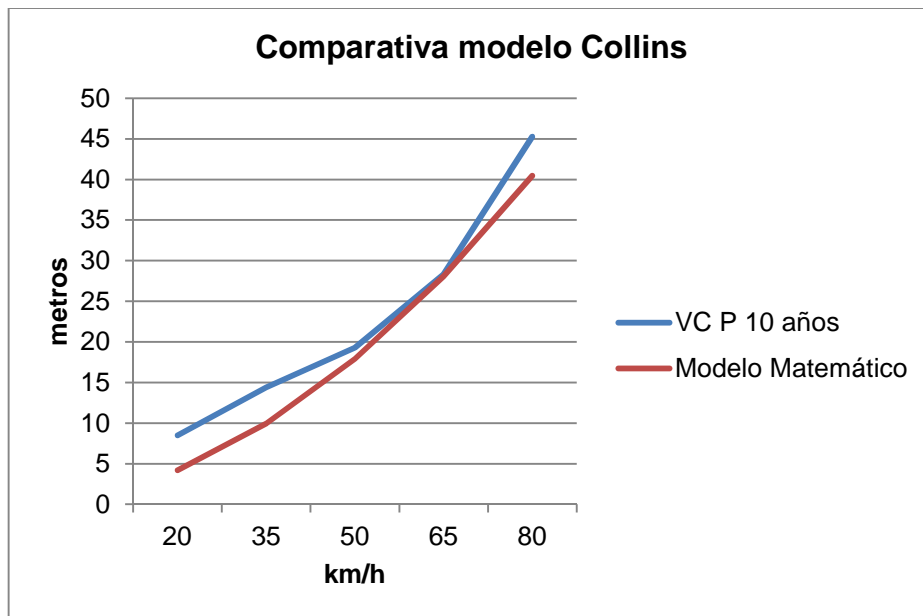


Figura núm. 7-22. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello comparando los datos del modelo físico-matemático de Collins y los datos obtenidos con el programa Virtual Crash para peatones de 10 años.



Los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están por encima de los obtenidos con el modelo físico-matemático, ajustándose bastante a velocidades de 50 y 65 km/h.

√ Geometrías.

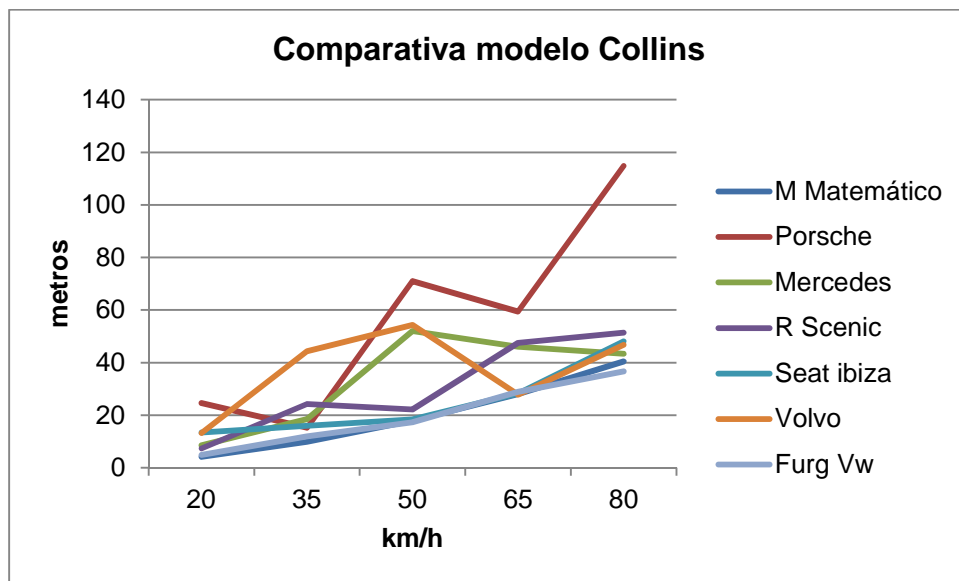


Figura núm. 7-23. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 10 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Collins.

Utilizando los parámetros descritos, en este atropello se han producido numerosas incidencias en prácticamente todas las geometrías utilizadas, salvo la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), en la que se observa que los resultados obtenidos son bastante similares a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

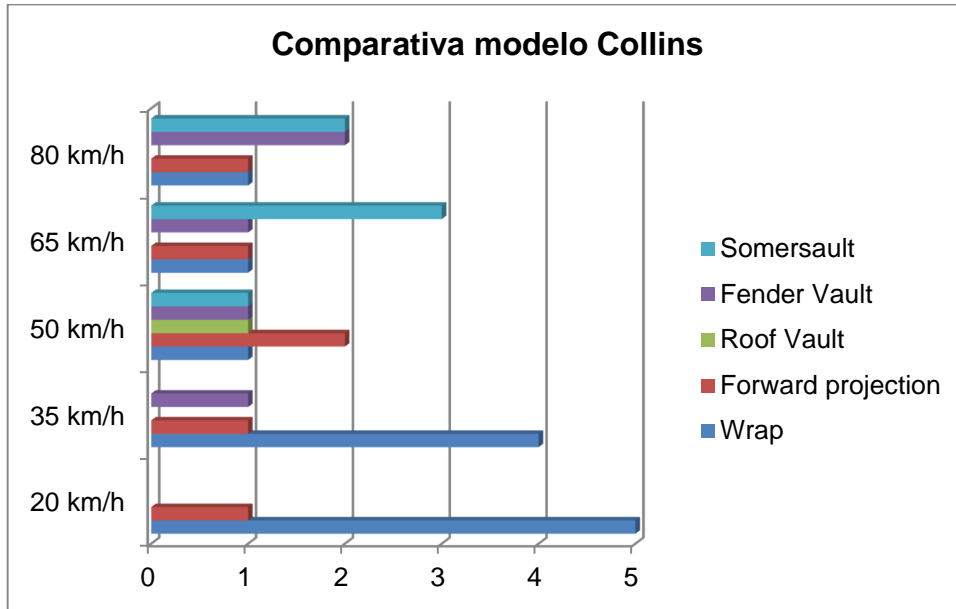


Figura núm. 7-24. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 10 años utilizando el modelo de Collins.

Al igual que en el caso anterior, para velocidades de 20 y 35 km/h, la trayectoria más común es la denominada Wrap. A partir de esas velocidades no existe una trayectoria característica, aunque se podría mencionar la trayectoria Somersault para velocidades de 65 km/h.

### 7.1.2.3. Peatón niño 3 años y 6 meses

Los resultados obtenidos de dichas simulaciones con el programa Virtual Crash son las que se exponen tanto de forma numérica como gráfica.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Niño 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,17 m	3,90 m	6,47
35 km/h	9,77 m	9,42 m	3,58
50 km/h	18,63 m	17,15 m	7,94
65 km/h	31,43 m	27,10 m	13,78
80 km/h	36,63 m	39,26 m	7,18

Tabla núm. 7-11. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Collins para peatones de 3 años y 6 meses.

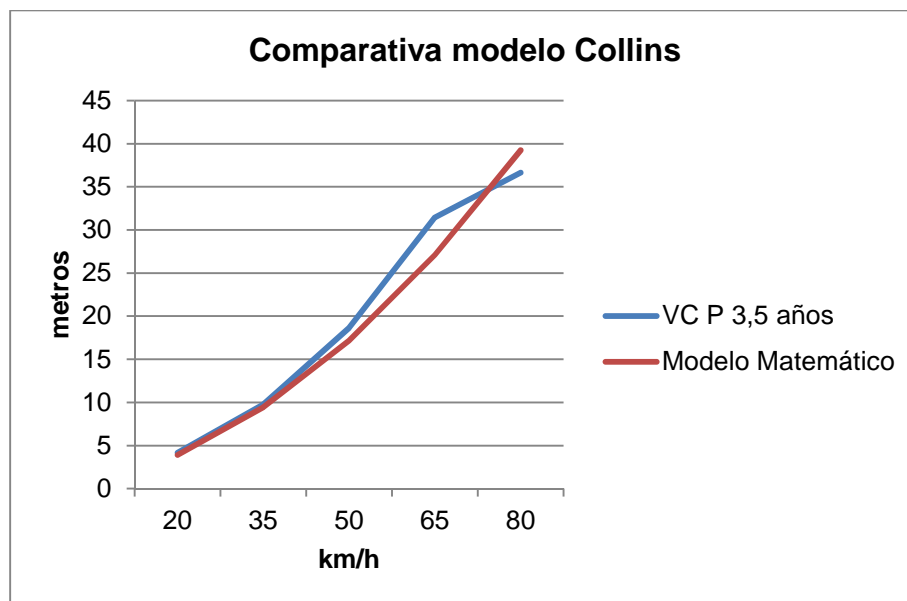


Figura núm. 7-25. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello comparando los datos del modelo físico-matemático de Collins y los datos obtenidos con el programa Virtual Crash para peatones de 3 años y 6 meses.

Los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están bastante ajustados a los obtenidos con el modelo físico-matemático, salvo a velocidades de 65 km/h en las que existe un ligero incremento.

√ Geometrías.

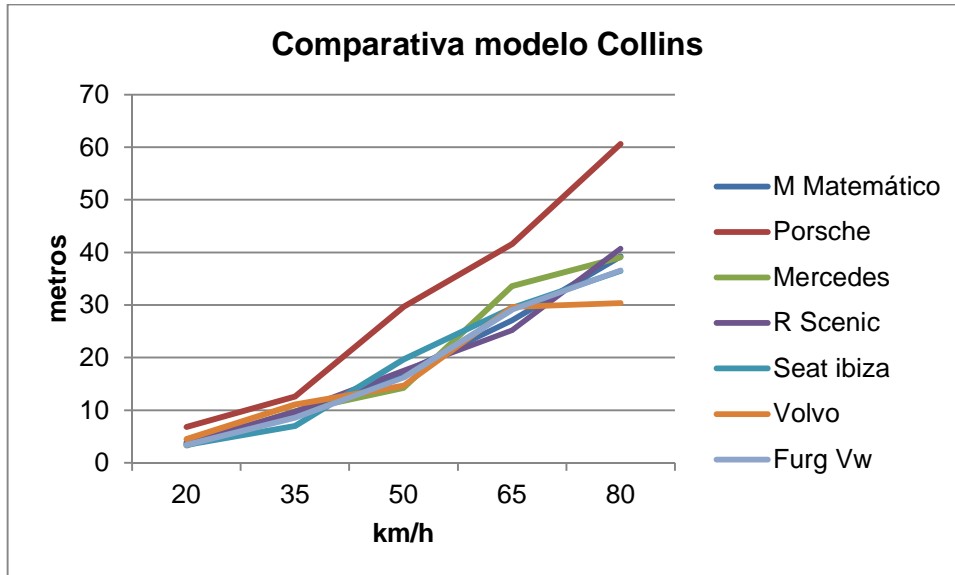


Figura núm. 7-26. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Collins.

En atropellos a velocidades de 20-35 km/h no se observa influencia significativa de las geometrías para obtener los resultados de distancias de proyección. A velocidades superiores, destaca la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera), que eleva considerablemente el resultado de las distancias y la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) que reduce el resultado a velocidades de 50 y 80 km/h.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

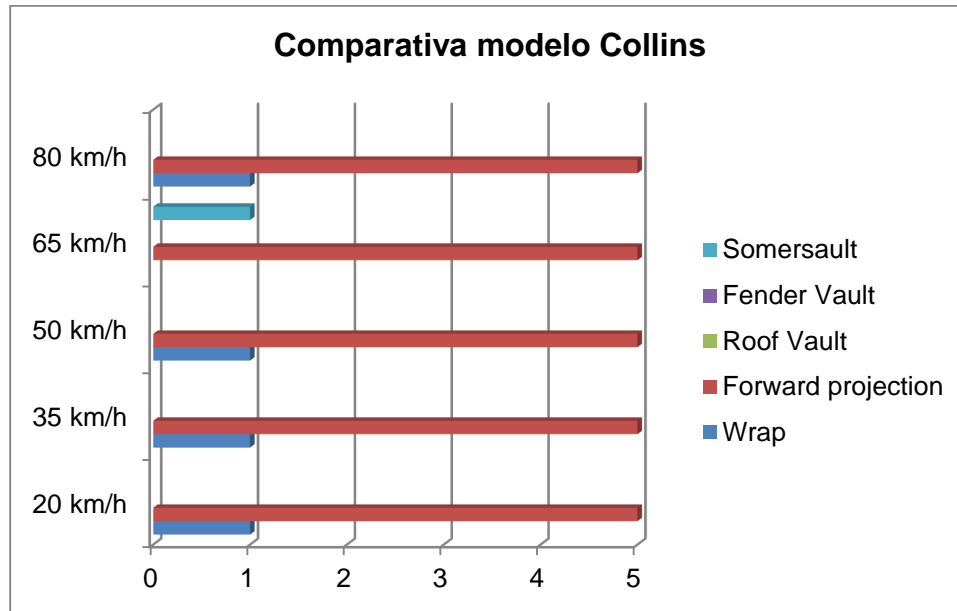


Figura núm. 7-27. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando el modelo de Collins.

La trayectoria Forward Projection es la más común prácticamente en todos los atropellos, con respecto al resto de trayectorias en los movimientos post-atropello de los multibodies.

#### 7.1.2.4. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Collins.

Los resultados de distancia de proyección del modelo físico-matemático están generalmente por debajo en comparación con los obtenidos con el programa Virtual Crash, si bien, mientras que para peatones adultos y niños de 10 años el grado de fiabilidad es medio-alto al ir éste aumentando a medida que es mayor la velocidad de atropello, con peatones de 3,5 años los resultados están más ajustados y por tanto el grado de fiabilidad es más alto, independientemente de la velocidad de atropello.

La geometría del frontal del vehículo que atropella influye en los resultados con respecto al desplazamiento que sigue el peatón. En este sentido las geometrías que pueden producir un desplazamiento más horizontal del peatón ajustan los resultados más que aquellas otras en las que ese movimiento no se produce (hecho que se constata en el atropello a multibodies de 3,5 años).

Salvo para el multibody de 3,5 años, en que la única trayectoria prácticamente presente es Forward Projection, en el resto del conjunto de atropellos estudiados no destaca ninguna.

Todo lo anterior indica, como así lo sugirió su autor, que la utilización del modelo matemático al tener un mayor grado de fiabilidad, es más adecuado cuando los peatones siguen una trayectoria horizontal post-impacto (Forward Projection), teniendo en cuenta la altura de su centro de gravedad y la geometría del vehículo que lo atropella, indicado por tanto, especialmente, para peatones niños o adultos atropellados con las mencionadas características.

### 7.1.3. MODELO DE SEARLE

En el modelo físico-matemático se utilizaron las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Coeficientes de fricción de 0,5, 0,7 y 0,9, por considerarse valores medios sobre distintas superficies y prendas de vestir.

√ Altura aproximada de los centros de gravedad de los peatones correspondientes a las tallas<sup>7</sup> 1,75 m y 1,16 m.

---

<sup>7</sup> “Estudios Españoles de Crecimiento 2010” Carrascosa A., et al, 2010, tomando como referencia la altura recogida en dichos Estudios para valores medios entre varones y mujeres de las siguientes categorías: adultos y menor de 6 años.

Los resultados obtenidos fueron los que se exponen en las siguientes tablas:

- Peatón adulto

<b>Velocidad (+20%) / Coeficiente fricción</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>
<b>20 km/h</b>	3,01 m	2,57 m	2,36 m
<b>35 km/h</b>	9,19 m	7,86 m	7,23 m
<b>50 km/h</b>	18,76 m	16,04 m	14,75 m
<b>65 km/h</b>	31,70 m	27,11 m	24,92 m
<b>80 km/h</b>	48,02 m	41,06 m	37,75 m

Tabla núm. 7-12. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos utilizando el modelo de Searle.

- Peatón niño

<b>Velocidad (+10%) / Coeficiente fricción</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>
<b>20 km/h</b>	3,57 m	3,05 m	2,81 m
<b>35 km/h</b>	10,94 m	9,35 m	8,60 m
<b>50 km/h</b>	22,32 m	19,09 m	17,55 m
<b>65 km/h</b>	37,73 m	32,26 m	29,66 m
<b>80 km/h</b>	57,15 m	48,86 m	44,93 m

Tabla núm. 7-13. Resultados de la distancia de proyección para peatones niños utilizando el modelo de Searle.

Como en los casos anteriores se utilizarán una serie de variables comunes en las simulaciones a realizar con el programa Virtual Crash y otras diferentes, manteniéndose las utilizadas en el modelo físico-matemático:

VARIABLES COMUNES:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,75.
- Peatón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

OTRAS VARIABLES:

- Tipo de vehículo (6 tipos de vehículos con seis frontales distintos).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,5, 0,7 y 0,9.
- Edad peatón (2 distintos, 1 adulto y 1 niño de 6 años).

Para el análisis de la distancia de proyección, se compararán los valores medios de los resultados obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los dos multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático, según edad y coeficiente de rozamiento peatón-calzada, excluyéndose aquéllos resultados en los que se ha dado alguna circunstancia anómala (normalmente arrastre o transporte del multibody por el vehículo).

**7.1.3.1. Peatón adulto.  $\mu = 0,5$** 

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	9,03 m	3,01 m	66,67
35 km/h	18,27 m	9,19 m	49,70
50 km/h	20,85 m	18,76 m	10,02
65 km/h	45,32 m	31,70 m	30,05
80 km/h	70,16 m	48,02 m	31,56

Tabla núm. 7-14. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,5$



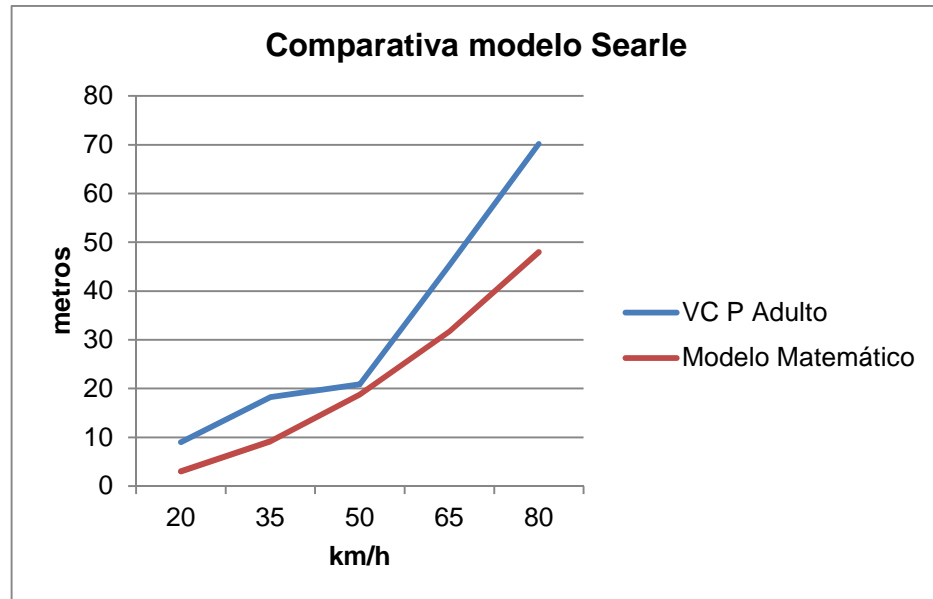


Figura núm. 7-28. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,5$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash.

Como se observa en el gráfico, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están por encima de los obtenidos con el modelo matemático, hallándose próximos a velocidades de 50 km/h.

√ Geometrías.

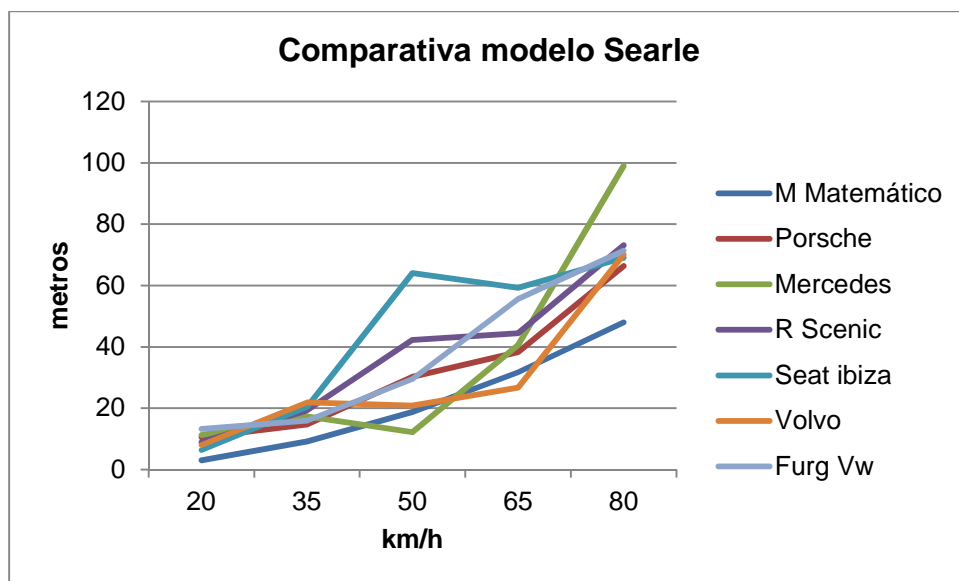


Figura núm. 7-29. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,5$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle.

A velocidades de 20 km/h (descartándose por haberse producido anomalías en el resultado de la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3)) y 35 km/h, a pesar de obtenerse resultados por encima de los obtenidos con el modelo matemático, se aprecia una tendencia estable en los mismos. Las distancias de proyección obtenidas a 50 km/h, en las que se deben descartar por los mismos motivos que la geometría anterior, las obtenidas con las geometrías Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) y Wedge shape (Porsche 911 Carrera), muestran unos resultados parejos al modelo matemático. En cuanto a la influencia de las geometrías a la velocidad de 65 km/h, destaca por elevar considerablemente el resultado, la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0). Con velocidades de 80 km/h todas las geometrías elevan la distancia de proyección de referencia obtenida con el modelo matemático, debiéndose excluir por los mismos motivos anteriores la obtenida con la geometría Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

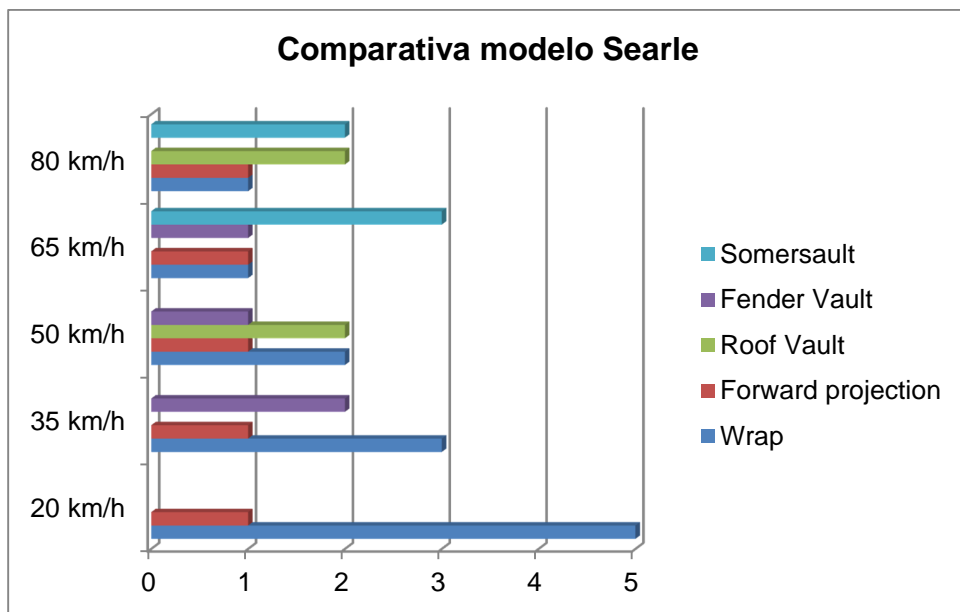


Figura núm. 7-30. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,5$  según el modelo de Searle.

La trayectoria post-impacto más común para este peatón es la denominada Wrap (especialmente a velocidades de 20 y 35 km/h). A medida que se va aumentando la velocidad, se van produciendo otra serie de trayectorias, destacando la trayectoria Somersault.

### 7.1.3.2. Peatón adulto. $\mu = 0,7$

Se exponen a continuación los resultados y gráficos obtenidos tras las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,37 m	2,57 m	69,30
35 km/h	15,53 m	7,86 m	49,39
50 km/h	24,2 m	16,04 m	33,72
65 km/h	32,38 m	27,11 m	16,28
80 km/h	46,51 m	41,06 m	11,72

Tabla núm. 7-15. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,7$

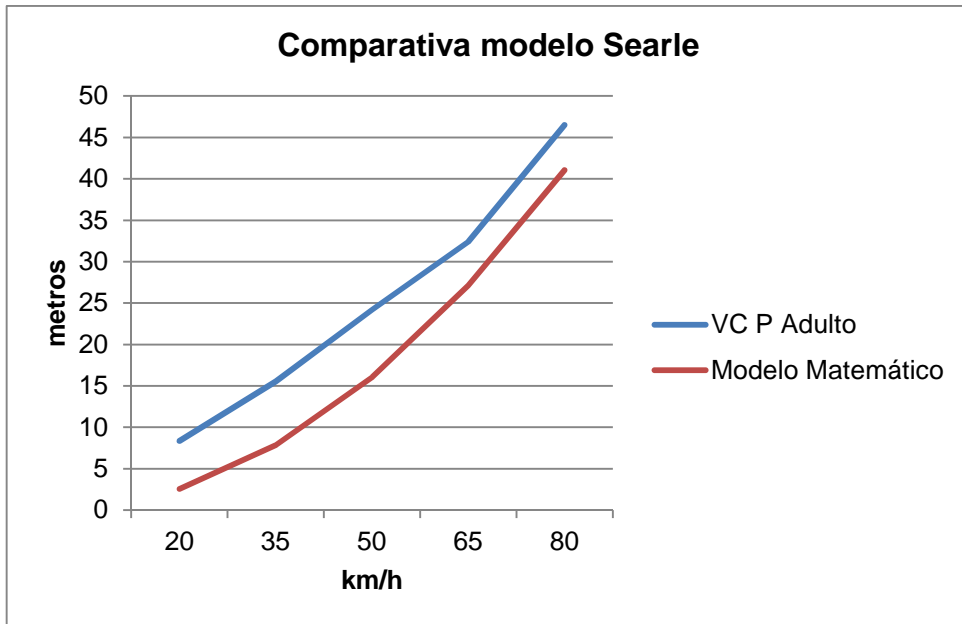


Figura núm. 7-31. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,7$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash.

Como se observa en el gráfico, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están por encima de los obtenidos con el modelo matemático, hallándose más próximos a velocidades altas (65 y 80 km/h).

√ Geometrías.

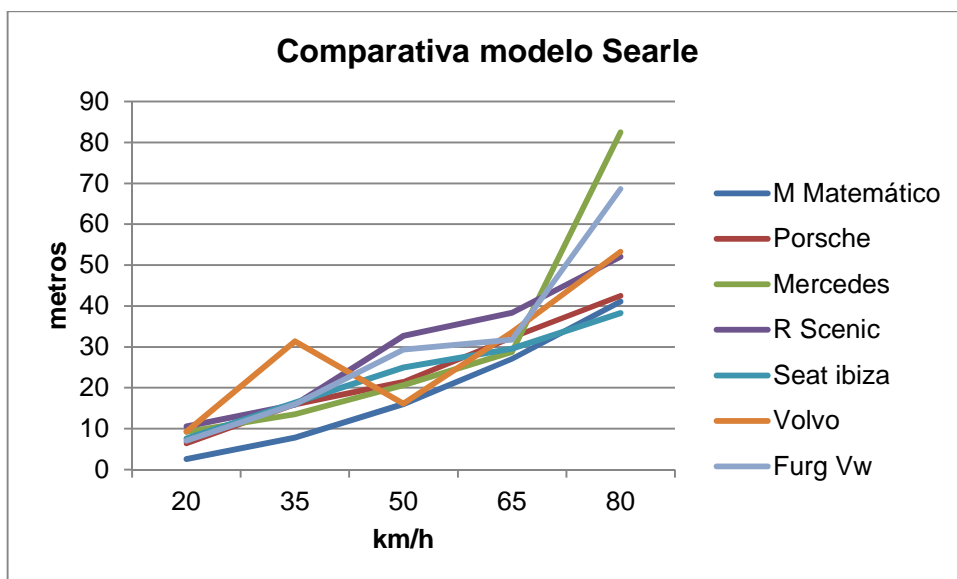


Figura núm. 7-32. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,7$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle.

Los resultados obtenidos a velocidades de 20 y 35 km/h (debiendo excluirse la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) por anomalías en el resultado), a pesar de estar por encima del valor de referencia, mantienen una tendencia estable. A velocidad de 35 km/h, destacan al elevar las distancias de proyección las geometrías Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), destacando igualmente la primera de ellas al elevar también la distancia de proyección a velocidades de 65 km/h. A velocidades de 80 km/h, se deben excluir los resultados obtenidos con las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) por anomalías detectadas; a esa velocidad, las geometrías Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8) elevan considerablemente el resultado de la distancia de proyección.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

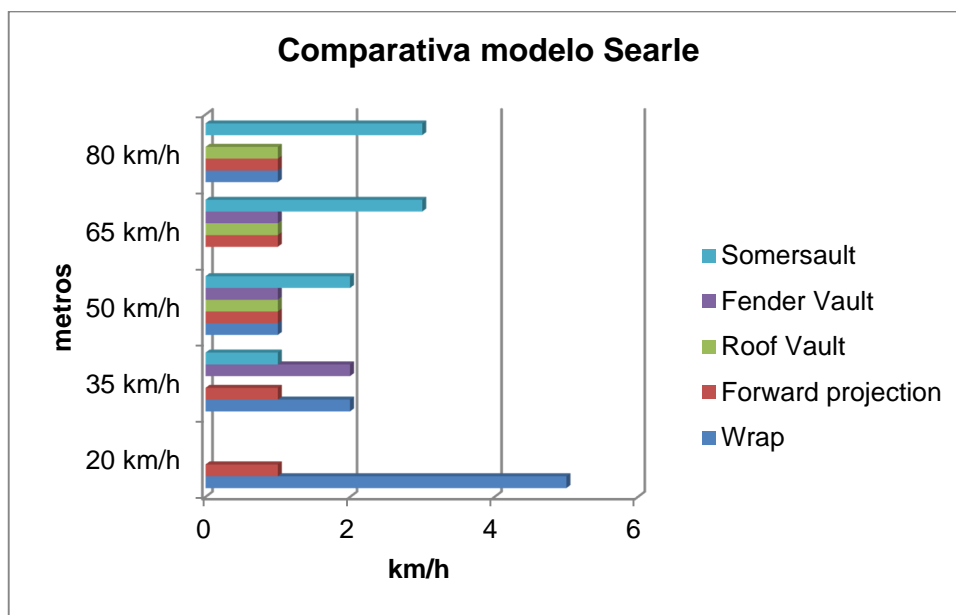


Figura núm. 7-33. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,7$  según el modelo de Searle.

La trayectoria post-impacto más común a velocidad de 20 km/h es la denominada Wrap. A velocidades superiores, sobre todo a 65 y 80 km/h, destaca la trayectoria Somersault.

### 7.1.3.3. Peatón adulto. $\mu = 0,9$

Los resultados y gráficos que se exponen son los obtenidos con el programa Virtual Crash tras realizar las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,49 m	2,36 m	68,49
35 km/h	14,38 m	7,23 m	49,72
50 km/h	21,63 m	14,75 m	31,81
65 km/h	30,99 m	24,92 m	19,59
80 km/h	47,94 m	37,75 m	21,26

Tabla núm. 7-16. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,9$

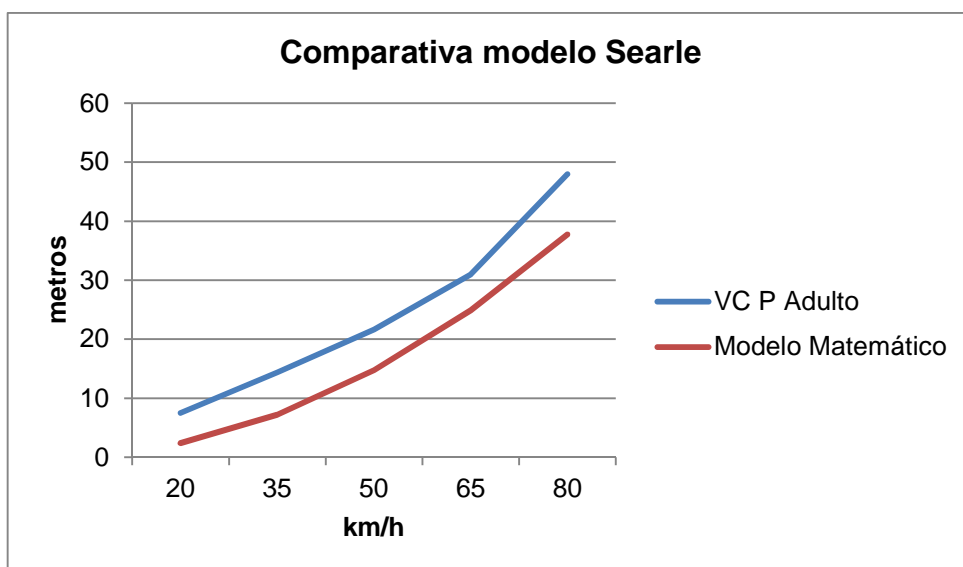


Figura núm. 7-34. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,9$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash.

Los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están por encima de los obtenidos con el modelo matemático; éstos siguen una línea estable a lo largo de las simulaciones a diferentes velocidades, si bien, se hallan más próximos a velocidades altas (65-80 km/h).

√ Geometrías.

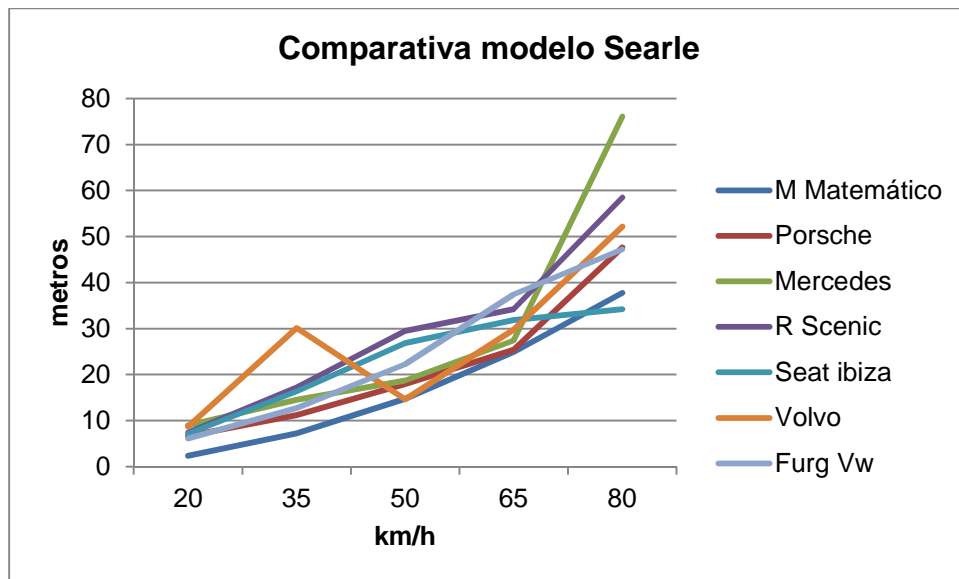


Figura núm. 7-35. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,9$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle.

Como se ha mencionado anteriormente, todos los resultados obtenidos con el programa Virtual Crash están por encima de los obtenidos con el modelo matemático. A velocidades de 20-35 km/h la tendencia es estable, debiendo descartarse el resultado obtenido con la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) a la velocidad de 35 km/h al haberse producido una anomalía en su resultado. A velocidades de 50 y 65 km/h, destacan por elevar esas distancias las geometrías Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), así como la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) a 65 km/h. A velocidades de 80 km/h, descartándose por los mismos motivos anteriores el resultado obtenido con la geometría Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), todas las geometrías elevan el resultado de la distancia de proyección, salvo la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), que la reduce.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

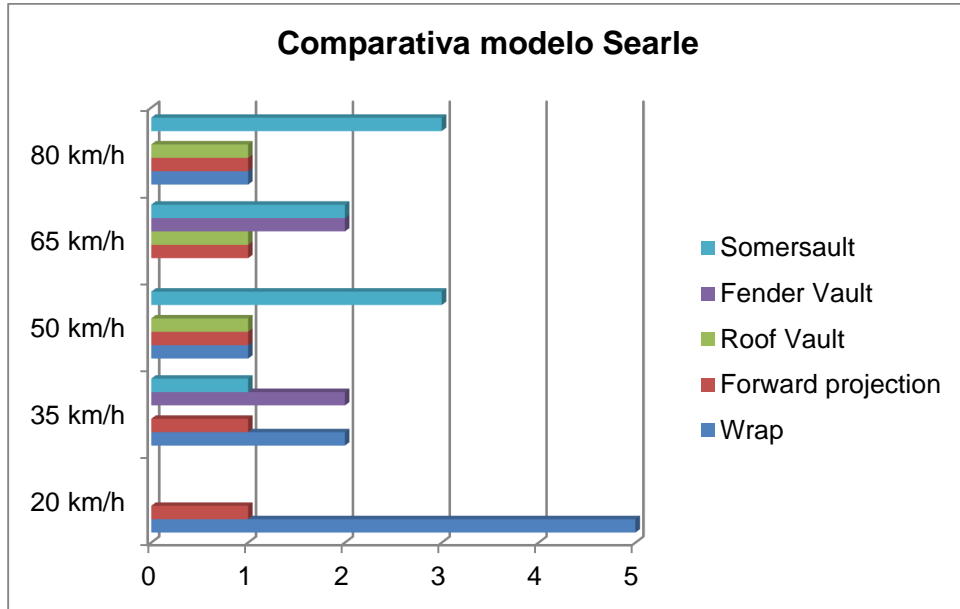


Figura núm. 7-36. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,9$  según el modelo de Searle.

La trayectoria post-impacto más común a velocidad de 20 km/h es denominada Wrap. A velocidades de 50 y 80 km/h, destaca la trayectoria Somersault.

#### 7.1.3.4. Peatón 6 años. $\mu = 0,5$

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.



√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,26 m	3,57 m	56,78
35 km/h	16,56 m	10,94 m	33,94
50 km/h	28,63 m	22,32 m	22,04
65 km/h	36,53 m	37,73 m	3,28
80 km/h	63,17 m	57,15 m	9,53

Tabla núm. 7-17. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,5$

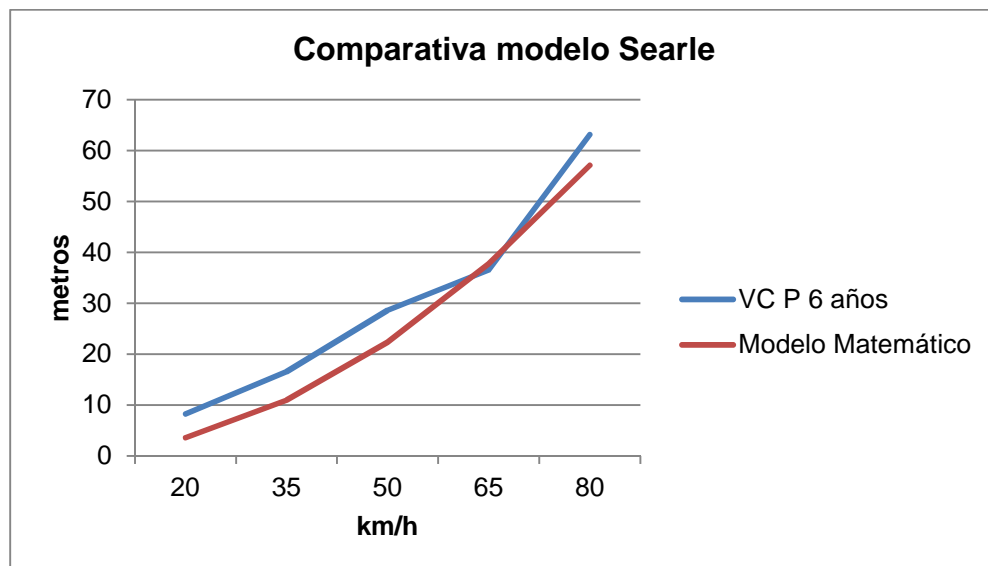


Figura núm. 7-37. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,5$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash.

Los valores obtenidos con el programa Virtual Crash muestran unas distancias de proyección mayores que los obtenidos con el modelo matemático, salvo a la velocidad de 65 km/h que se igualan y a 80 km/h que están bastante próximas.

√ Geometrías.

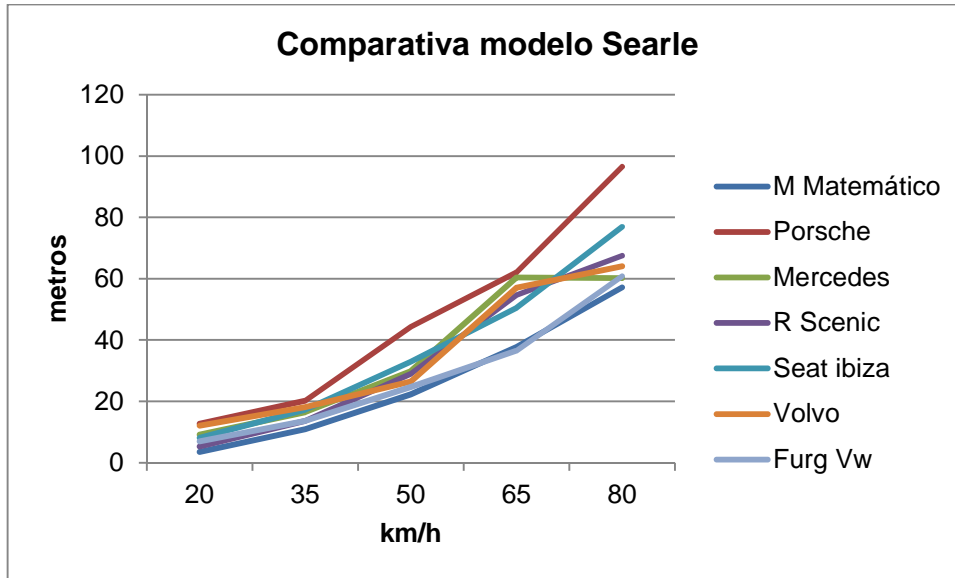


Figura núm. 7-38. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,5$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle.

Como se muestra en el gráfico, todos los resultados obtenidos mediante las simulaciones, se encuentran por encima de los obtenidos con el modelo matemático. En velocidades de 20-35 km/h aun habiéndose producido anomalías en las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8), y por tanto debiendo descartarse sus resultados, la tendencia es bastante estable para el resto de geometrías. En cuanto a la velocidad de 50 km/h, descartándose el resultado obtenido con la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera), el resto muestran unos resultados similares. A velocidades de 65 km/h se han debido descartar prácticamente todos los resultados, salvo el obtenido con la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8), que eleva considerablemente el resultado y el obtenido con la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) que está bastante ajustado. Con velocidad de atropello de 80 km/h, descartándose las dos geometrías que destacan por haber sufrido anomalías en su resultado, Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), el resto ajustan bastante su resultado al modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.



Figura núm. 7-39. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,5$ , según el modelo de Searle.

Las trayectorias post-impacto más comunes, presentes en todas las simulaciones realizadas a distintas velocidades son Forward Projection y Fender Vault, prácticamente divididas al cincuenta por ciento.

#### 7.1.3.5. Peatón 6 años. $\mu = 0,7$

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,60 m	3,05 m	33,70
35 km/h	14,15 m	9,35 m	33,92
50 km/h	21,67 m	19,09 m	11,91
65 km/h	34,62 m	32,26 m	6,82
80 km/h	49,64 m	48,86 m	1,57

Tabla núm. 7-18. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,7$ .

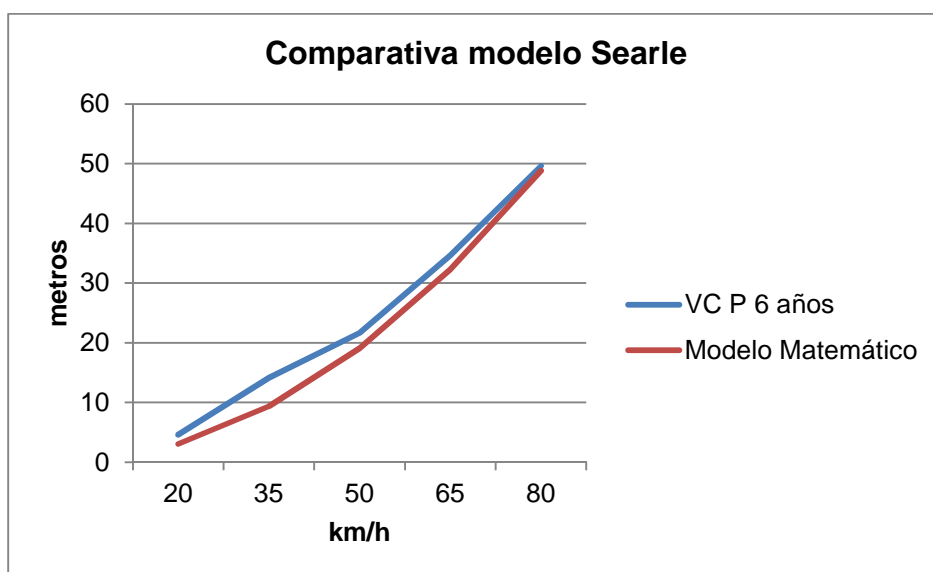


Figura núm. 7-40. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,7$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash.

Los valores obtenidos tras las simulaciones, se encuentran bastante ajustados con respecto a los obtenidos con el modelo matemático, destacándose este hecho a velocidades altas (65-80 km/h).

√ Geometrías.

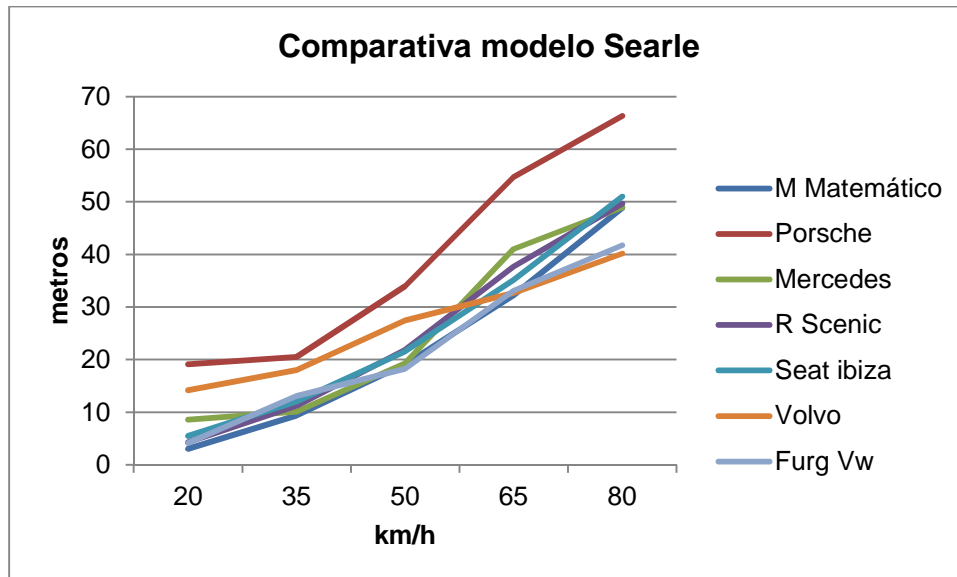


Figura núm. 7-41. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,7$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle.

En general, los resultados mostrados indican una distancia de proyección bastante ajustada al modelo matemático. A velocidad de 20 km/h, descartando las geometrías Wedge shape (Porsche 911 Carrera), Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8) por haber sufrido anomalías en los resultados, el resto están bastante ajustadas al modelo matemático. Con velocidades de 35 km/h destacan las dos geometrías últimas citadas, al elevar considerablemente la distancia de proyección. Refiriéndonos a velocidades de 50 km/h, descartando la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera), el resto muestran unos resultados bastante estables con respecto al modelo de referencia, salvo, como en el caso anterior, la trayectoria Pontoon shape (Volvo 460 1.8) que eleva la distancia de proyección. En valores de 65 km/h, descartando los valores que destacan en la gráfica, referidos a las geometrías Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), el resto muestra una tendencia bastante ajustada. En valores de 80

km/h, sin haber habido ninguna circunstancia anómala en los resultados obtenidos, destacan la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) por elevar considerablemente el resultado de la distancia de proyección, y por el contrario, las geometrías Pontoon shape (Volvo 460 1.8) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), que reducen esa distancia.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

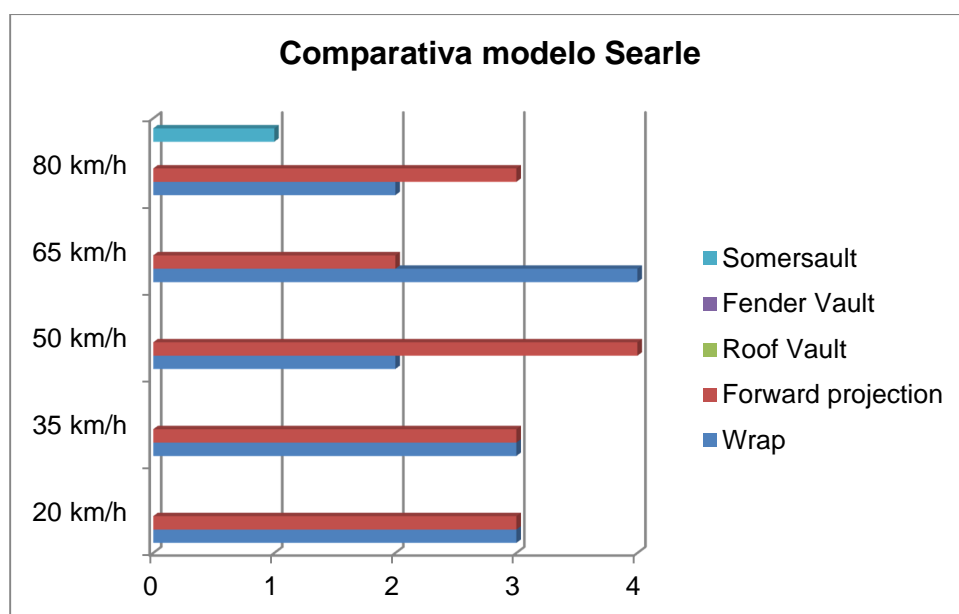


Figura núm. 7-42. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,7$ , según el modelo de Searle.

Al igual que en el caso anterior, y prácticamente al cincuenta por ciento, las trayectorias más comunes en su fase post-impacto, a distintas velocidades son Forward Projection y Fender Vault.

### 7.1.3.6. Peatón 6 años. $\mu = 0,9$

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,18 m	2,81 m	54,53
35 km/h	11,33 m	8,60 m	24,10
50 km/h	17,86 m	17,55 m	1,74
65 km/h	30,83 m	29,66 m	3,80
80 km/h	40,66 m	44,93 m	10,50

Tabla núm. 7-19. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Searle para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ .

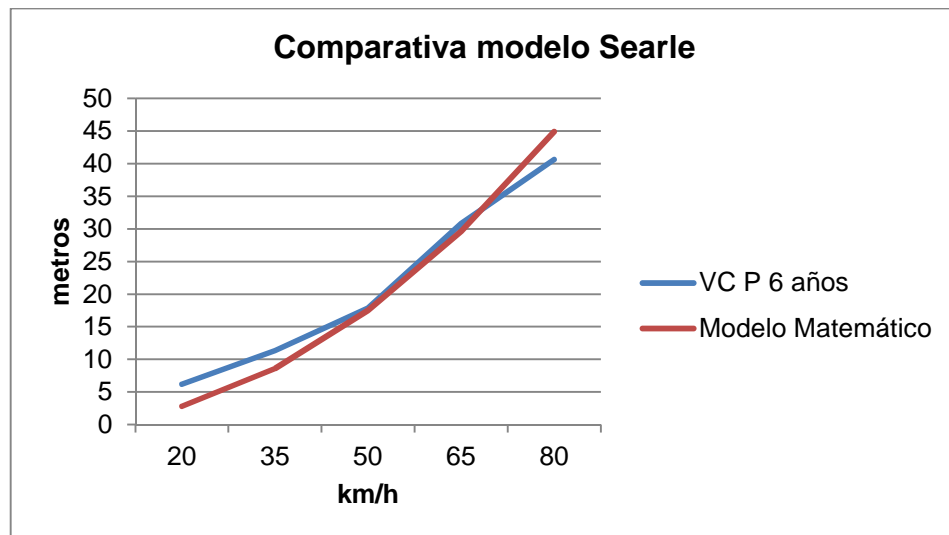


Figura núm. 7-43. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Searle y del programa Virtual Crash.

Como se muestra en el gráfico, los valores a velocidades de 20-35 km/h se encuentran ligeramente por encima de los valores obtenidos con el modelo matemático. A velocidades de 50-65 km/h son prácticamente coincidentes y, curiosamente, a velocidades de 80 km/h, los valores matemáticos están por encima de los obtenidos en las simulaciones.

√ Geometrías.

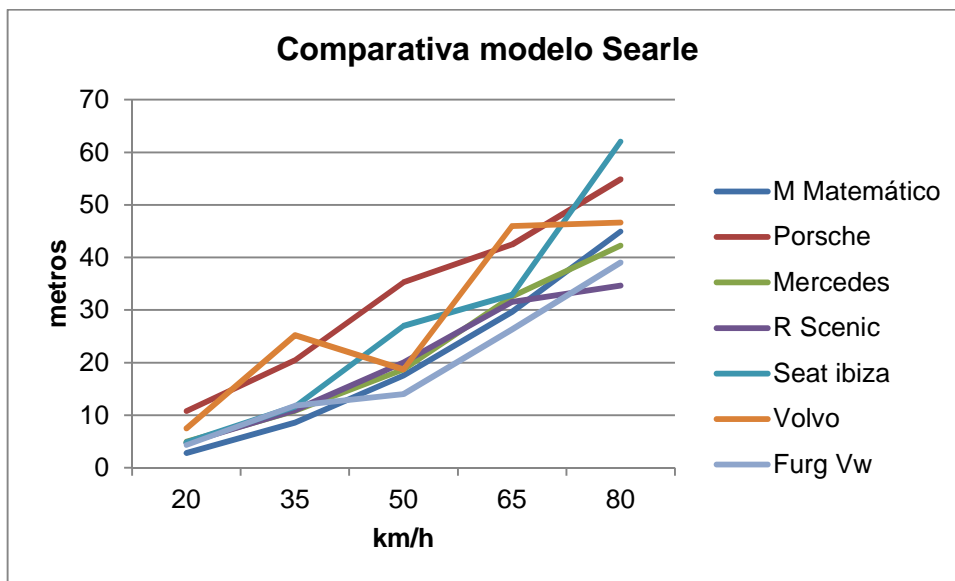


Figura núm. 7-44. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Searle.

Como en el caso anterior, el gráfico muestra unos resultados que se ajustan bastante a los obtenidos con el modelo matemático, una vez descartados los obtenidos con alguna anomalía en la simulación. Con velocidad de atropello de 20 km/h, destaca por elevar la distancia de proyección la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera), hallándose el resto muy próximas al modelo matemático. A velocidad de 35 km/h, descartándose los resultados obtenidos de las geometrías Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8), el resto muestran unos resultados similares al modelo matemático. En cuanto a la velocidad de 50 km/h, los resultados son bastante ajustados, una vez descartados los obtenidos con las geometrías destacadas Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) por anomalías observadas en su



obtención. En cuanto a la velocidad de 65 km/h, como en los casos anteriores, descartadas las geometrías por anomalías en sus resultados, en este caso nuevamente Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8), el resto continua mostrando similitud en su comparativa con el modelo matemático. En las simulaciones realizadas a 80 km/h, descartando los resultados obtenidos con las geometrías Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), destacan el resto por disminuir el resultado de la distancia de proyección en mayor o menor medida.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

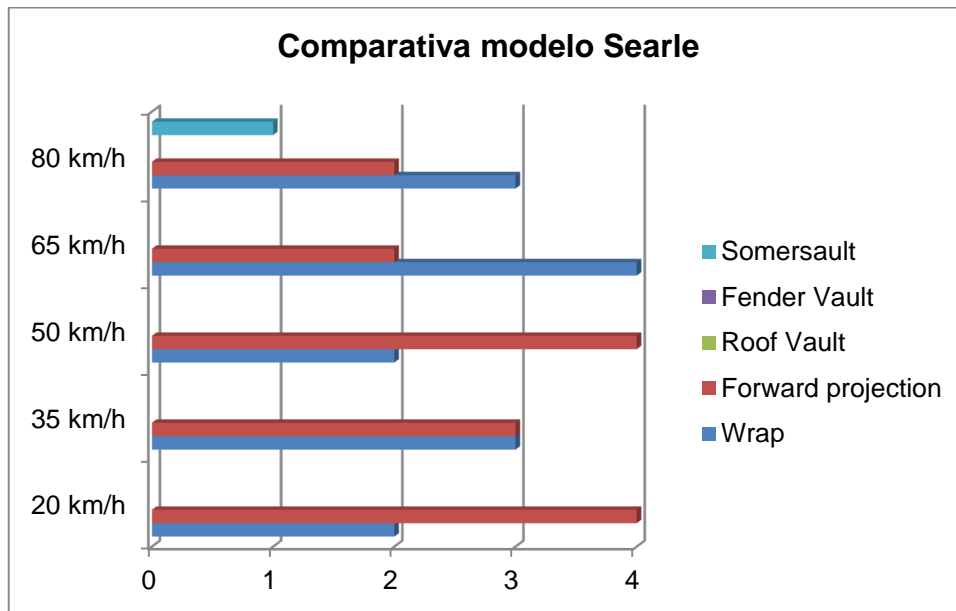


Figura núm. 7-45. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ , según el modelo de Searle.

En el caso que nos ocupa, las trayectorias post-impacto más repetidas son Forward projection y Fender Vault, prácticamente a partes iguales.

### 7.1.3.7. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Searle.

Estudiados los resultados obtenidos, se muestra que para peatones adultos, la distancia de proyección obtenida con el programa Virtual Crash está por encima que la obtenida con el modelo físico-matemático, teniendo por tanto un grado de fiabilidad medio-bajo, siendo mayor la fiabilidad a medida que aumenta la velocidad de atropello. Por el contrario, para peatones de 6 años, los resultados obtenidos están bastante ajustados a los obtenidos con el modelo de referencia, teniendo un grado de fiabilidad medio-alto, aumentando la fiabilidad, igual que en el caso anterior, con el aumento de la velocidad de atropello.

Con respecto a las geometrías, destacar que se han producido un número considerable de incidencias que han llevado a tener que descartar algunos resultados. Para peatones adultos, todas las geometrías de los vehículos han tenido bastante influencia en los resultados obtenidos, tendiendo a aumentar normalmente la distancia de proyección. En el caso de peatones de 6 años, descartando los resultados obtenidos por anomalías, no se observa una influencia decisiva de las geometrías de los vehículos en los resultados, al ajustarse bastante bien al modelo de referencia.

Para peatones adultos la trayectoria post-impacto más común ha sido la trayectoria Wrap, sobre todo a velocidades bajas (20-35 km/h), seguida de la trayectoria Somersault a velocidades elevadas (65-80 km/h). En el caso de peatones de 6 años, las dos trayectorias más repetidas, prácticamente en porcentaje idéntico, han sido Forward Projection y Fender Vault, independientemente de la velocidad de atropello y tipo de geometría.

Como conclusión a lo anterior, se estima que la utilización del modelo físico-matemático es adecuado para peatones adultos a velocidades de atropello superiores a 50 km/h con trayectorias post-impacto que impliquen volteo del peatón. En el caso de peatones niños su utilización no requeriría ninguna circunstancia especial (velocidad de atropello, geometría, trayectoria post-impacto).

### 7.1.4. MODELO DE WOOD

En el modelo físico-matemático se utilizaron las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Coeficiente de fricción de 0,43, 0,54 y 0,66, según propuesta del autor del modelo [Wood, 1991].

√ Altura estimada de los centros de gravedad de los peatones correspondientes a las tallas<sup>8</sup>: 1,77 m, 1,39 m y 0,98 m y su correspondencia en masas estimadas<sup>8</sup> para los mismos: 74,59 kg, 35,93 kg y 15,52 kg.

√ Masa de los vehículos (según tipo) de 1775 kg (Mercedes Benz CLS 350), 1530 kg (Renault Scenic 1.9 DCi) y 985 kg (Seat Ibiza 1.0)

Los resultados obtenidos fueron los que se exponen en las siguientes tablas:

d) Peatón de 3 años y seis meses.

- Masa del vehículo: 985 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,80 m	3,15 m	2,71 m
35 km/h	11,11 m	8,97 m	7,47 m
50 km/h	22,42 m	17,98 m	14,83 m
65 km/h	37,71 m	30,15 m	24,8 m
80 km/h	56,99 m	45,5 m	37,36 m

Tabla núm. 7-20. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.

<sup>8</sup> “Estudios Españoles de Crecimiento 2010” Carrascosa A., et al, 2010, tomando como referencia la altura recogida en dichos Estudios para valores medios entre varones y mujeres de las siguientes categorías: adultos, 10 años, 3 años y 6 meses, siendo reducidos un 40 % para calcular aproximadamente la altura del centro de gravedad.

- Masa del vehículo: 1.530 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,84 m	3,18 m	2,73 m
35 km/h	11,24 m	9,06 m	7,55 m
50 km/h	22,67 m	18,17 m	14,99 m
65 km/h	38,13 m	30,48 m	25,07 m
80 km/h	57,62 m	46,00 m	37,77 m

Tabla núm. 7-21. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.775 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,85 m	3,19 m	2,74 m
35 km/h	11,27 m	9,09 m	7,57 m
50 km/h	22,73 m	18,22 m	15,03 m
65 km/h	38,23 m	30,56 m	25,14 m
80 km/h	57,78 m	46,13 m	37,87 m

Tabla núm. 7-22. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 3 años y 6 meses atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.

- e) Peatón de 10 años.

- Masa del vehículo: 985 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,75 m	3,14 m	2,74 m
35 km/h	10,77 m	8,73 m	7,32 m
50 km/h	21,63 m	17,38 m	14,39 m
65 km/h	36,30 m	29,07 m	23,96 m
80 km/h	54,83 m	43,82 m	36,03 m

Tabla núm. 7-23. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.530 kg

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,84 m	3,21 m	2,80 m
35 km/h	11,04 m	8,95 m	7,49 m
50 km/h	22,17 m	17,81 m	14,75 m
65 km/h	37,23 m	29,81 m	24,56 m
80 km/h	56,22 m	44,93 m	36,93 m

Tabla núm. 7-24. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.775 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,86 m	3,23 m	2,82 m
35 km/h	11,11 m	9,00 m	7,54 m
50 km/h	22,31 m	17,92 m	14,84 m
65 km/h	37,47 m	29,99 m	24,71 m
80 km/h	56,58 m	45,21 m	37,17 m

Tabla núm. 7-25. Resultados de la distancia de proyección para peatones de 10 años atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.

f) Peatón adulto.

- Masa del vehículo: 985 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,59 m	3,05 m	2,72 m
35 km/h	10,11 m	8,25 m	6,96 m
50 km/h	20,19 m	16,27 m	13,53 m
65 km/h	33,82 m	27,13 m	22,41 m
80 km/h	51,01 m	40,82 m	33,61 m

Tabla núm. 7-26. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 985 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.530 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,76 m	3,19 m	2,83 m
35 km/h	10,61 m	8,65 m	7,30 m
50 km/h	21,22 m	17,09 m	14,20 m
65 km/h	35,56 m	28,52 m	23,55 m
80 km/h	53,65 m	42,92 m	35,33 m

Tabla núm. 7-27. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 1.530 kg utilizando el modelo de Wood.

- Masa del vehículo: 1.775 kg.

Velocidad/ $\mu$	0,43	0,54	0,66
20 km/h	3,80 m	3,22 m	2,85 m
35 km/h	10,75 m	8,75 m	7,38 m
50 km/h	21,49 m	17,31 m	14,38 m
65 km/h	36,02 m	28,88 m	23,84 m
80 km/h	54,34 m	43,47 m	35,78 m

Tabla núm. 7-28. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos atropellados con vehículos cuya masa es de 1.775 kg utilizando el modelo de Wood.

Para el estudio, la utilización del programa Virtual Crash vendrá determinada por la introducción en las simulaciones de variables comunes usadas en el modelo físico-matemático junto a otras variables que resultan de interés.

#### VARIABLES COMUNES:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,75.
- Peatón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

Otras variables:

- Tipo de vehículo (3 tipos de vehículos con tres masas y frontales distintos).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,43, 0,54 y 0,66.
- Edad peatón (3 distintos, 1 adulto, 1 niño de 10 años y 1 niño de 3 años y 6 meses).

Para analizar los resultados obtenidos relativos a la distancia de proyección, se compararán los valores obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los tres multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático, según las variables expuestas, excluyéndose aquéllos resultados en los que se ha dado alguna circunstancia anómala (normalmente arrastre o transporte del multibody por el vehículo); además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

En el caso del análisis de geometrías y trayectorias post-impacto, se agruparán los resultados en función de la edad de los peatones atropellados y el coeficiente de rozamiento peatón-suelo utilizado.

### 7.1.4.1. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,43$

- Masa del vehículo: 985 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,43$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	5,99 m	3,80 m	36,56
35 km/h	15,16 m	11,11 m	26,72
50 km/h	31,75 m	22,42 m	29,39
65 km/h	41,97 m	37,71 m	10,15
80 km/h	66,22 m	56,99 m	13,94

Tabla núm. 7-29. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 985 kg

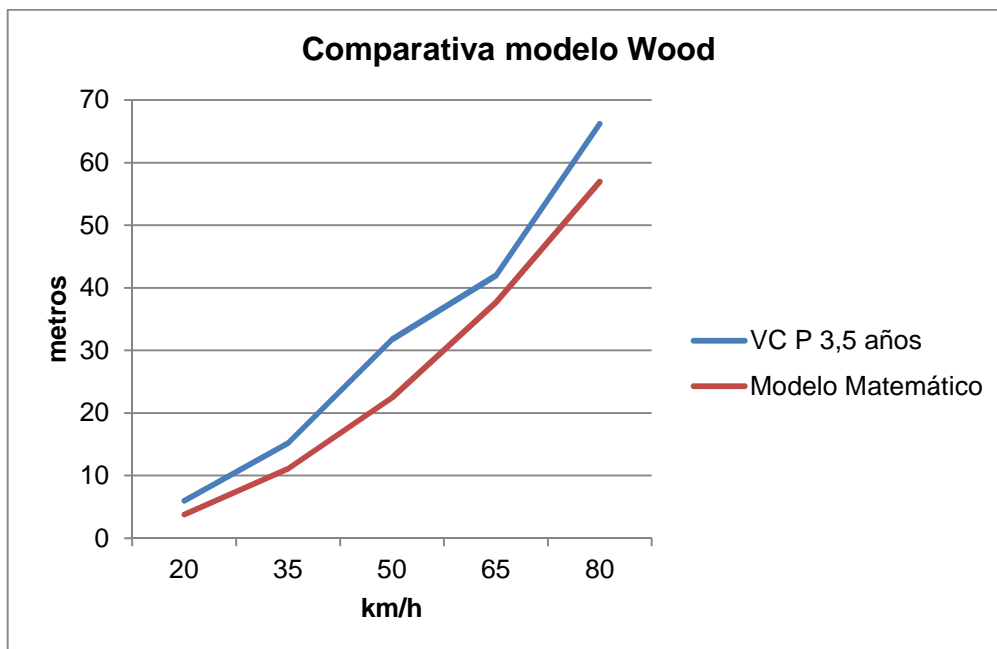


Figura núm. 7-46. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,43$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Según se observa en el gráfico, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash se encuentran por encima de los valores que se obtuvieron con el modelo físico-matemático, hallándose más próximos a velocidades superiores a 65 km/h.



- Masa del vehículo: 1530 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,43$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	5,10 m	3,84 m	24,71
35 km/h	13,38 m	11,24 m	15,99
50 km/h	26,79 m	22,67 m	15,38
65 km/h	45,76 m	38,13 m	16,67
80 km/h	67,69 m	57,62 m	14,88

Tabla núm. 7-30. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg

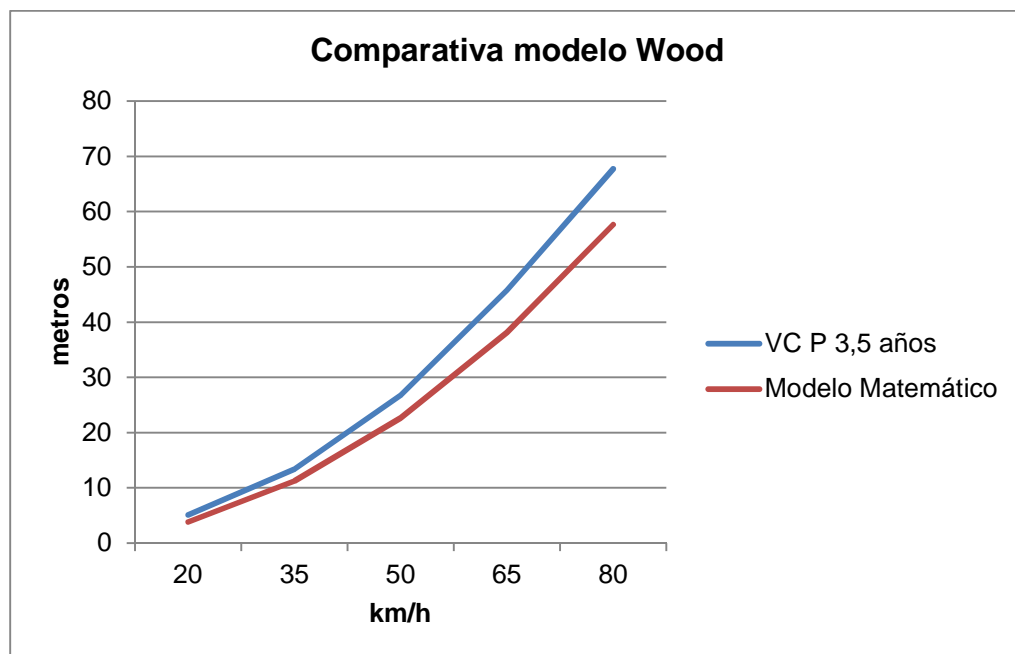


Figura núm. 7-47. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

En el gráfico se observa que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash se encuentran por encima de los valores obtenidos con el modelo físico-matemático, siguiendo una línea estable a lo largo de las simulaciones.

- Masa del vehículo: 1775 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,43$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,87 m	3,85 m	20,94
35 km/h	16,75 m	11,27 m	32,72
50 km/h	25,47 m	22,73 m	10,76
65 km/h	51,3 m	38,23 m	25,48
80 km/h	91,99 m	57,78 m	37,19

Tabla núm. 7-31. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg.

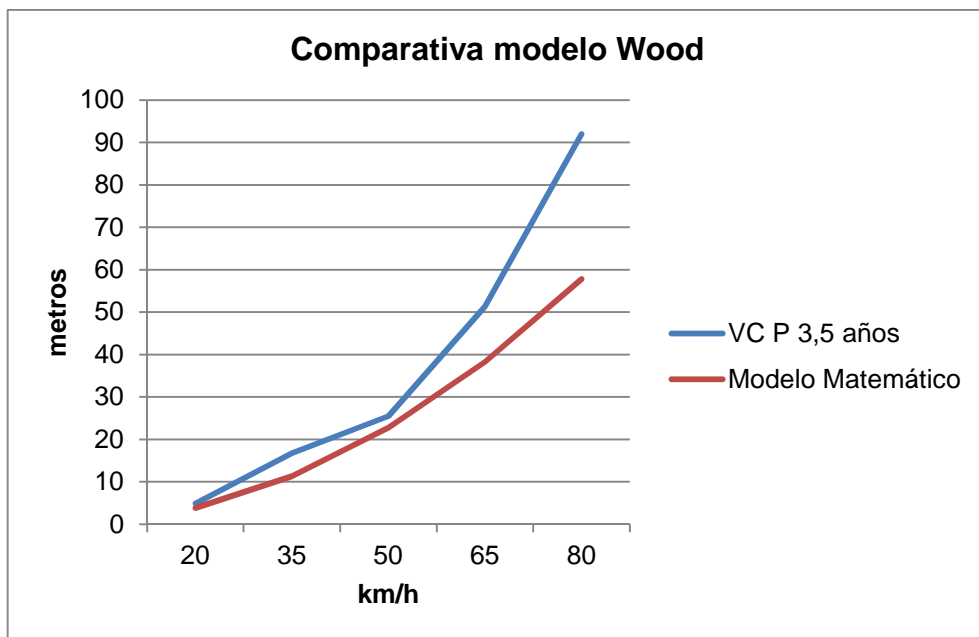


Figura núm. 7-48. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Los valores obtenidos, como se observa, están bastante próximos a los obtenidos con el modelo físico-matemático a velocidades bajas (20 y 50 km/h) y muy alejados a velocidades altas (80 km/h).

√ Geometrías.

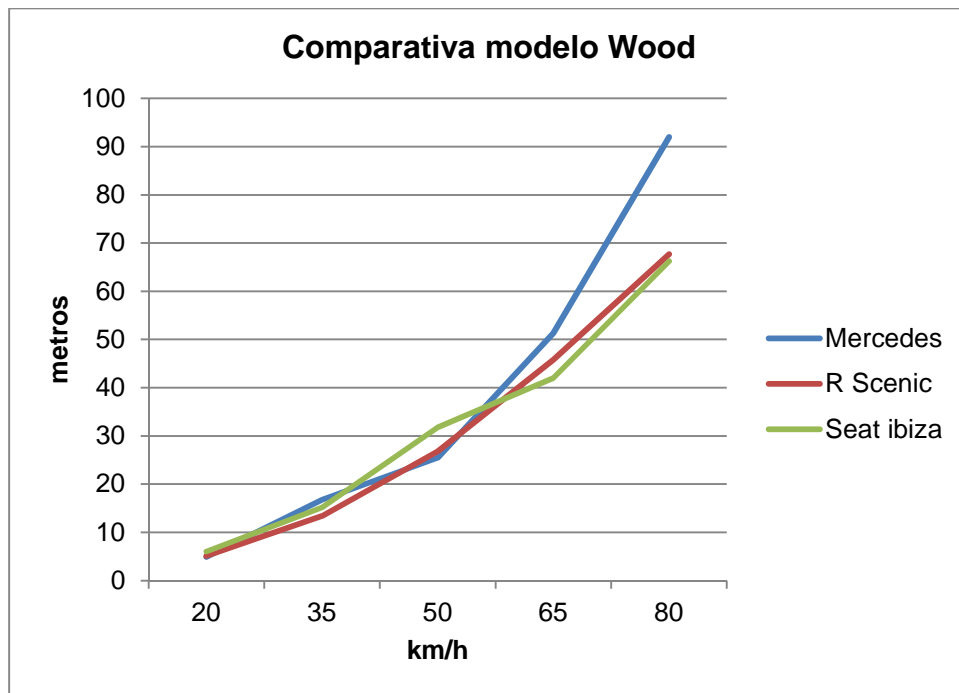


Figura núm. 7-49. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood.

El gráfico muestra que a velocidades bajas (20-35 km/h) no existe gran diferencia en los resultados obtenidos a pesar de las distintas geometrías de los vehículos implicados. A 50 km/h, la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) muestra una elevación en el resultado de la distancia de proyección con respecto a las otras dos geometrías. A velocidades de 65-80 km/h, destaca por elevar considerablemente los resultados, sobre todo a la velocidad de 80 km/h, la geometría Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.



Figura núm. 7-50. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood.

La trayectoria más común es la denominada Forward Projection, presente siempre, independientemente de la velocidad a la que se realice el atropello.

#### 7.1.4.2. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,54$

- Masa del vehículo: 985 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,54$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,67 m	3,15 m	32,55
35 km/h	12,99 m	8,97 m	30,95
50 km/h	25,98 m	17,98 m	30,79
65 km/h	36,79 m	30,15 m	18,05
80 km/h	55,87 m	45,50 m	18,56

Tabla núm. 7-32. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 985 kg

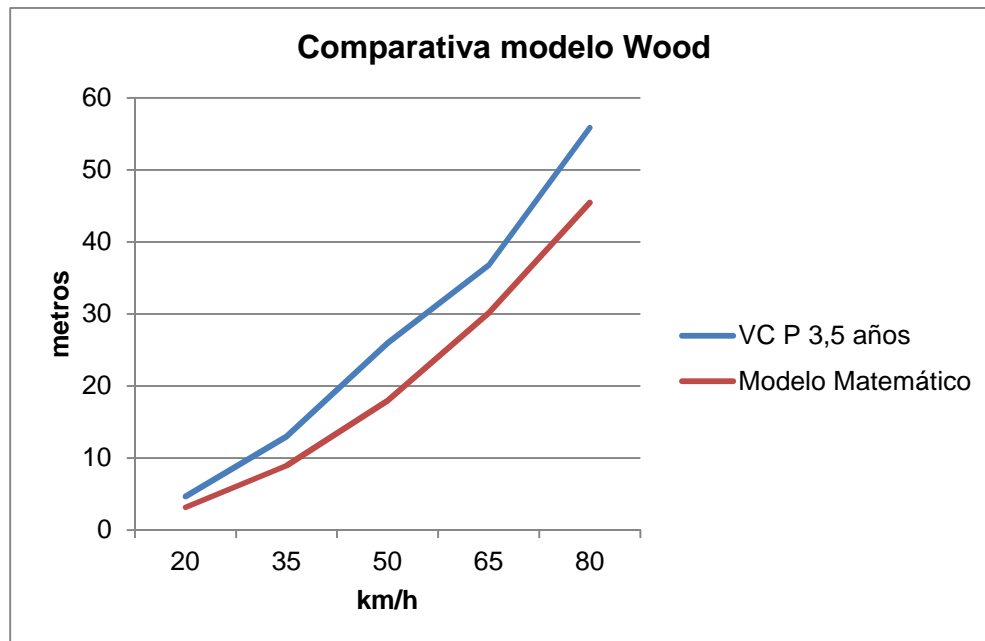


Figura núm. 7-51. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,54$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Según se observa en el gráfico, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash se encuentran por encima de los valores que se obtuvieron con el modelo físico-matemático, hallándose un poco más próximos a velocidades de 65 y 80 km/h.

- Masa del vehículo: 1530 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,54$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,72 m	3,18 m	14,52
35 km/h	10,35 m	9,06 m	12,46
50 km/h	23,01 m	18,17 m	21,03
65 km/h	40,11 m	30,48 m	24,01
80 km/h	53,88 m	46,00 m	14,63

Tabla núm. 7-33. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg

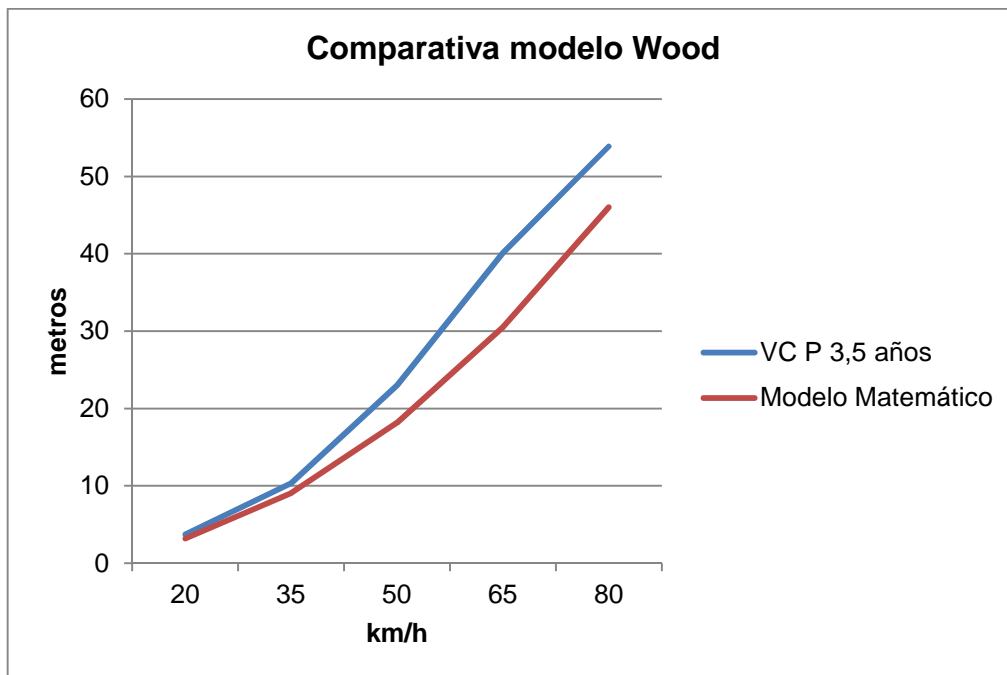


Figura núm. 7-52. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Se observa en el gráfico que a velocidades bajas (20-35 km/h), los valores obtenidos de distancia de proyección con el programa Virtual Crash son prácticamente coincidentes con los obtenidos con el modelo físico-matemático. A medida que se aumenta la velocidad de atropello la diferencia entre un modelo y otro aumenta proporcionalmente.

- Masa del vehículo: 1775 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,54$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,48 m	3,19 m	8,33
35 km/h	12,36 m	9,09 m	26,46
50 km/h	23,82 m	18,22 m	23,51
65 km/h	32,26 m	30,56 m	5,27
80 km/h	80,26 m	46,13 m	42,52

Tabla núm. 7-34. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg

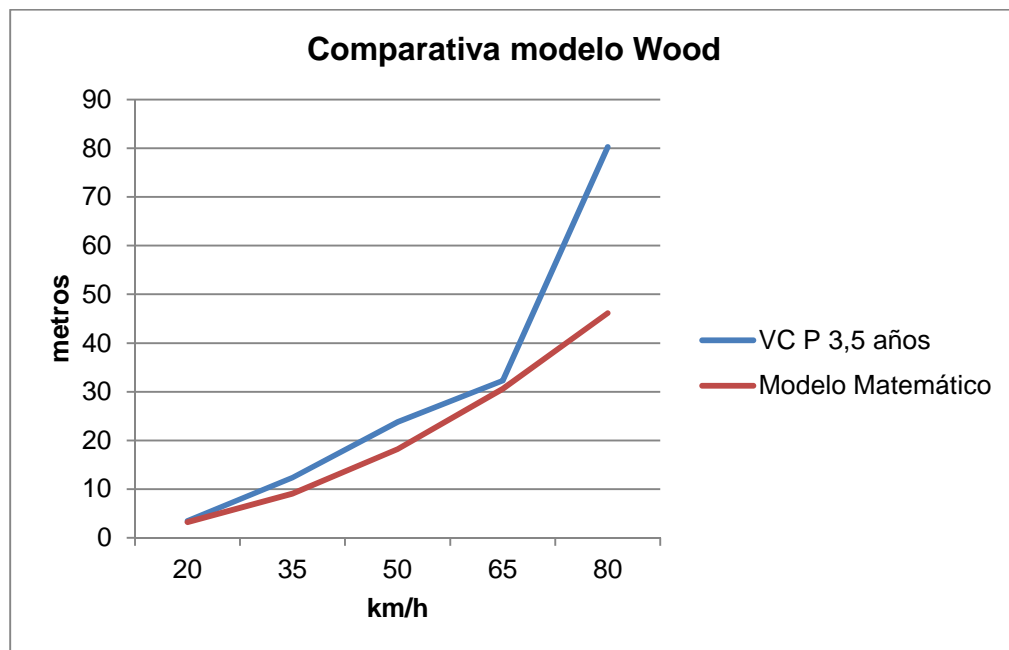


Figura núm. 7-53. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

En el gráfico se observa que los valores de distancia de proyección obtenidos con el programa de simulación están bastante próximos a los obtenidos con el modelo físico-matemático a velocidades de 20 y 65 km/h; y por el contrario, muy alejados, duplicándose prácticamente esa distancia, a velocidades de 80 km/h.

√ Geometrías.

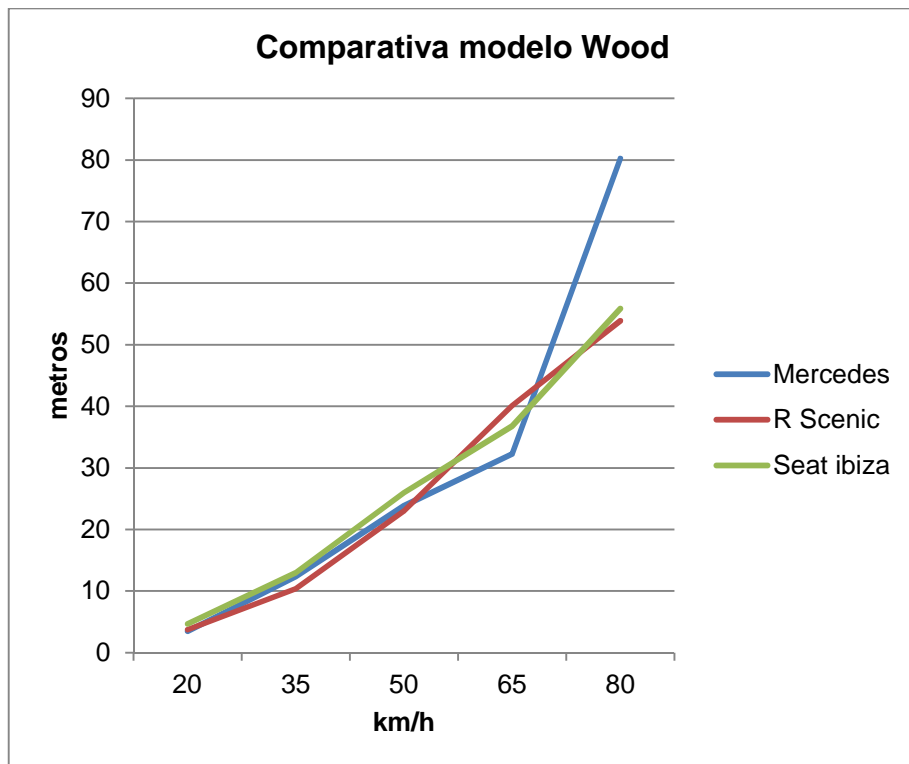


Figura núm. 7-54. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood.

Como se observa en el gráfico, no se muestra una gran influencia en el tipo de geometría utilizada en los atropellos con respecto al resultado de la distancia de proyección, salvo para la geometría Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) a velocidad de atropello de 80 km/h, que sobresale elevando exponencialmente la distancia con respecto al resto de geometrías.



√ Tipos de trayectoria post-impacto.



Figura núm. 7-55. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood.

La trayectoria Forward Projection está presente en todos los atropellos independientemente de la velocidad a la que éstos se realicen, siendo testimonial la presencia de otras dos trayectorias.

### 7.1.4.3. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,66$

- Masa del vehículo: 985 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,66$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,6 m	2,71 m	58,94
35 km/h	9,87 m	7,47 m	24,32
50 km/h	19,41 m	14,83 m	23,60
65 km/h	30,13 m	24,80 m	17,69
80 km/h	43,96 m	37,36 m	15,01

Tabla núm. 7-35. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 985 kg

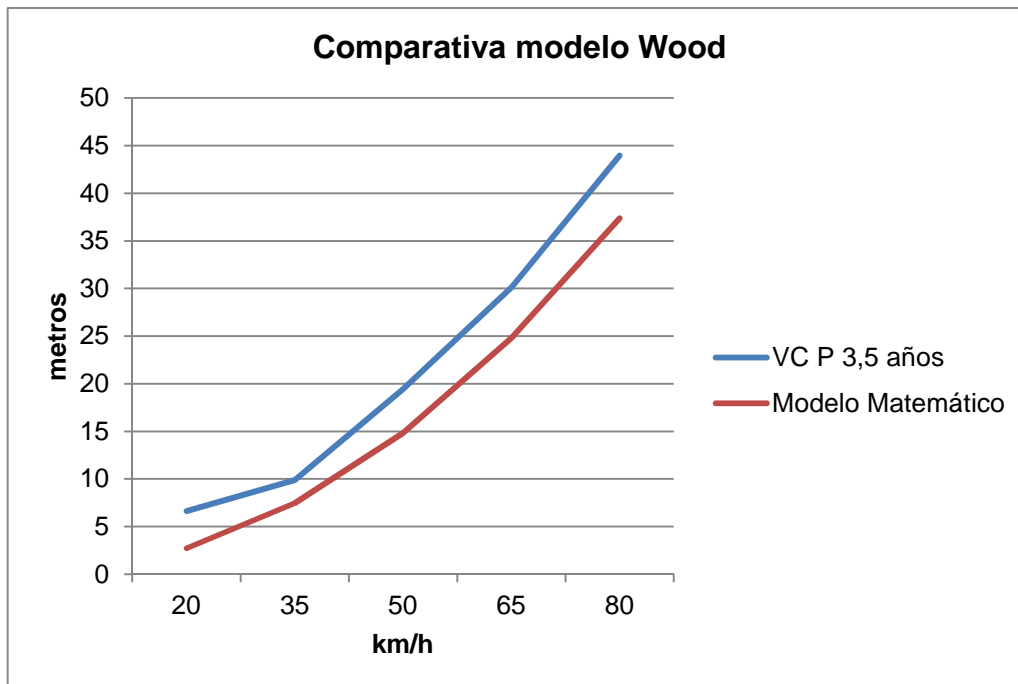


Figura núm. 7-56. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,66$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Como se observa, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están por encima de los valores obtenidos con el modelo físico-matemático, existiendo menor diferencia a velocidades de atropello altas (65-80 km/h).

- Masa del vehículo: 1530 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,66$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,19 m	2,73 m	34,84
35 km/h	8,10 m	7,55 m	6,79
50 km/h	23,93 m	14,99 m	37,36
65 km/h	33,42 m	25,07 m	24,99
80 km/h	44,21 m	37,77 m	14,57

Tabla núm. 7-36. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg

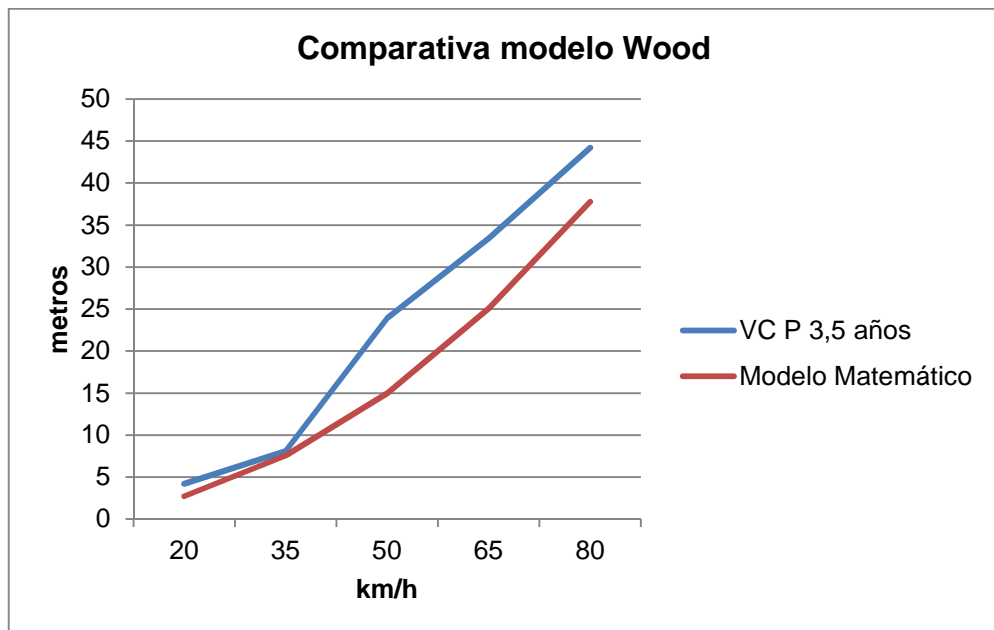


Figura núm. 7-57. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

A velocidades bajas (20-35 km/h), los valores obtenidos de distancia de proyección con el programa Virtual Crash son prácticamente coincidentes con los obtenidos con el modelo físico-matemático. A partir de 50 km/h los valores obtenidos son mucho más altos que los correspondientes al modelo físico-matemático.

- Masa del vehículo: 1775 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,66$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	5,53 m	2,74 m	50,45
35 km/h	10,80 m	7,57 m	29,91
50 km/h	22,78 m	15,03 m	34,02
65 km/h	29,34 m	25,14 m	14,31
80 km/h	68,39 m	37,87 m	44,63

Tabla núm. 7-37. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 3 años y 6 meses, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg

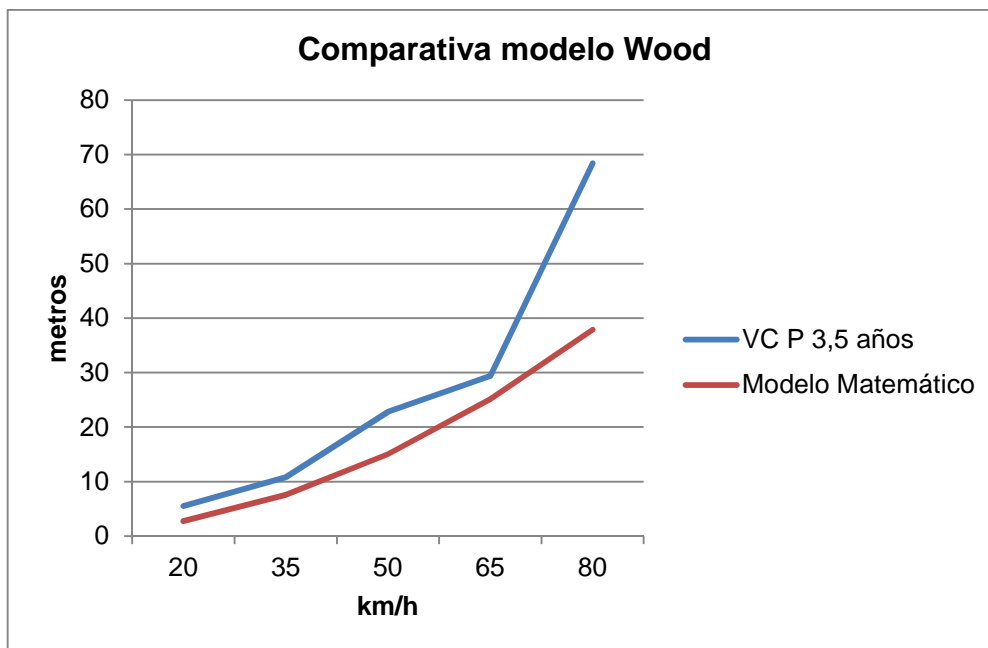


Figura núm. 7-58. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

En velocidades de atropello entre 20 y 65 km/h, como se observa, las distancias de proyección están ligeramente por encima de las obtenidas con el modelo matemático. A velocidad de atropello de 80 km/h la diferencia es bastante sustancial entre los resultados obtenidos con uno y otro método.

√ Geometrías.

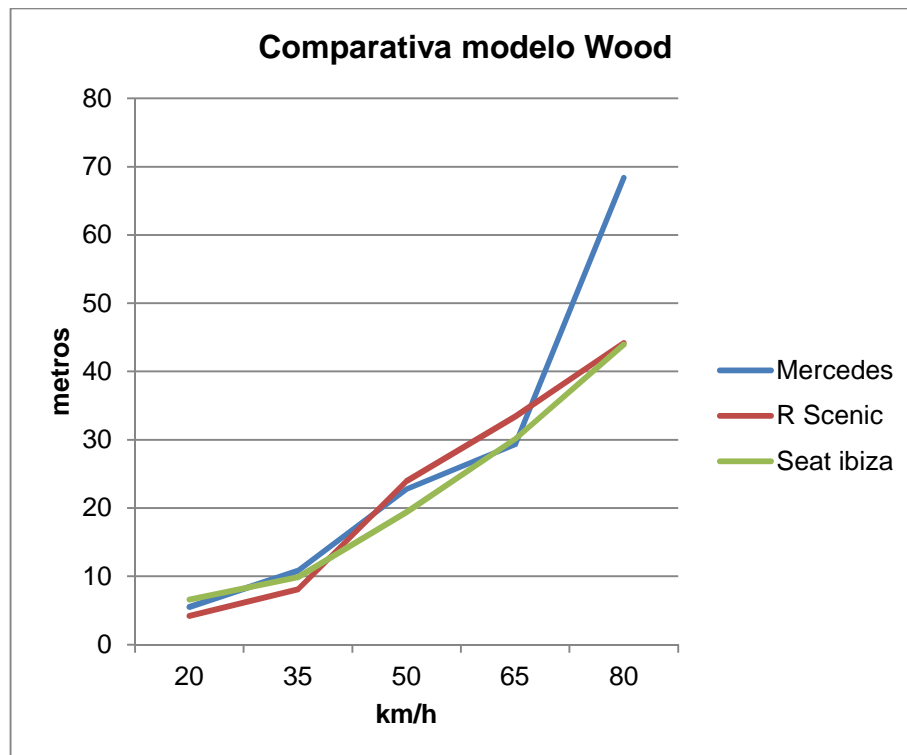


Figura núm. 7-59. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood.

En el gráfico se observa la gran influencia que supone en el resultado de la distancia de proyección la geometría Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) a velocidades de 80 km/h. El resto de geometrías no tienen prácticamente influencia en esa distancia de proyección, a pesar de tener que descartar los resultados obtenidos por las geometrías Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) a velocidades de 50 km/h al haberse producido anomalías en su obtención.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

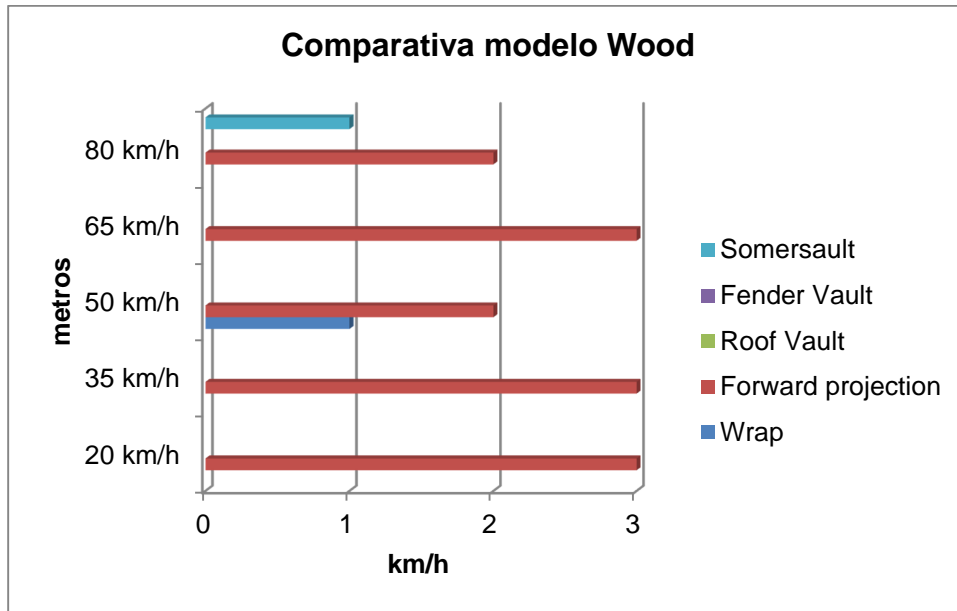


Figura núm. 7-60. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood.

La trayectoria Forward Projection es la trayectoria más común en todos los atropellos, hallándose de forma testimonial presentes la trayectoria Wrap y Somersault.

#### 7.1.4.4. Peatón 10 años. $\mu = 0,43$

- Masa del vehículo: 985 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,43$	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	28,33 m	3,75 m	86,76
35 km/h	52,14 m	10,77 m	79,34
50 km/h	27,59 m	21,63 m	21,60
65 km/h	46,85 m	36,30 m	22,52
80 km/h	71,19 m	54,83 m	22,98

Tabla núm. 7-38. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 985 kg

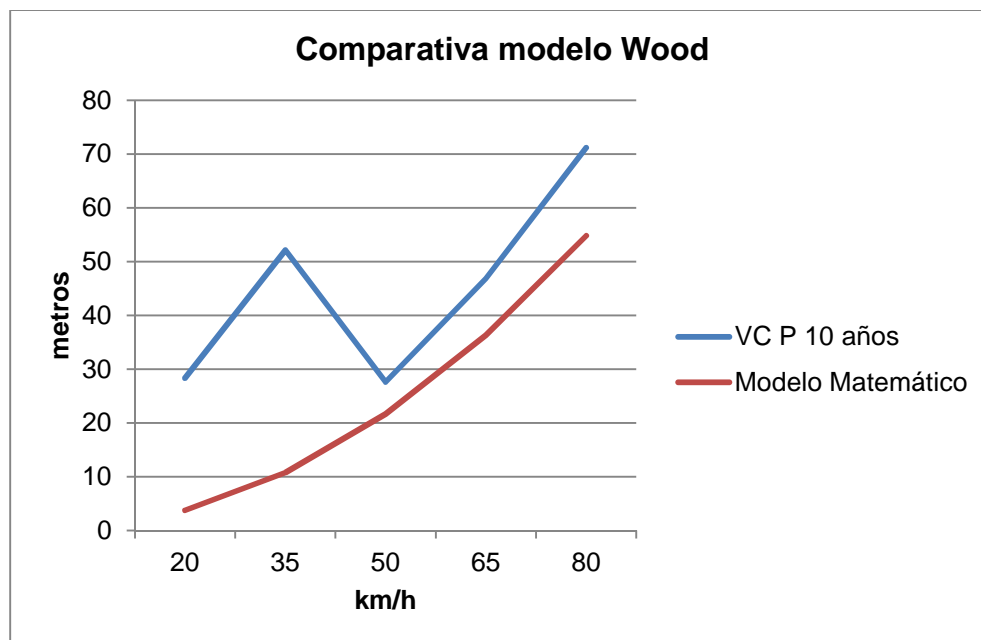


Figura núm. 7-61. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Debiendo descartarse los resultados obtenidos a velocidades de 20 y 35 km/h, el resto de resultados de distancias de proyección obtenidos con el programa se observa que son superiores a los obtenidos con el modelo matemático.

- Masa del vehículo: 1530 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,43$	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	30,9 m	3,84 m	87,57
35 km/h	21,77 m	11,04 m	49,29
50 km/h	39,26 m	22,17 m	43,53
65 km/h	63,04 m	37,23 m	40,94
80 km/h	76,36 m	56,22 m	26,38

Tabla núm. 7-39. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg.

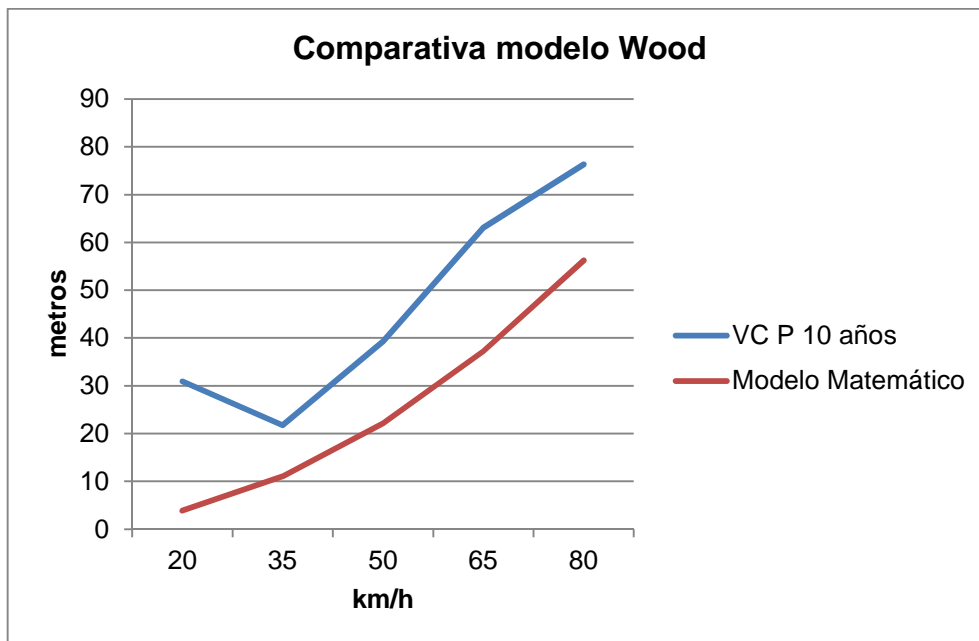


Figura núm. 7-62. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

En el gráfico se observa que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash se encuentran por encima de los valores obtenidos con el modelo físico-matemático, debiendo descartarse por anomalías ocurridas en su obtención los datos relativos a las velocidades de 20 y 65 km/h.



- Masa del vehículo: 1775 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,43$	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	29,60 m	3,86 m	86,96
35 km/h	26,58 m	11,11 m	58,20
50 km/h	52,36 m	22,31 m	57,39
65 km/h	62,22 m	37,47 m	39,78
80 km/h	66,15 m	56,58 m	14,47

Tabla núm. 7-40. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg.

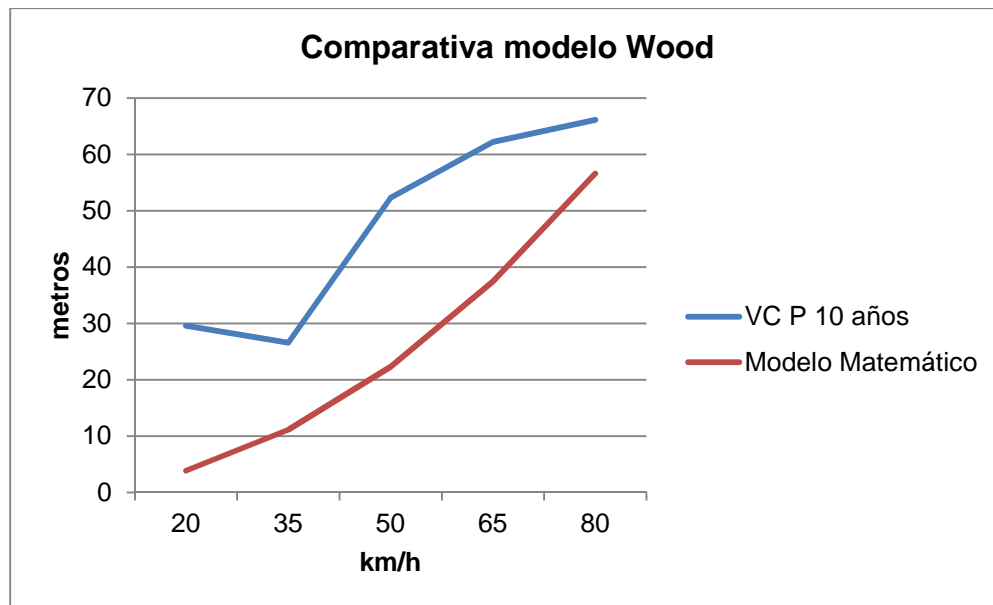


Figura núm. 7-63. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Como se observa en el gráfico, descartándose los valores obtenidos para las velocidades de 20, 50 y 65 km/h, el resto están muy por encima de los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

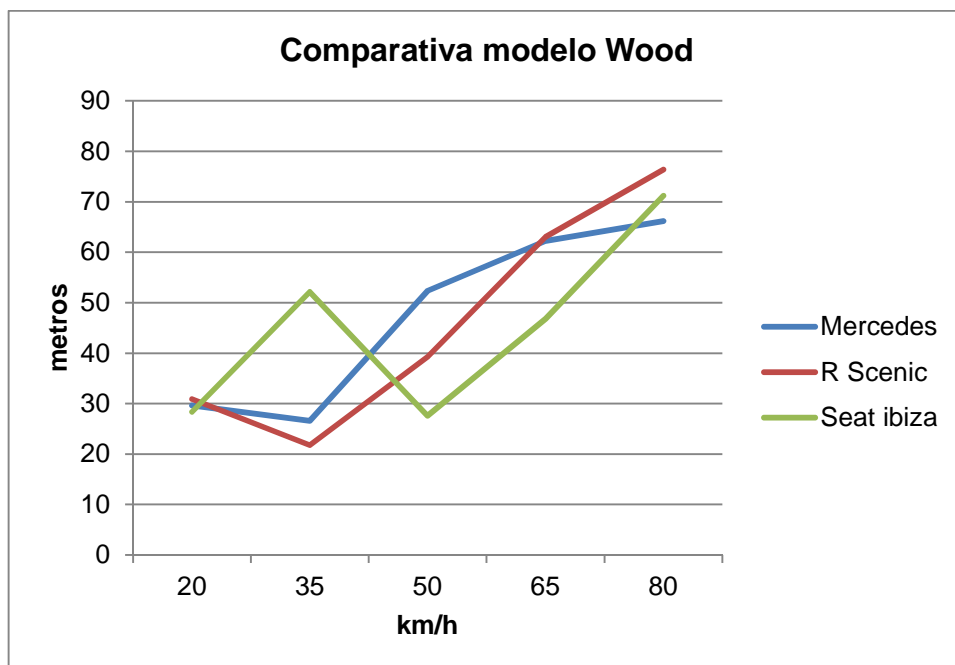


Figura núm. 7-64. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood.

La disparidad de los resultados mostrados en el gráfico, independientemente de los valores a descartar por anomalías detectadas en su obtención y ya mencionadas, hacen concluir la gran influencia que tiene la geometría del vehículo en atropellos de peatones con esas características a la hora de tener en cuenta la distancia de proyección.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.



Figura núm. 7-65. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood.

La trayectoria más común presente en todos los atropellos es la denominada Wrap, hallándose presente otras que implican de una manera u otra volteo del peatón.

#### 7.1.4.5. Peatón 10 años. $\mu = 0,54$

- Masa del vehículo: 985 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,54$	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	18,68 m	3,14 m	83,19
35 km/h	29,93 m	8,73 m	70,83
50 km/h	24,06 m	17,38 m	27,76
65 km/h	41,32 m	29,07 m	29,65
80 km/h	62,22 m	43,82 m	29,57

Tabla núm. 7-41. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 985 kg.

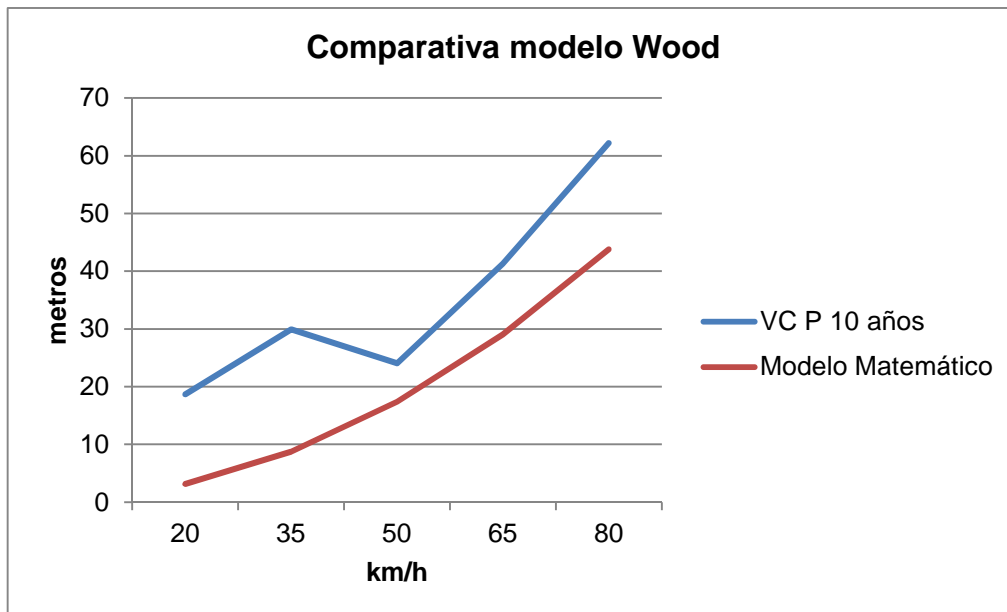


Figura núm. 7-66. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Los valores obtenidos con el programa Virtual Crash son muchos más elevados que los obtenidos con el modelo matemático, debiendo descartarse los obtenidos a velocidades de 20 y 35 km/h por anomalías detectadas en su obtención.

- Masa del vehículo: 1530 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,54$	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	29,83 m	3,21 m	89,24
35 km/h	21,54 m	8,95 m	58,45
50 km/h	31,51 m	17,81 m	43,48
65 km/h	59,72 m	29,81 m	50,08
80 km/h	59,72 m	44,93 m	24,77

Tabla núm. 7-42. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg.

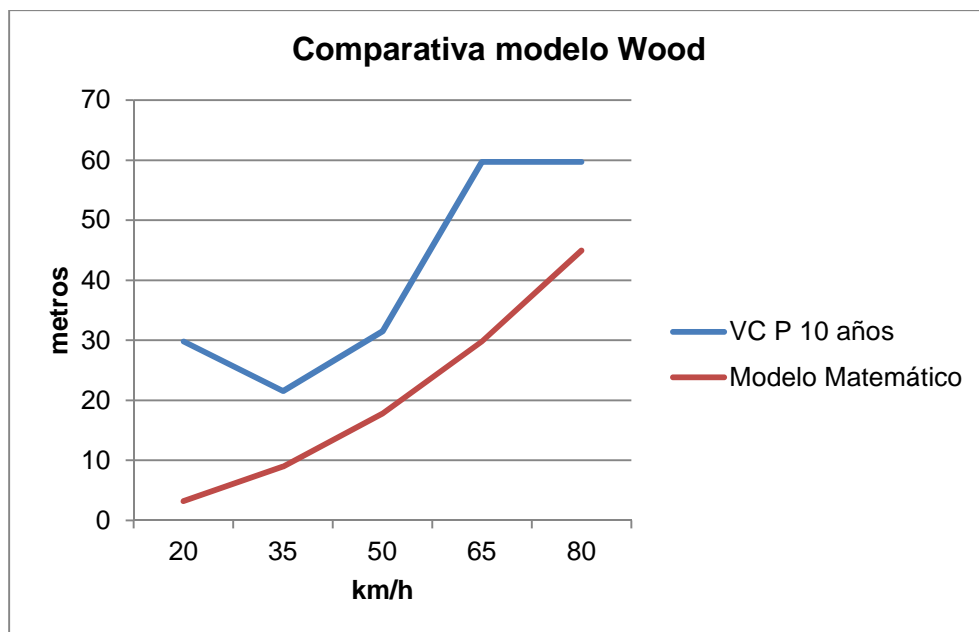


Figura núm. 7-67. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Descartándose los resultados obtenidos a velocidades de 20 y 65 km/h, los demás resultados obtenidos con el programa Virtual Crash están muy por encima de los obtenidos con el modelo físico-matemático.

- Masa del vehículo: 1775 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,54$	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	21,66 m	3,23 m	85,09
35 km/h	22,77 m	9,00 m	60,47
50 km/h	66,25 m	17,92 m	72,95
65 km/h	49,20 m	29,99m	39,04
80 km/h	55,80 m	45,21 m	18,98

Tabla núm. 7-43. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg.

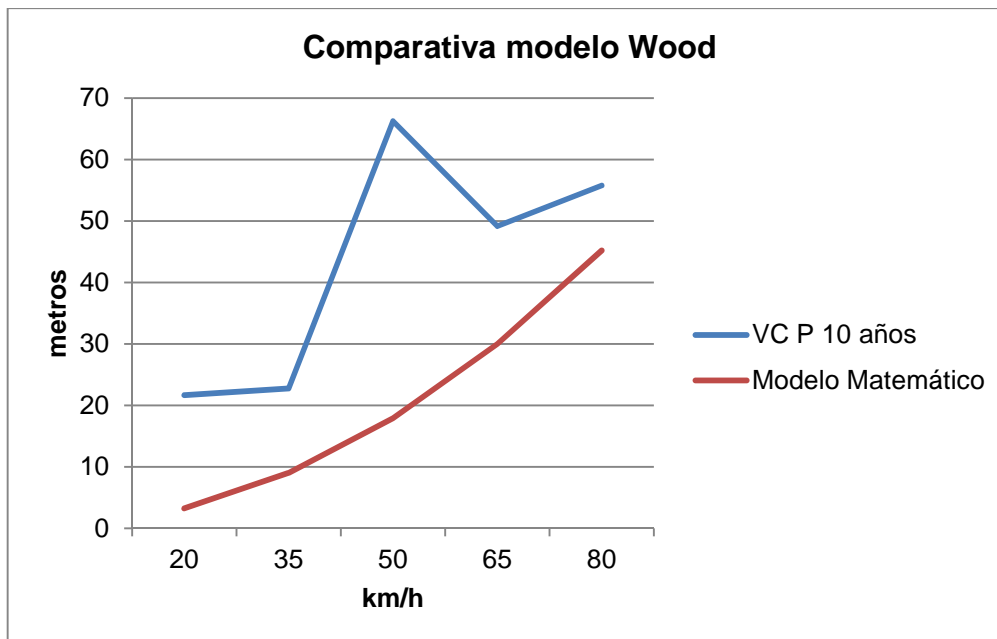


Figura núm. 7-68. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

En el gráfico se observa que los valores de distancia de proyección obtenidos con el programa de simulación están bastante alejados de los obtenidos con el modelo físico-matemático, debiendo descartarse los obtenidos a velocidades de 20 y 50 km/h.

√ Geometrías.

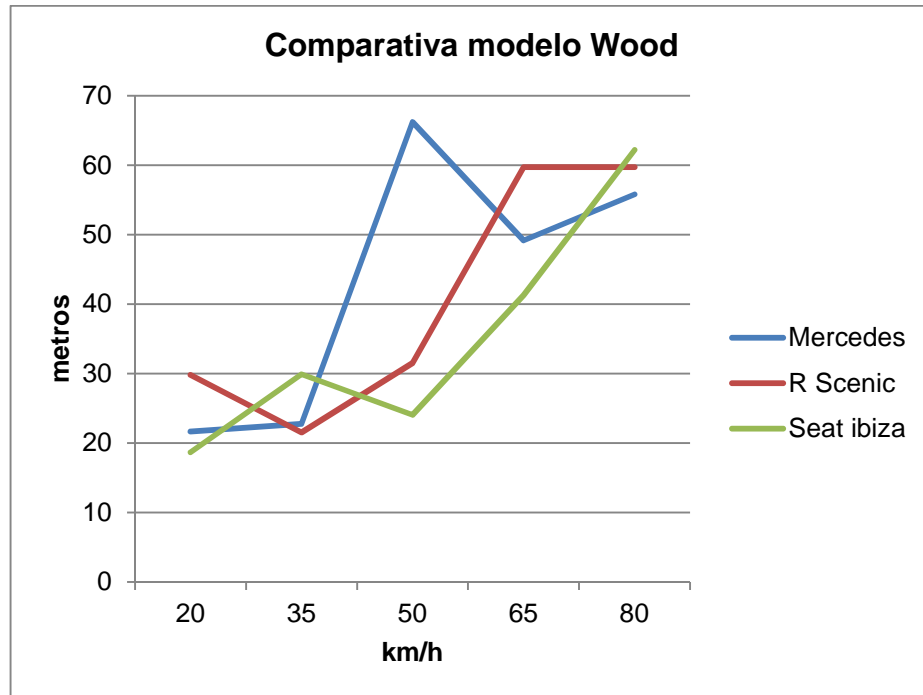


Figura núm. 7-69. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood.

La geometría, según determina el programa Virtual Crash, es un factor determinante a la hora de obtener resultados de distancia de proyección, como se muestra en el gráfico, dada la disparidad de resultados obtenidos.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.



Figura núm. 7-70. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 10 años utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood.

La trayectoria Wrap, presente en todos los atropellos, es la más destacada en relación a las otras que aparecen, Somersault fundamentalmente.



#### 7.1.4.6. Peatón 10 años. $\mu = 0,66$

- Masa del vehículo: 985 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,66$	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	13,02 m	2,74 m	78,96
35 km/h	24,35 m	7,32 m	69,94
50 km/h	19,99 m	14,39 m	28,01
65 km/h	31,56 m	23,96 m	24,08
80 km/h	55,54 m	36,03 m	35,13

Tabla núm. 7-44. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 985 kg.

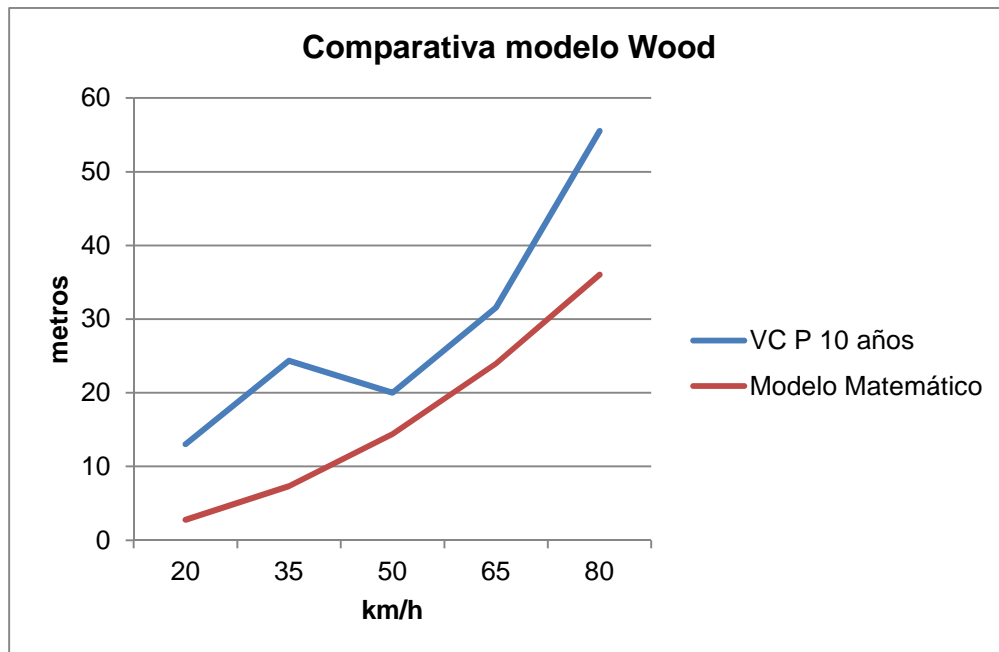


Figura núm. 7-71. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Todos los resultados obtenidos con el programa Virtual Crash son superiores a los obtenidos por medio del modelo físico-matemático, debiendo descartarse los obtenidos a velocidades de 20 y 35 km/h.

- Masa del vehículo: 1530 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,66$	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,02 m	2,80 m	60,11
35 km/h	20,85 m	7,49 m	64,08
50 km/h	22,90 m	14,75 m	35,59
65 km/h	46,55 m	24,56 m	47,24
80 km/h	62,55 m	36,93 m	40,96

Tabla núm. 7-45. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg.

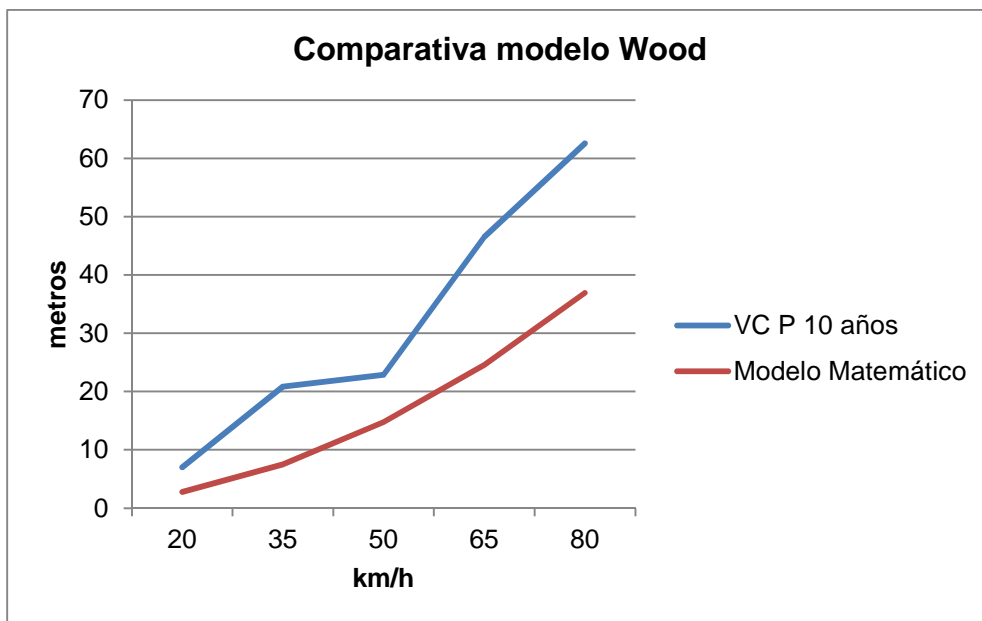


Figura núm. 7-72. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Aún descartándose los valores obtenidos a velocidades de 65 y 80 km/h, el resto de resultados ofrece distancias superiores a las que se obtuvieron con el modelo matemático.

- Masa del vehículo: 1775 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,66$	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	9,16 m	2,82 m	69,21
35 km/h	22,17 m	7,54 m	65,99
50 km/h	75,09 m	14,84 m	80,24
65 km/h	63,60 m	24,71 m	61,15
80 km/h	49,19 m	37,17 m	24,44

Tabla núm. 7-46. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg.

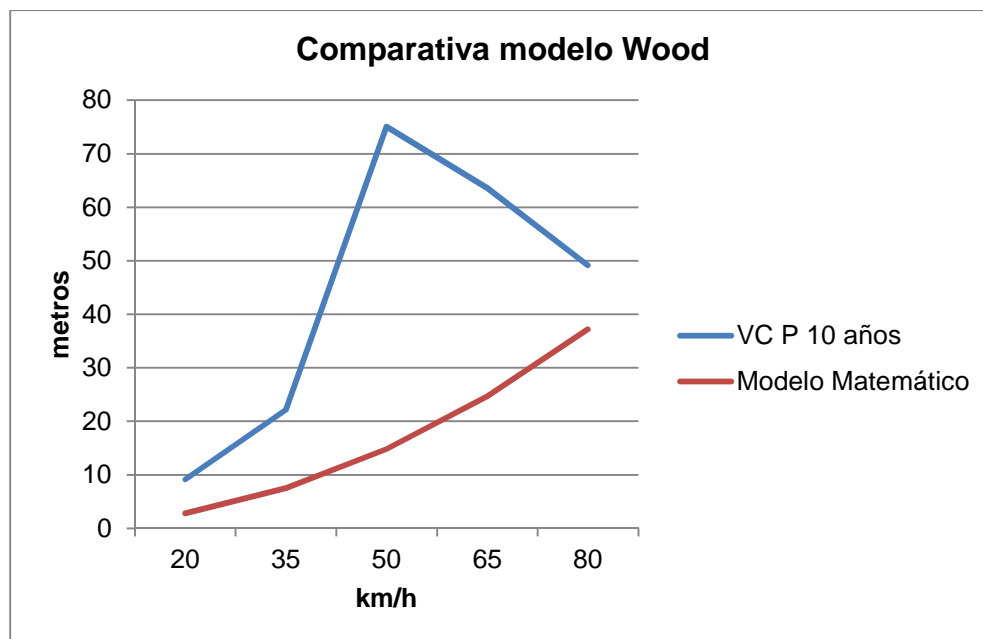


Figura núm. 7-73. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Los resultados obtenidos con el programa informático se encuentran muy por encima de los obtenidos con el modelo matemático, debiendo descartarse en este caso los obtenidos a velocidades de 50 y 65 km/h al haberse obtenido con anomalías en la simulación.

√ Geometrías.

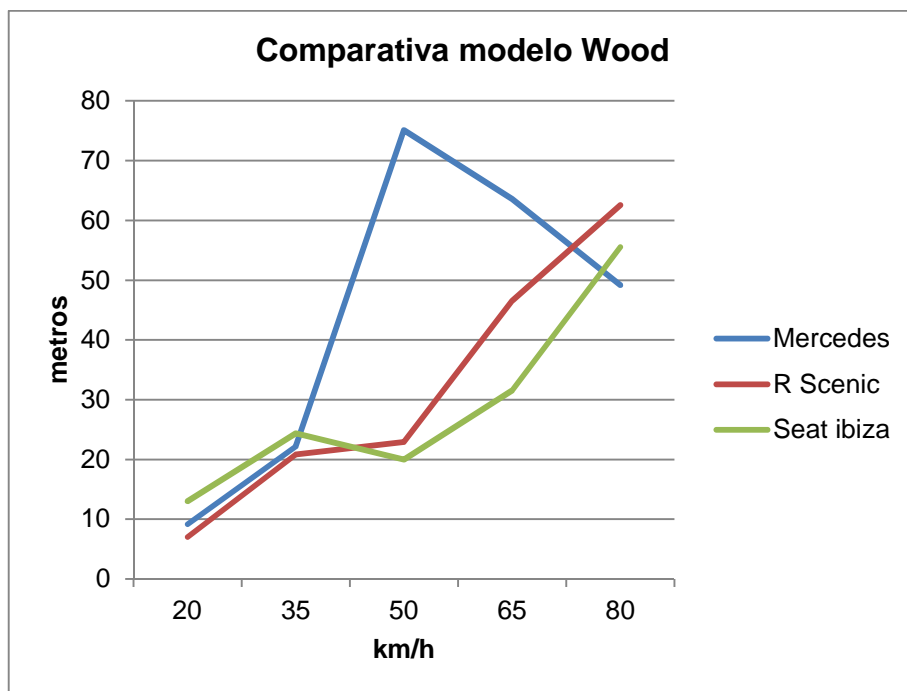


Figura núm. 7-74. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 10 años, utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood.

En el gráfico se observa que a velocidades bajas (20-35 km/h) no hay mucha diferencia en los resultados independientemente de la geometría y de los resultados descartados, no existiendo por tanto influencia significativa del uso de una u otra geometría. Para el resto de velocidades, dada la disparidad de resultados, es evidente esa influencia en el resultado a obtener de distancias de proyección.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

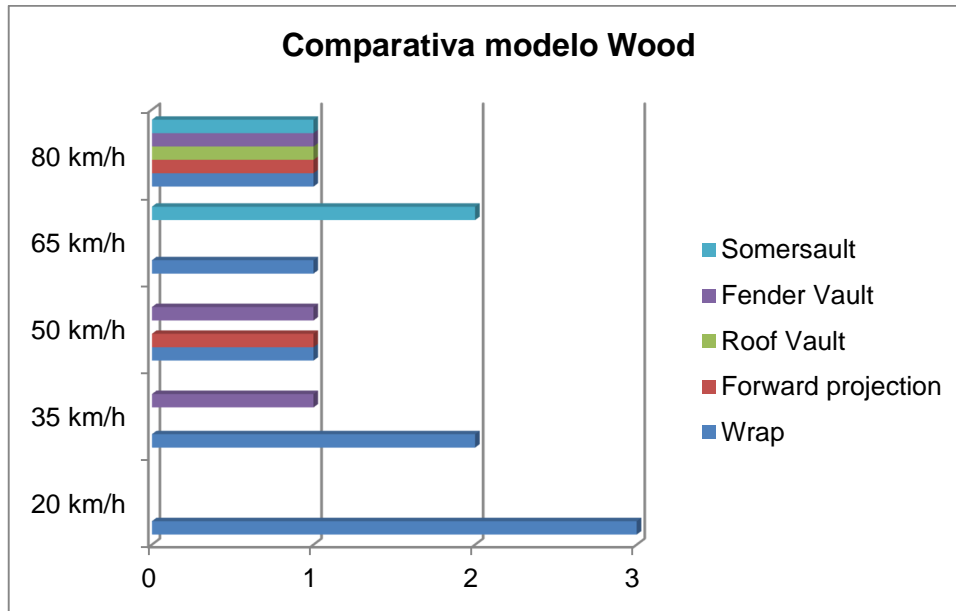


Figura núm. 7-75. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 10 años utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood.

Aunque hay una gran diversidad de trayectorias obtenidas, la trayectoria Wrap es la más común, hallándose presente en todos los atropellos independientemente de su velocidad.

### 7.1.4.7. Peatón Adulto. $\mu = 0,43$

- Masa del vehículo: 985 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,43$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,28 m	3,59 m	56,64
35 km/h	22,24 m	10,11 m	54,54
50 km/h	30,00 m	20,19 m	32,70
65 km/h	41,78 m	33,82 m	19,05
80 km/h	54,05 m	51,01 m	5,62

Tabla núm. 7-47. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 985 kg

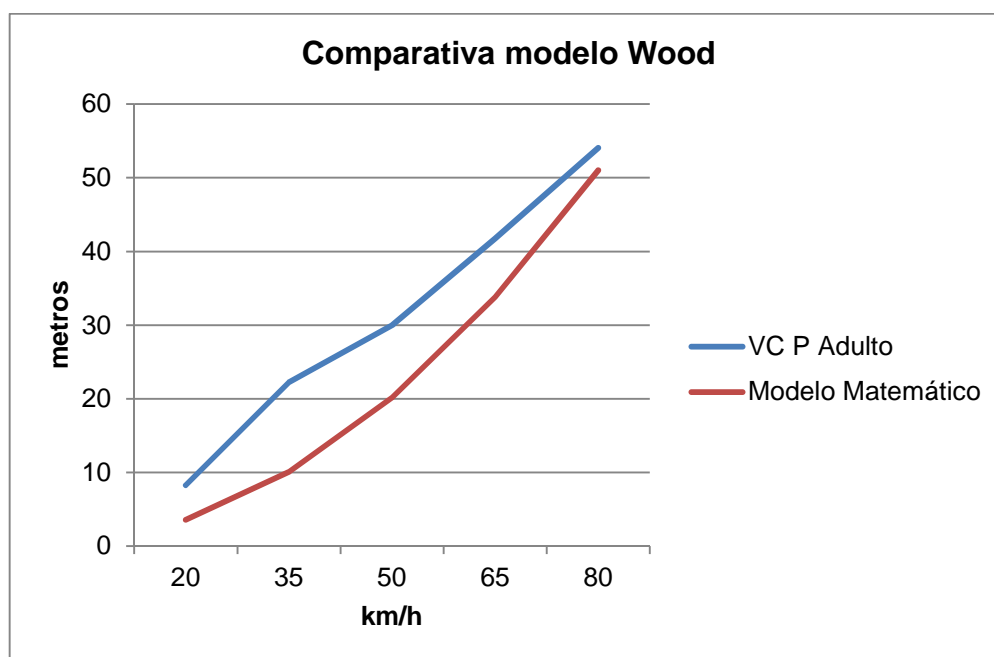


Figura núm. 7-76. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Los resultados mostrados evidencian que los obtenidos con el programa Virtual Crash son superiores a los obtenidos utilizando el modelo físico-matemático.

- Masa del vehículo: 1530 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,43$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	26,42 m	3,76 m	85,77
35 km/h	49,02 m	10,61 m	78,36
50 km/h	49,68 m	21,22 m	57,29
65 km/h	49,19 m	35,56 m	27,71
80 km/h	119,15 m	53,65 m	54,97

Tabla núm. 7-48. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg.

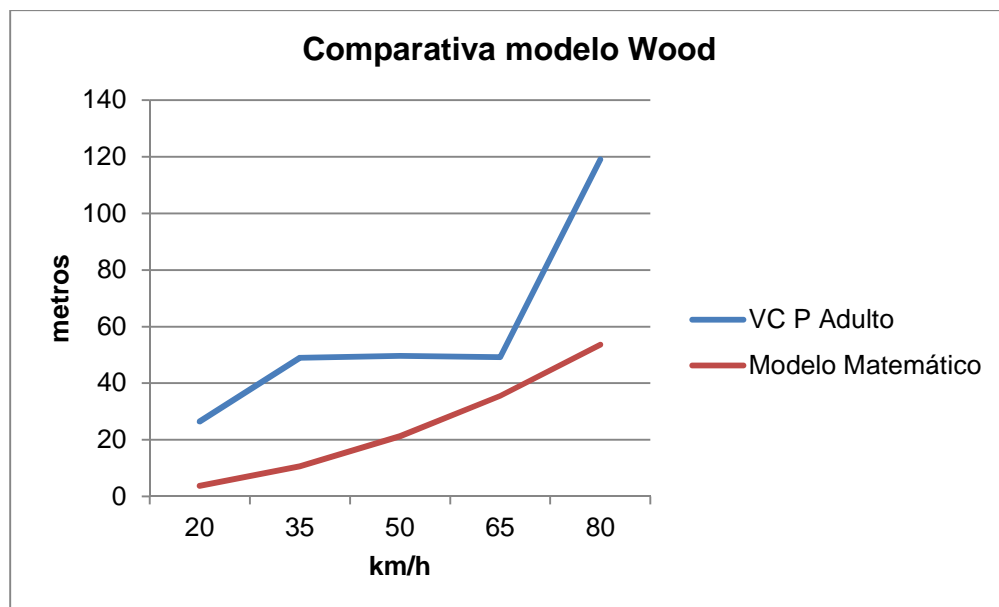


Figura núm. 7-77. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando,  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Descartándose por anomalías ocurridas en su obtención todos los datos, salvo el obtenido a velocidad de 65 km/h, se aprecia que el resultado está por encima del obtenido con el modelo matemático.

- Masa del vehículo: 1775 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,43$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	13,44 m	3,80 m	71,73
35 km/h	17,66 m	10,75 m	39,13
50 km/h	27,15 m	21,49 m	20,85
65 km/h	42,77 m	36,02 m	15,78
80 km/h	69,26 m	54,34 m	21,54

Tabla núm. 7-49. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg.

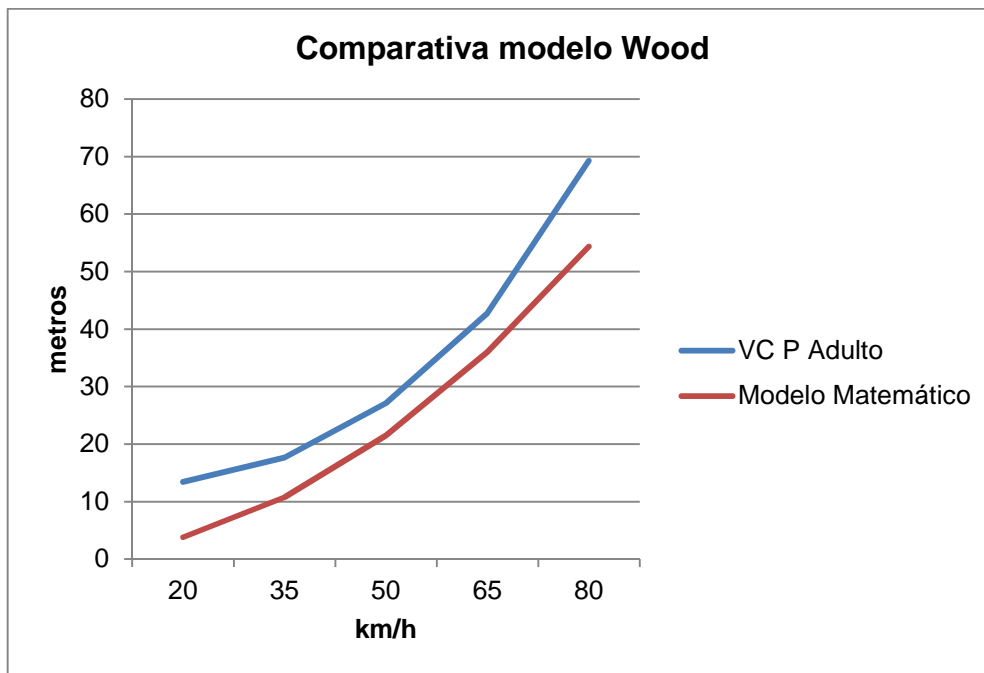


Figura núm. 7-78. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Como se observa en el gráfico, aún descartándose el resultado obtenido a 20 km/h por anomalías sufridas en su simulación, el resto de resultados obtenidos con el programa Virtual Crash está ligeramente por encima de los valores obtenidos con el modelo físico matemático, acusándose más esa diferencia en los atropellos simulados a velocidades de 35 y 80 km/h.



√ Geometrías.

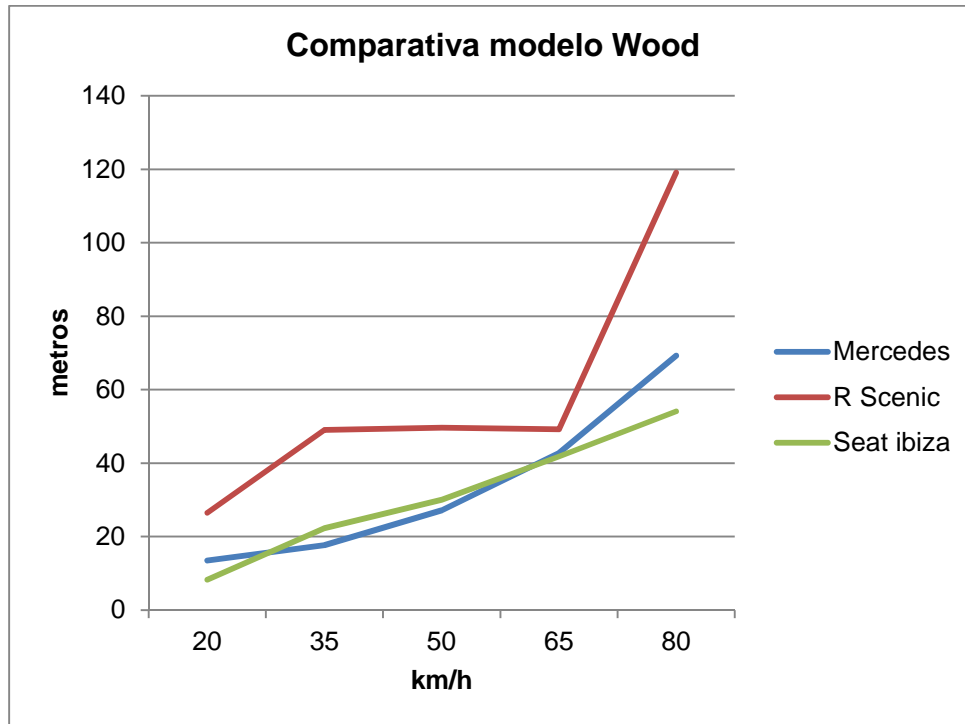


Figura núm. 7-79. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood.

Si se descartan los valores obtenidos utilizando el vehículo con geometría Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), se observa que en los resultados que se obtienen con las otras dos geometrías no existe una diferencia sustancial entre ellas, no teniendo por tanto una influencia reseñable la geometría utilizada en las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.



Figura núm. 7-80. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,43$  según el modelo de Wood.

El gráfico muestra que a velocidades de atropello de 20 km/h, la trayectoria más común es la denominada Wrap; en el resto de atropellos a velocidades superiores no destaca ninguna trayectoria, hallándose presentes prácticamente el resto de trayectorias post-atropello.

#### 7.1.4.8. Peatón Adulto. $\mu = 0,54$

- Masa del vehículo: 985 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,54$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,03 m	3,05 m	56,61
35 km/h	18,37 m	8,25 m	55,09
50 km/h	27,75 m	16,27 m	41,37
65 km/h	35,17 m	27,13 m	22,86
80 km/h	45,31 m	40,82 m	9,91

Tabla núm. 7-50. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 985 kg.

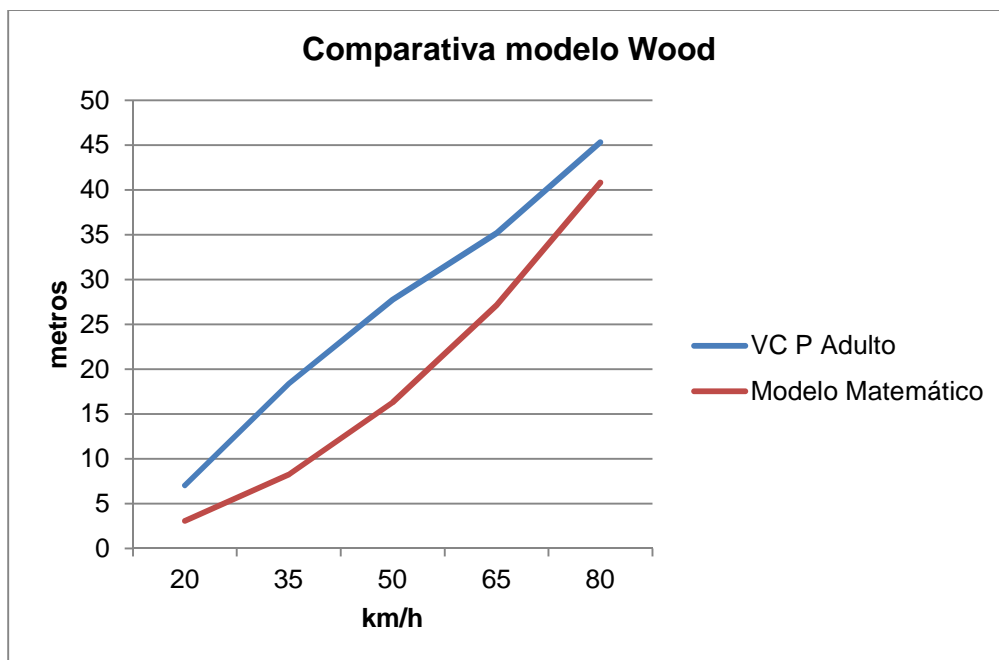


Figura núm. 7-81. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$ , y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están por encima de los obtenidos con el modelo matemático.

- Masa del vehículo: 1530 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,54$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,97 m	3,19 m	64,44
35 km/h	19,32 m	8,65 m	55,23
50 km/h	51,25 m	17,09 m	66,65
65 km/h	42,34 m	28,52 m	32,64
80 km/h	59,62 m	42,92 m	28,01

Tabla núm. 7-51. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg.

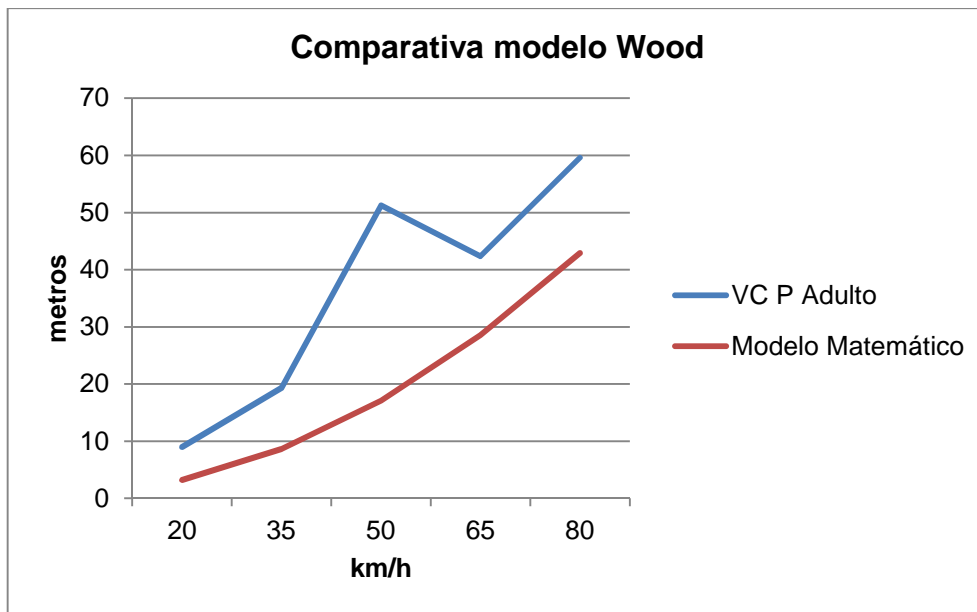


Figura núm. 7-82. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Si se descarta el resultado obtenido en la simulación realizada a 50 km/h con el programa Virtual Crash, se observa que el resto de resultados está por encima de los que se obtuvieron con el modelo físico-matemático.

- Masa del vehículo: 1775 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,54$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	10,10 m	3,22 m	68,12
35 km/h	18,93 m	8,75 m	53,78
50 km/h	31,70 m	17,31 m	45,39
65 km/h	39,17 m	28,88 m	26,27
80 km/h	61,62 m	43,47 m	29,45

Tabla núm. 7-52. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg.

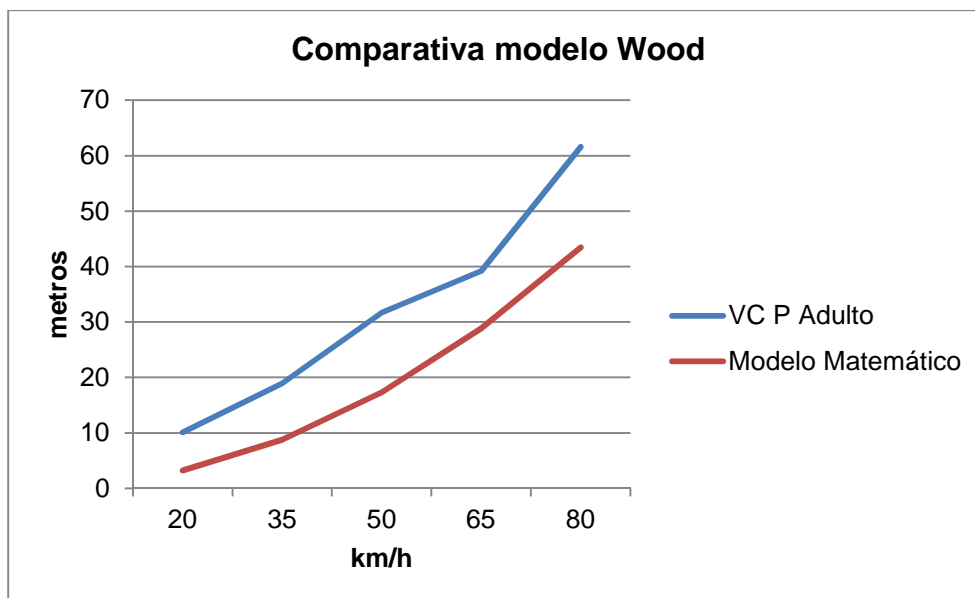


Figura núm. 7-83. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Con se observa en el gráfico, los valores obtenidos en las simulaciones con el programa son superiores a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

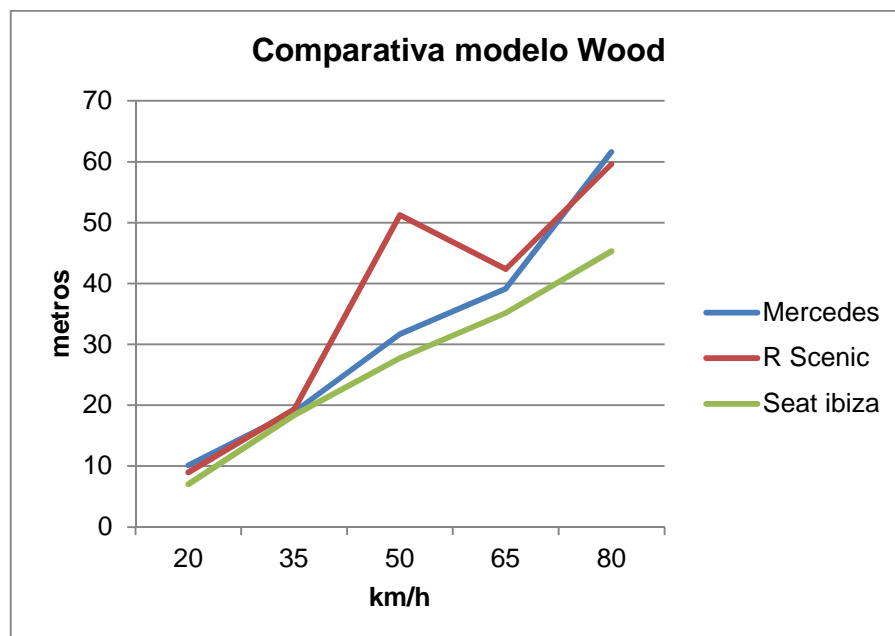


Figura núm. 7-84. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood.

Si se descarta el resultado obtenido por la geometría Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) a la velocidad de 50 km/h, para el resto de resultados no tiene influencia la geometría del vehículo que atropella, al no existir gran diferencia en resultados, salvo para velocidades de atropello de 80 km/h entre las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.



Figura núm. 7-85. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,54$  según el modelo de Wood.

Como en el caso anterior, la trayectoria Wrap está presente en todos los atropellos a velocidad de 20 km/h, así como en casi la totalidad de los realizados a velocidad de 35 km/h. Para el resto de velocidades de atropello no existe una trayectoria que destaque sobre las demás, estando presentes todas salvo la denominada Forward Projection.

#### 7.1.4.9. Peatón Adulto. $\mu = 0,66$

- Masa del vehículo: 985 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,66$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,76 m	2,72 m	68,95
35 km/h	16,47 m	6,96 m	57,74
50 km/h	27,68 m	13,53 m	51,12
65 km/h	30,32 m	22,41 m	26,09
80 km/h	40,76 m	33,61 m	17,54

Tabla núm. 7-53. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 985 kg.

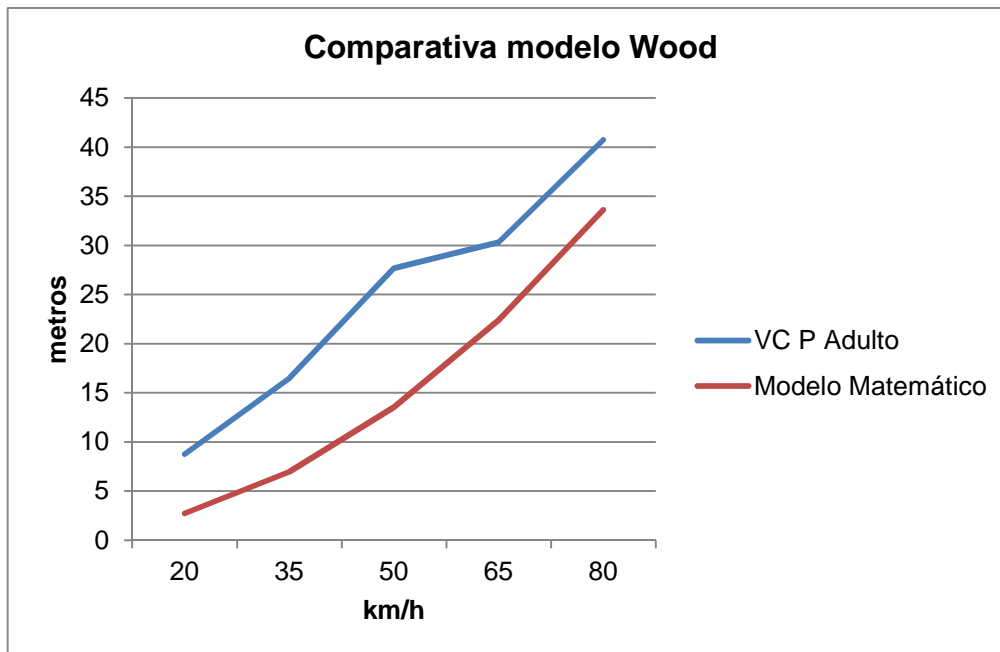


Figura núm. 7-86. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 985 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Todos los valores obtenidos con el programa Virtual Crash son superiores a los obtenidos por medio del programa físico-matemático, existiendo más diferencia a velocidades de atropello de 20, 25 y 50 km/h.



- Masa del vehículo: 1530 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,66$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,66 m	2,83 m	67,32
35 km/h	15,74 m	7,30 m	53,62
50 km/h	35,67 m	14,20 m	60,19
65 km/h	36,65 m	23,55 m	35,74
80 km/h	53,30 m	35,33 m	33,71

Tabla núm. 7-54. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg.

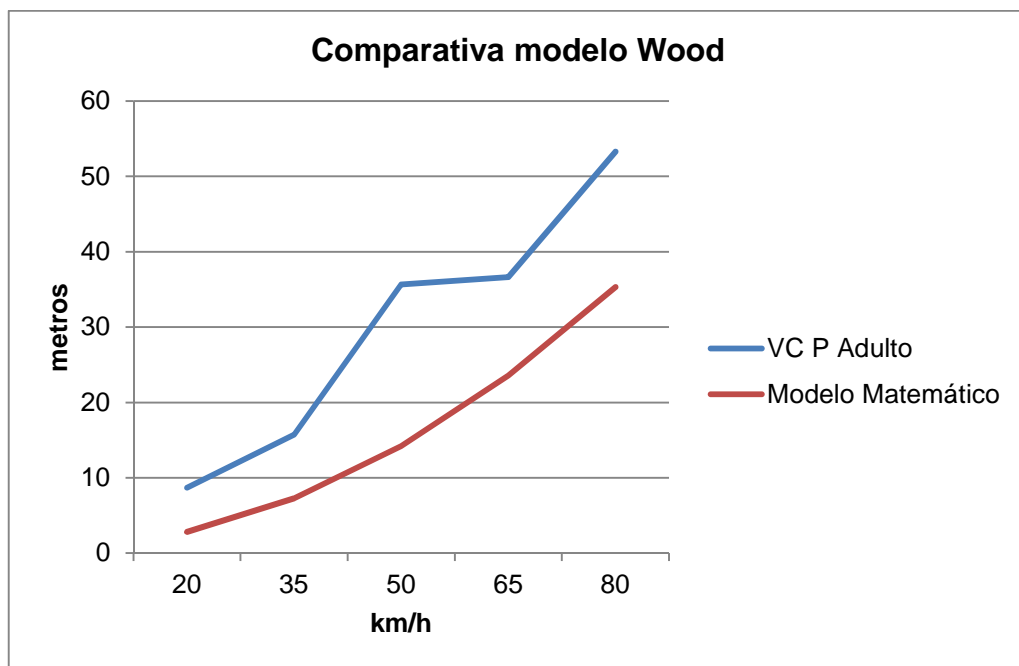


Figura núm. 7-87. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1530 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Como en el caso anterior, todos los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están por encima de los obtenidos con el modelo físico-matemático, si bien, como se observa en el gráfico, esa diferencia es mayor a velocidad de atropello de 20 y 50 km/h.

- Masa del vehículo: 1775 kg.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,66$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	9,72 m	2,85 m	70,68
35 km/h	13,11 m	7,38 m	43,71
50 km/h	23,00 m	14,38 m	37,48
65 km/h	32,40 m	23,84 m	26,42
80 km/h	78,36 m	35,78 m	54,34

Tabla núm. 7-55. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg.

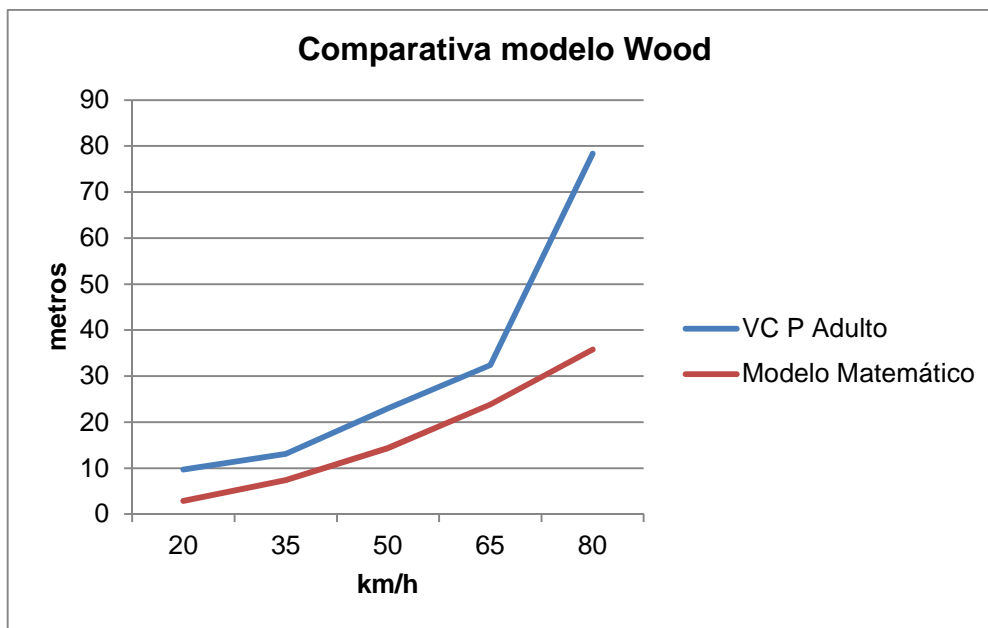


Figura núm. 7-88. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  y un vehículo de 1775 kg, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Wood.

Debiendo descartarse el resultado obtenido con el programa Virtual Crash a la velocidad de 80 km/h al haberse producido anomalías en su simulación, el resto de resultados son superiores a los que se obtuvieron con el modelo matemático.

√ Geometrías.

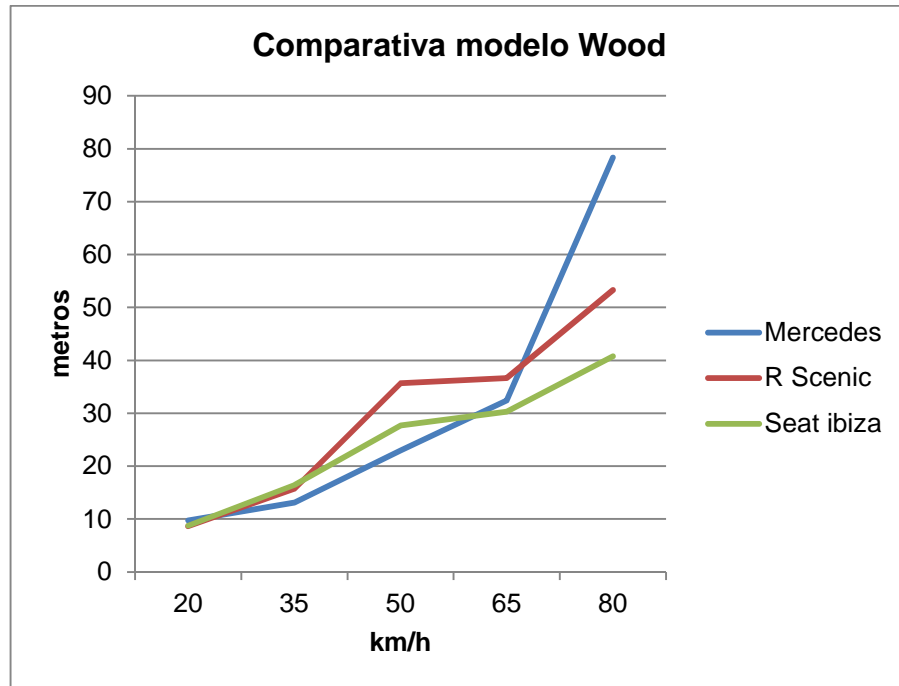


Figura núm. 7-89. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood.

Como se muestra en el gráfico, descartándose el resultado obtenido para la geometría Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) en la velocidad de atropello de 80 km/h, se observa que para velocidades de 50, 65 y 80 km/h, la trayectoria Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) influye notablemente al aumentar más la distancia de proyección que las otras dos geometrías a esas mismas velocidades de atropello.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.



Figura núm. 7-90. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos, utilizando  $\mu = 0,66$  según el modelo de Wood.

La trayectoria Wrap es la más usual a velocidades de atropello bajas (20-35 km/h). En el resto de velocidades de atropello no destaca ninguna al hallarse presentes prácticamente todas además de la ya mencionada.

#### 7.1.4.10. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Wood.

Una vez estudiados los resultados obtenidos, se observa que para peatones de 3 años y seis meses, el grado de fiabilidad obtenido en función del error porcentual es medio-alto. En atropellos a peatones de 10 años, los resultados obtenidos están muy por encima de los obtenidos con el modelo físico-matemático, teniendo que descartarse muchos de los atropellos por anomalías sufridas durante las simulaciones, ofreciendo un grado de fiabilidad medio-bajo para este tipo de peatones. Los atropellos de peatones adultos muestran siempre resultados

superiores en las simulaciones con el programa Virtual Crash que con el modelo físico-matemático, ofreciendo un grado de fiabilidad medio-bajo. En ninguno de los supuestos se ha observado una influencia determinante del coeficiente de rozamiento utilizado o de la masa del vehículo.

Respecto a las geometrías, para peatones de 3 años y seis meses, la correspondiente a la geometría Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), tiene gran influencia a velocidades de 80 km/h, aumentando considerablemente la distancia de proyección; no destacándose ninguna otra geometría salvo la citada para el resto de resultados. Para atropellos de peatones de 10 años, las geometrías empleadas han tenido gran influencia dada la disparidad de los resultados obtenidos. En general, para atropellos de adultos, no se observa gran influencia de las geometrías en los resultados obtenidos, si bien, utilizando un coeficiente de 0,66, la geometría Trapezoidal shape-steep Bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) a velocidades de entre 50 y 80 km/h aumenta la distancia de proyección más que el resto de geometrías.

La trayectoria más común para peatones de 3 años y 6 meses es la denominada Forward Projection, estando presente otras sin destacar ninguna sobre el resto. En cuanto a los atropellos de peatones de 10 años, la trayectoria más común ha sido Wrap, hallándose presente el resto independientemente de la velocidad de atropello. Para peatones adultos, a velocidades bajas (20-35 km/h) destaca sobre las demás la trayectoria Wrap; en el resto de velocidades de atropello están presentes todas las trayectorias.

Como resumen a lo anterior, la utilización del modelo físico-matemático es más adecuada para peatones de pequeño tamaño donde el grado de fiabilidad es más alto, independientemente del coeficiente de rozamiento peatón-suelo y con trayectorias post-impacto Forward Projection. En cuanto a su utilización con otros peatones, en general a velocidades de atropello altas se obtiene más fiabilidad, sin tener en cuenta ni el coeficiente de rozamiento peatón-calzada ni la trayectoria post-impacto.

### 7.1.5. MODELO DE FRICKE

En el modelo físico-matemático se utilizaron las siguientes variables:

√ Velocidades finales: 0 km/h

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h

√ Deceleraciones resultantes de la utilización de coeficientes de fricción para el deslizamiento del peatón por asfalto: 0,45 y 0,60, es decir: 4,41 m/s<sup>2</sup> y 5,88 m/s<sup>2</sup>.

Siendo los resultados los que se exponen en la tabla:

Velocidad / deceleración	4,41 m/s <sup>2</sup>	5,88 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	3,49 m	2,6 m
35 km/h	10,60 m	8,01 m
50 km/h	21,85 m	16,38 m
65 km/h	36,95 m	27,71 m
80 km/h	55,98 m	41,98 m

Tabla núm. 7-56. Resultados de la distancia de proyección utilizando el modelo de Fricke.

Para obtener datos a través de simulaciones con el programa Virtual Crash, se utilizarán variables comunes a todas ellas y otras distintas, incluyéndose las ya utilizadas en modelo físico-matemático:

#### Variables comunes:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,75.
- Peatón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

Otras variables:

- Tipo de vehículo (2 tipos de vehículos con dos frontales distintos).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,45 y 0,60.
- Edad peatón (2 distintos, 1 adulto y 1 niño de 3 años y 6 meses).

Los vehículos a utilizar en las simulaciones serán Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) para peatones adultos y Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) para peatones niños.

Para el análisis de la distancia de proyección, se compararán los valores de los resultados obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los dos multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático, excluyéndose aquéllos resultados en los que se ha dado alguna circunstancia anómala (normalmente arrastre o transporte del multibody por el vehículo); además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

**7.1.5.1. Peatón  $\mu = 0,45$** 

A continuación se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,45$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,99 m	3,49 m	61,18
35 km/h	21,95 m	10,60 m	51,71
50 km/h	33,33 m	21,85 m	34,44
65 km/h	45,81 m	36,95 m	19,34
80 km/h	72,95 m	55,98 m	23,26

Tabla núm. 7-57. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Fricke para  $\mu=0.45$  y peatones adultos.

Velocidad/ $\mu=0,45$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	5,1 m	3,49 m	31,57
35 km/h	13,29 m	10,60 m	20,24
50 km/h	25,81 m	21,85 m	15,34
65 km/h	41,89 m	36,95 m	11,79
80 km/h	67,67 m	55,98 m	17,28

Tabla núm. 7-58. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Fricke para  $\mu=0.45$  y peatones de 3 años y 6 meses.

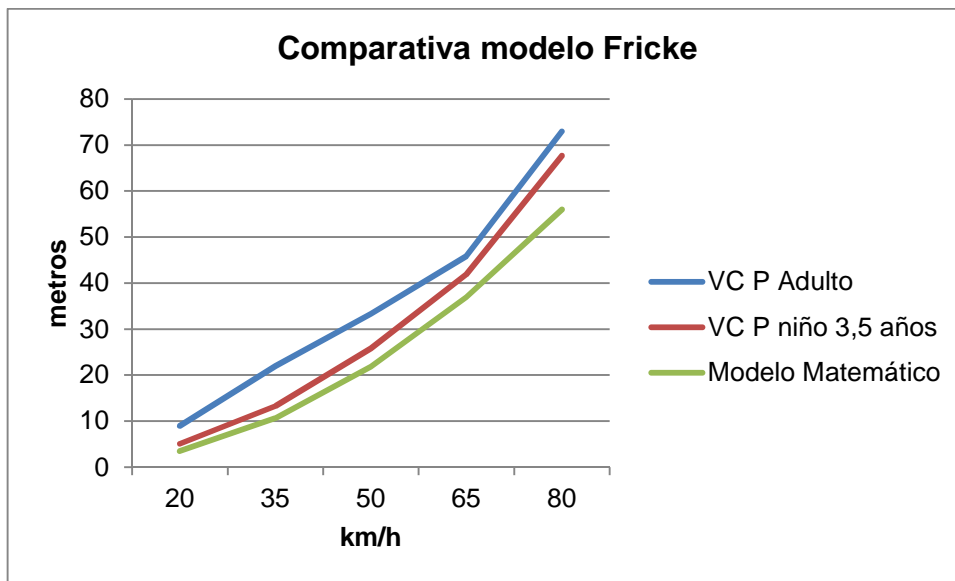


Figura núm. 7-91. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para  $\mu=0.45$  comparando los datos del modelo físico-matemático de Fricke y del programa Virtual Crash.

Se establece que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash respecto a la distancia de proyección son superiores a los obtenidos con el modelo físico-matemático; destaca el hecho, que los valores obtenidos con el peatón de 3 años y 6 meses, están más próximos a los obtenidos con el modelo físico-matemático que los obtenidos con el peatón adulto.



√ Geometrías.

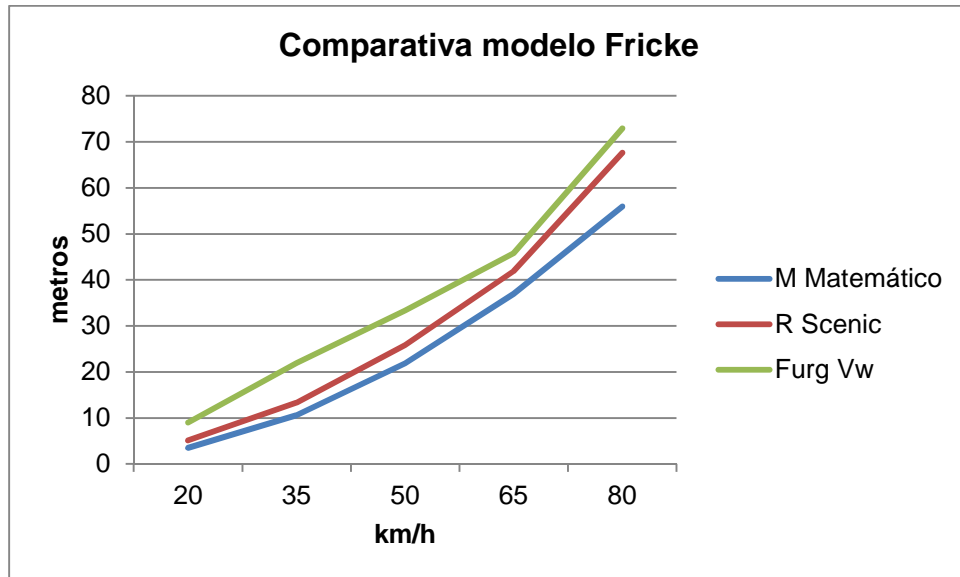


Figura núm. 7-92. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para  $\mu=0.45$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Fricke.

Como se observa en el gráfico, las geometrías de los vehículos utilizados en el programa Virtual Crash influyen a la hora de obtener distancias de proyección, siendo este hecho más acusado para la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) a velocidades de 35, 50 y 80 km/h; mientras que para la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) esa diferencia es mayor a velocidades de atropello de 80 km/h.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

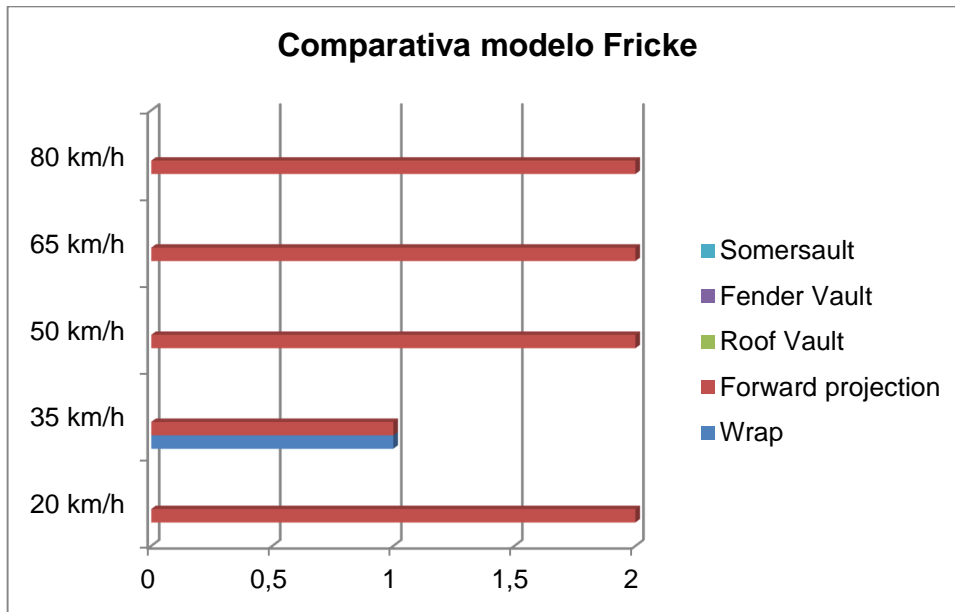


Figura núm. 7-93. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para  $\mu=0.45$  de Fricke.

La trayectoria post-impacto, prácticamente única, para estas condiciones de atropello es la denominada Forward Projection.

### 7.1.5.2. Peatón $\mu = 0,60$

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash, son los siguientes:

√ Distancias de proyección.

Velocidad/ $\mu=0,60$	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	9,17 m	2,60 m	71,65
35 km/h	17,25 m	8,01 m	53,57
50 km/h	42,55 m	16,38 m	61,50
65 km/h	45,49 m	27,71 m	39,09
80 km/h	60,15 m	41,98 m	30,21

Tabla núm. 7-59. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Fricke para  $\mu=0.60$  y peatones adultos.

Velocidad/ $\mu=0,60$	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,30 m	2,60 m	64,38
35 km/h	14,28 m	8,01 m	43,91
50 km/h	19,84 m	16,38 m	17,44
65 km/h	39,51 m	27,71 m	29,87
80 km/h	60,89 m	41,98 m	31,06

Tabla núm. 7-60. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Fricke para  $\mu=0.60$  y peatones de 3 años y 6 meses.

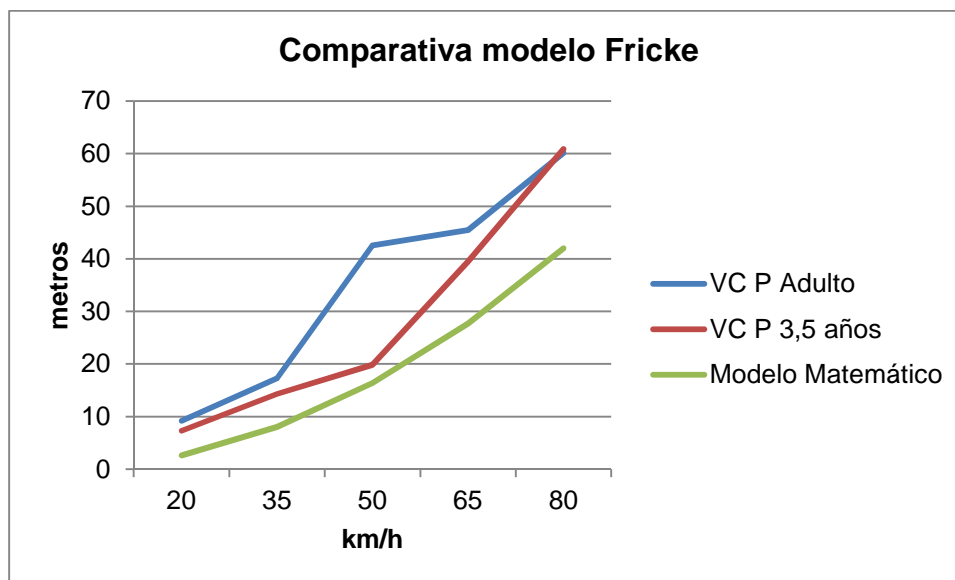


Figura núm. 7-94. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para  $\mu=0.60$  comparando los datos del modelo físico-matemático de Fricke y del programa Virtual Crash.

Aún descartándose el valor obtenido a velocidad de 50 km/h con el vehículo Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3 por anomalías existentes durante su simulación, los resultados obtenidos evidencian que las distancias de proyección que se obtienen con el programa Virtual Crash son superiores a las obtenidas con el modelo matemático.

√ Geometrías.

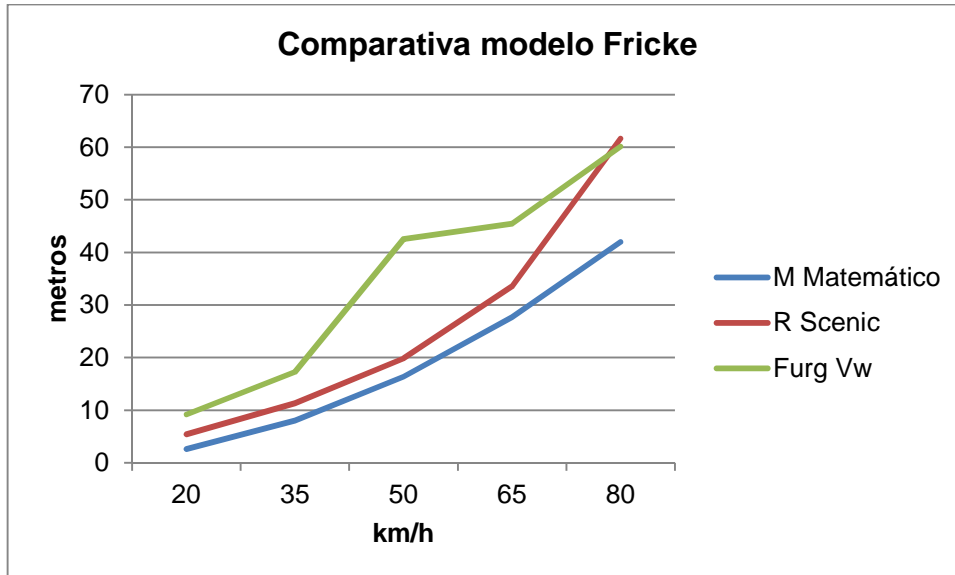


Figura núm. 7-95. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para  $\mu=0.60$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Fricke.

Descartándose el valor obtenido a 50 km/h por la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), se observa que con la misma, los resultados obtenidos a velocidades de 65 y 80 km/h está muy por encima con respecto a las obtenidas con el modelo matemático. En cuanto a la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), la gran diferencia se observa a velocidad de atropello de 80 km/h.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

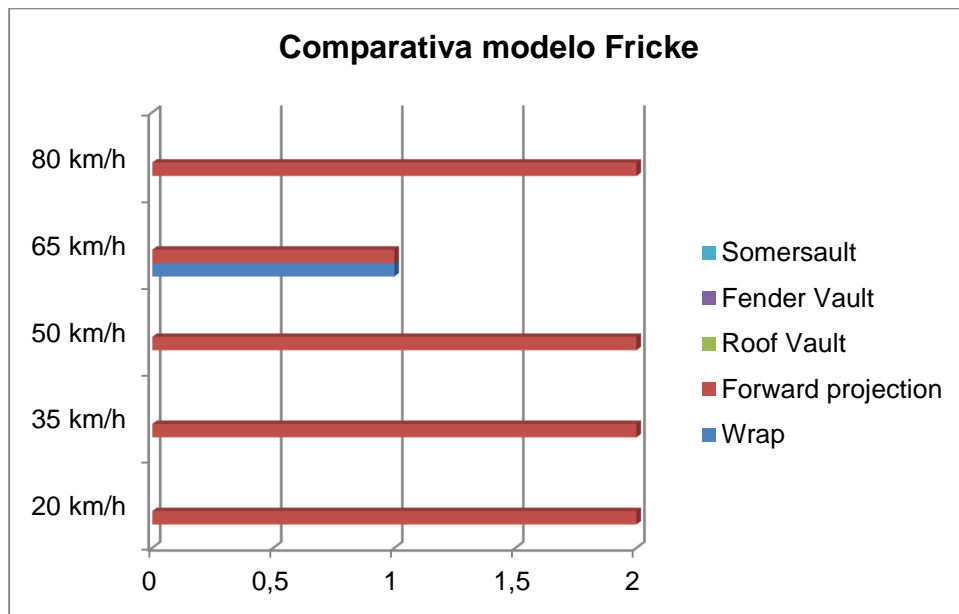


Figura núm. 7-96. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para  $\mu=0.60$  según el modelo de Fricke.

Prácticamente la única trayectoria presente para este tipo de atropellos ha sido la denominada Forward Projection.

### 7.1.5.3. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Fricke.

Finalizado el estudio comparativo, se determina que los valores obtenidos referidos a distancias de proyección para peatones de 3 años y 6 meses están más aproximados a los valores obtenidos con el modelo matemático, considerándose en función del error porcentual un grado de fiabilidad medio-alto. En cuanto a los atropellos para peatones adultos el grado de fiabilidad es medio-bajo.

Mencionando las geometrías, se observa que en general, las dos geometrías utilizadas Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) y Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), a velocidades de atropello altas (65-80 km/h) tienen bastante influencia al elevar considerablemente el resultado de la distancia de proyección con respecto a los resultados obtenidos con el modelo matemático.

Prácticamente la única trayectoria existente en todos los atropellos, independientemente del tipo de peatón o vehículo es la denominada Forward Projection, en consonancia con el tipo de trayectoria para el que es aconsejado este método.

Se concluye por tanto que la utilización del modelo físico-matemático es adecuado para peatones menores y en el caso de adultos, cuando la velocidad de atropello se estime superior a 50 km/h, imperando en los dos casos una trayectoria post-impacto Forward Projection.

### 7.1.6. MODELO ARONBERG

Dado que el modelo utiliza, entre otros datos, la altura máxima que alcanza el peatón en su trayectoria de vuelo y al no poder constatar ese dato por medio de las simulaciones con el programa Virtual Crash, no se va a realizar la comparativa entre el modelo físico matemático y el mencionado programa informático.

### 7.1.7. MODELO DE LIMPET

Para obtener la distancia de proyección necesaria para conseguir datos de velocidades de atropello, se va a utilizar la formulación inicial propuesta por Limpert, con las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h

√ Coeficientes de fricción de 0,7, 0,9 y 1,2, según propuesta del autor del modelo.

Velocidad / $\mu$	0,7	0,9	1,2
20 km/h	4,06 m	4,50 m	5,48 m
35 km/h	9,07 m	9,33 m	10,47 m
50 km/h	15,81 m	15,50 m	16,47 m
65 km/h	24,30 m	23,03 m	23,49 m
80 km/h	34,52 m	31,91 m	31,52 m

Tabla núm. 7-61. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Limpert.

Siguiendo el proceso del resto de casos, se van a utilizar unas variables comunes en las simulaciones con el programa Virtual Crash y otras diferentes, no variando las utilizadas en el modelo físico-matemático:

Variables comunes:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,7.
- Peadón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

Otras variables:

- Tipo de vehículo (6 tipos de vehículos con seis frontales distintos).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,7, 0,9 y 1,2.
- Deceleración equivalente a 6,86 m/s<sup>2</sup>, 8,82 m/s<sup>2</sup> y 11,77 m/s<sup>2</sup>.
- Edad peatón (2 distintos, 1 adulto y 1 niño de 6 años).

La distancia de proyección se obtendrá comparando los valores de los resultados obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los dos multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático, en función de las deceleraciones utilizadas; además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

### 7.1.7.1. Peatón adulto. Deceleración 6,86 m/s<sup>2</sup>

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,27 m	4,06 m	24,16
35 km/h	8,70 m	9,07 m	4,25
50 km/h	16,64 m	15,81 m	4,99
65 km/h	26,04 m	24,30 m	6,68
80 km/h	35,78 m	34,52 m	3,52

Tabla núm. 7-62. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 6,86 m/s<sup>2</sup> y peatones adultos.

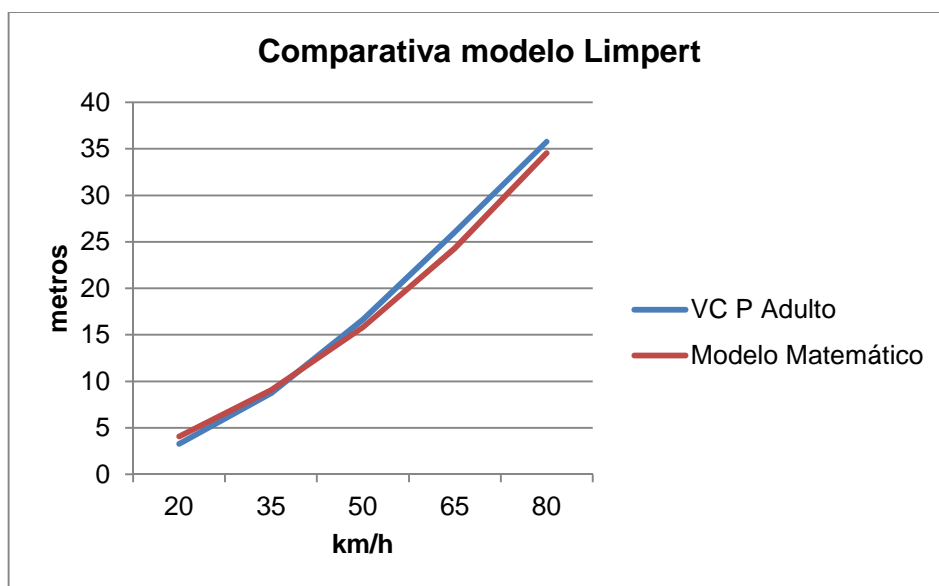


Figura núm. 7-97. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de 6,86 m/s<sup>2</sup> y peatones adultos, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash.

A modo de conclusión se puede establecer que los valores obtenidos con respecto a la distancia de proyección con el programa Virtual Crash son muy similares a los obtenidos con el modelo físico-matemático.



√ Geometrías.

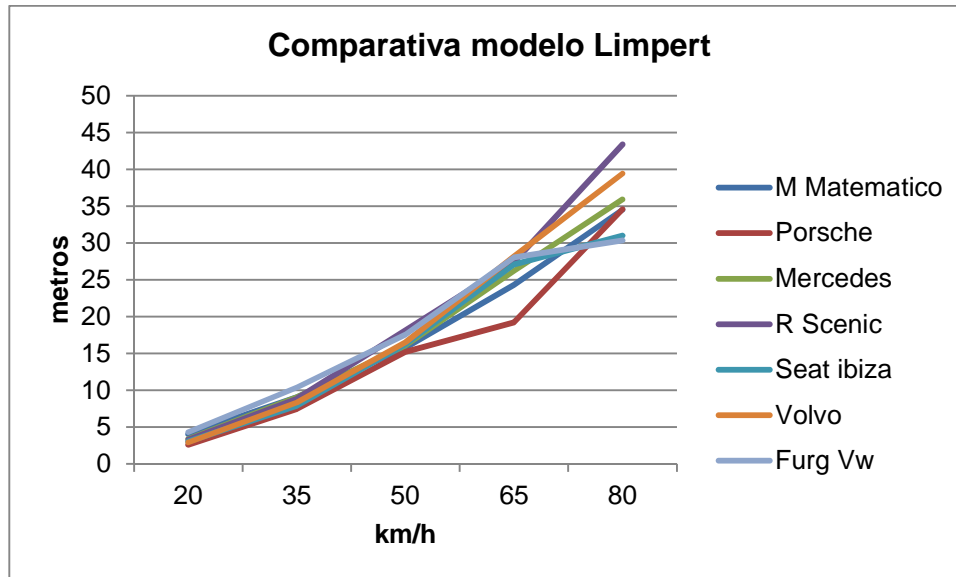


Figura núm. 7-98. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert.

Como se observa en el gráfico, a velocidades de hasta  $50 \text{ km/h}$  las geometrías de los vehículos utilizados en Virtual Crash no influyen de manera determinante en las distancias de proyección obtenidas con respecto a los resultados del modelo matemático. Si bien, a  $65 \text{ km/h}$ , existen irregularidades reseñables que afectan disminuyendo la distancia de proyección en la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y aumentando ligeramente en el resto de geometrías. Para velocidades de  $80 \text{ km/h}$ , las geometrías Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8), aumentan ligeramente la distancia de proyección y la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), la disminuye.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

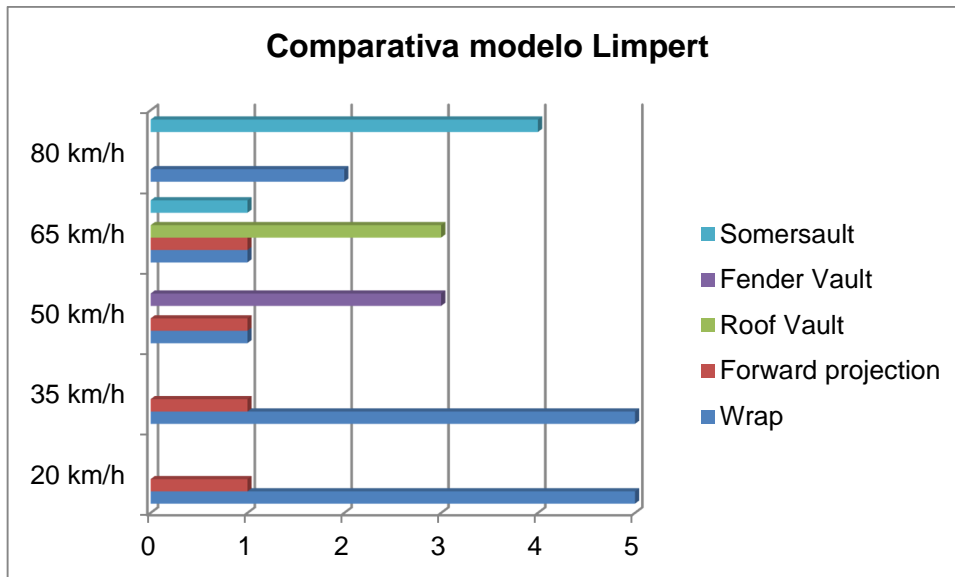


Figura núm. 7-99. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos según el modelo de Limpert.

A velocidades de atropello bajas (20-35 km/h) la trayectoria más común es la denominada Wrap. Con el aumento de velocidad, las trayectorias son más diversas, destacando las que conllevan volteo del peatón (Somersault o Roof Vault).

### 7.1.7.2. Peatón niño 6 años. Deceleración 6,86 m/s<sup>2</sup>

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,81 m	4,06 m	6,56
35 km/h	9,12 m	9,07 m	0,55
50 km/h	18,57 m	15,81 m	14,86
65 km/h	29,89 m	24,30 m	18,70
80 km/h	43,06 m	34,52 m	19,83

Tabla núm. 7-63. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 6,86 m/s<sup>2</sup> y peatones de 6 años.

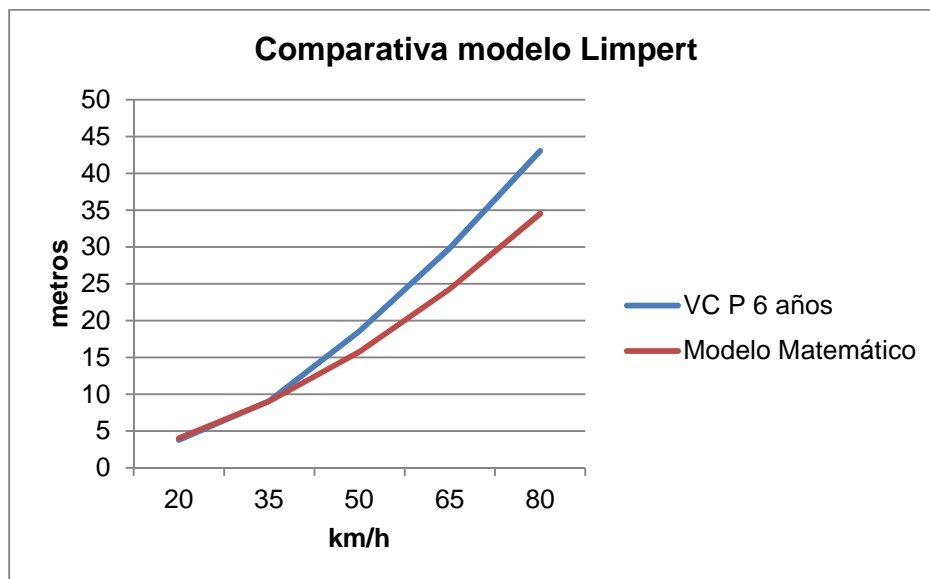


Figura núm. 7-100. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de 6,86 m/s<sup>2</sup> y peatones de 6 años, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash.

Los resultados muestran que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están próximos a los del modelo físico-matemático, si bien, éstos se hallan más cercanos a velocidades bajas (20-35 km/h).

√ Geometrías.

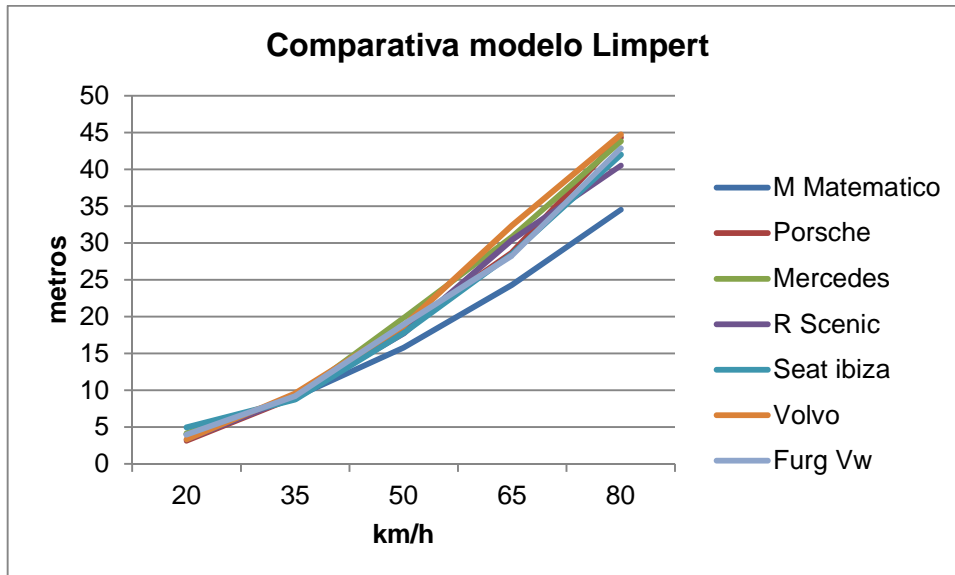


Figura núm. 7-101. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert.

Como se observa en el gráfico, a velocidades bajas (20-35 km/h), los resultados están muy ajustados en todas las geometrías con respecto al modelo matemático. A partir de 50 km/h, por el contrario, todas las geometrías estudiadas aumentan la distancia de proyección con respecto a las obtenidas con el modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

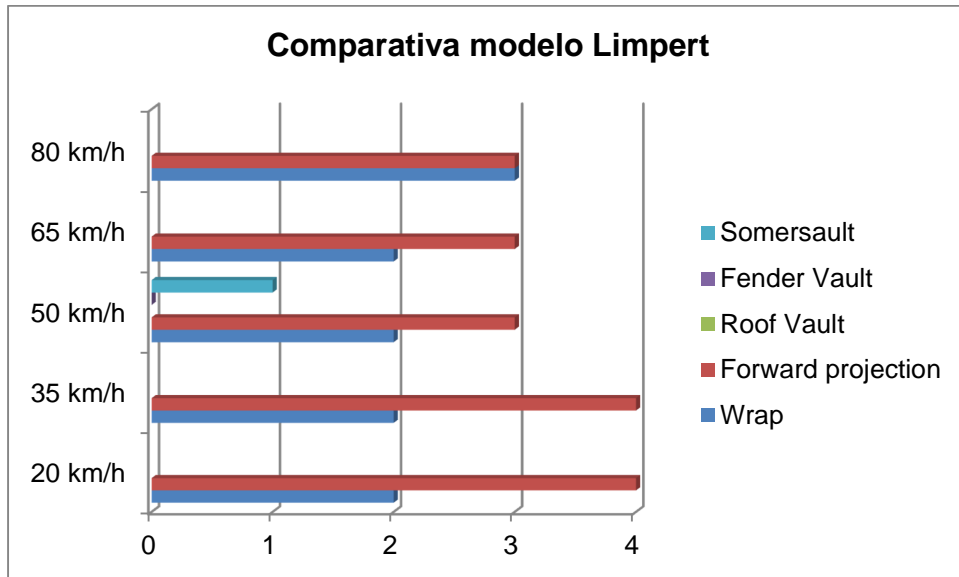


Figura núm. 7-102. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $6,86 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años según el modelo de Limpert.

Las trayectorias post-impacto más comunes para este peatón son las denominadas Forward Projection y Wrap.

### 7.1.7.3. Peatón adulto. Deceleración 8,82 m/s<sup>2</sup>

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	2,77 m	4,50 m	62,45
35 km/h	7,86 m	9,33 m	18,70
50 km/h	14,88 m	15,50 m	4,17
65 km/h	25,15 m	23,03 m	8,43
80 km/h	37,03 m	31,91 m	13,83

Tabla núm. 7-64. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 8,82 m/s<sup>2</sup> y peatones adultos.

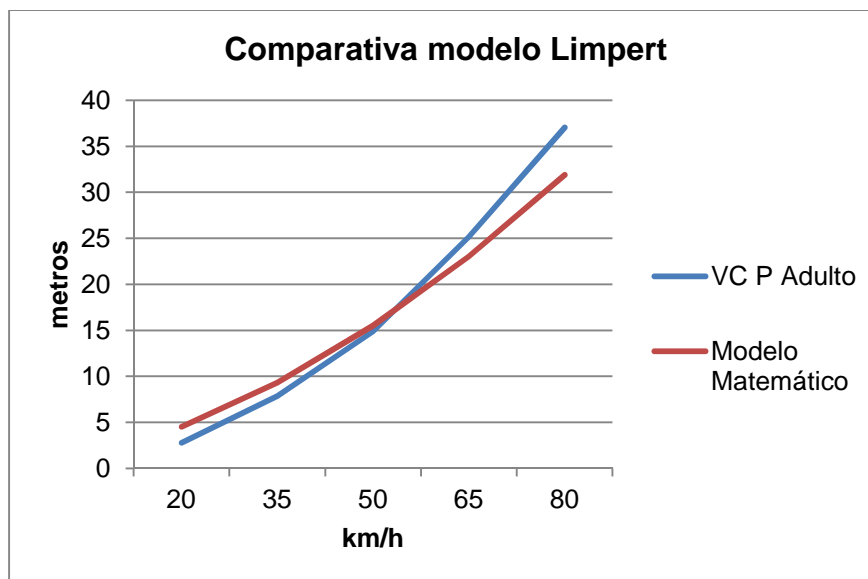


Figura núm. 7-103. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de 8,82 m/s<sup>2</sup> y peatones adultos, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash.

Según lo expuesto, en general, se observa que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash a velocidades bajas (20-35 km/h), se encuentran ligeramente por debajo que los resultados del modelo matemático. A partir de esas velocidades, los resultados muestran un aumento de la distancia de proyección con respecto al modelo matemático.

√ Geometrías.

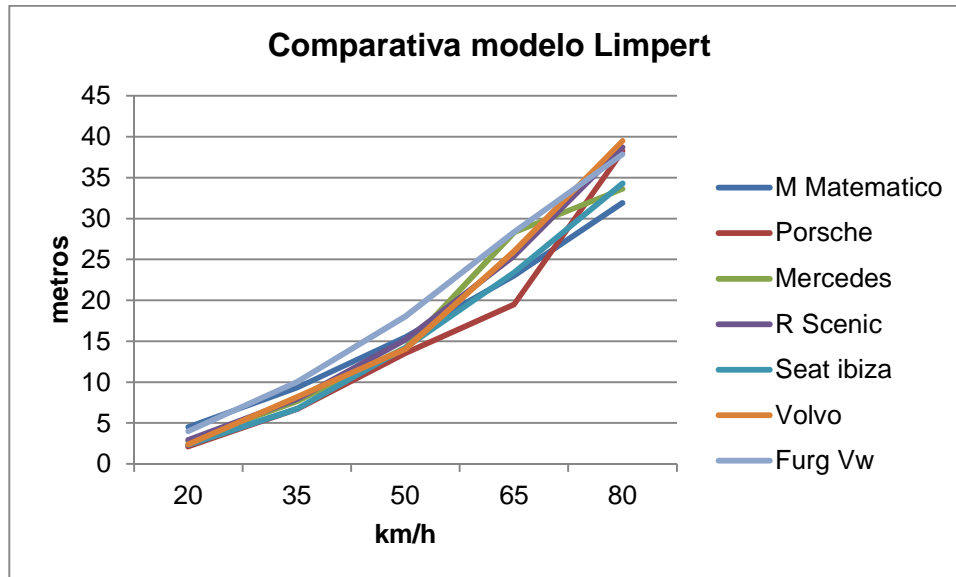


Figura núm. 7-104. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $8,82 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert.

En el gráfico se aprecia como a velocidades de 20-35 km/h, todas las geometrías obtienen una distancia de proyección inferior a la calculada con el método matemático, excepto la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) que se encuentra igualada. A 50 km/h la última geometría citada destaca con un resultado superior, hallándose el resto bastante igualadas al parámetro de referencia. A partir de 65 km/h, todas las geometrías obtienen unos resultados superiores, salvo la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera), que a 65 km/h obtiene un resultado inferior al método matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

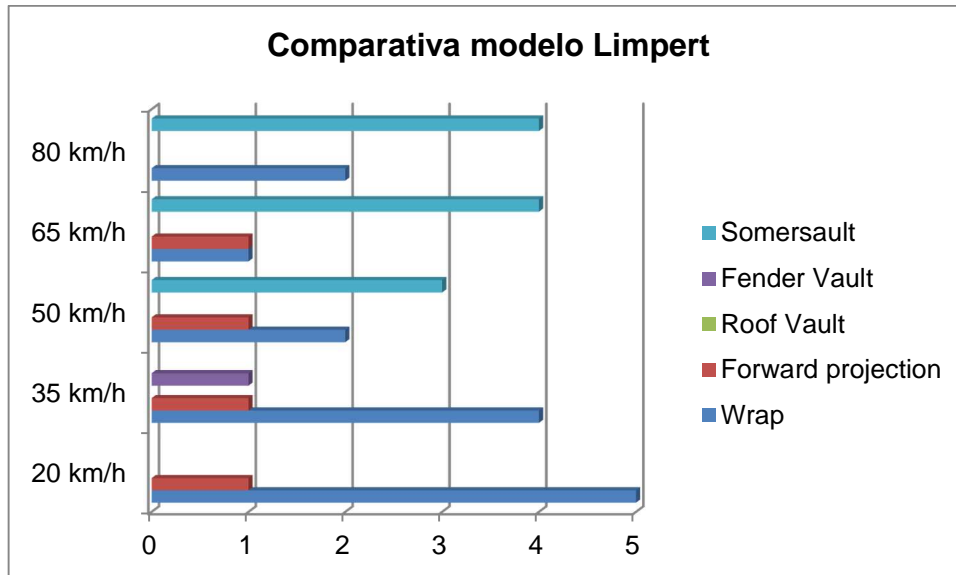


Figura núm. 7-105. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $8,82 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos según el modelo de Limpert.

A velocidades de atropello bajas (20-35 km/h) la trayectoria más común es la denominada Wrap. A partir de esas velocidades, la trayectoria más repetida es Somersault.



#### 7.1.7.4. Peatón niño 6 años. Deceleración 8,82 m/s<sup>2</sup>

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,35 m	4,50 m	34,33
35 km/h	8,83 m	9,33 m	5,66
50 km/h	18,08 m	15,50 m	14,27
65 km/h	29,03 m	23,03 m	20,67
80 km/h	42,72 m	31,91 m	25,30

Tabla núm. 7-65. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 8,82 m/s<sup>2</sup> y peatones de 6 años.

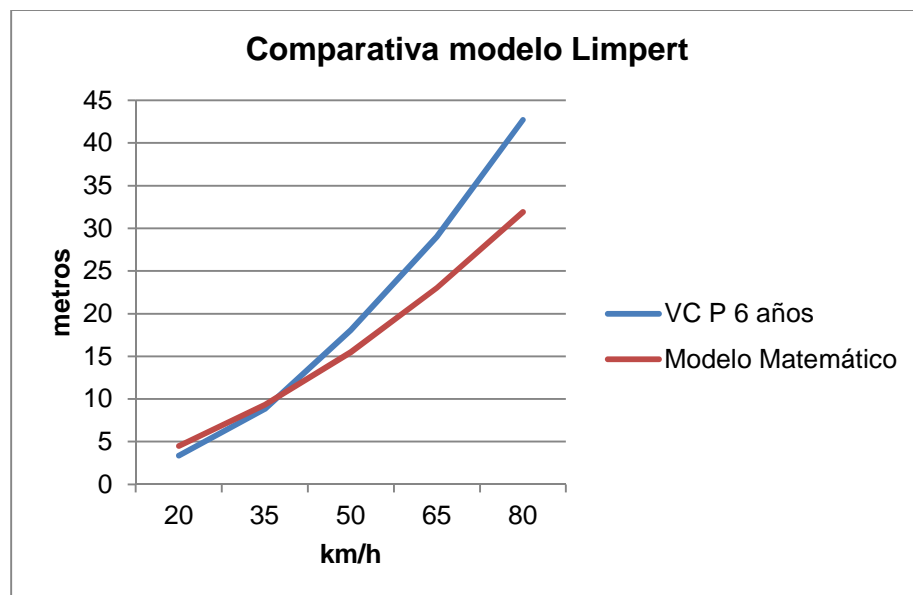


Figura núm. 7-106. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de 8,82 m/s<sup>2</sup> y peatones de 6 años, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash.

Gráficamente se observa que los valores obtenidos por el programa Virtual Crash a velocidades de 35 y 50 km/h se hallan muy próximos a los del modelo matemático; a partir de esas velocidades las diferencias van aumentando.

√ Geometrías.

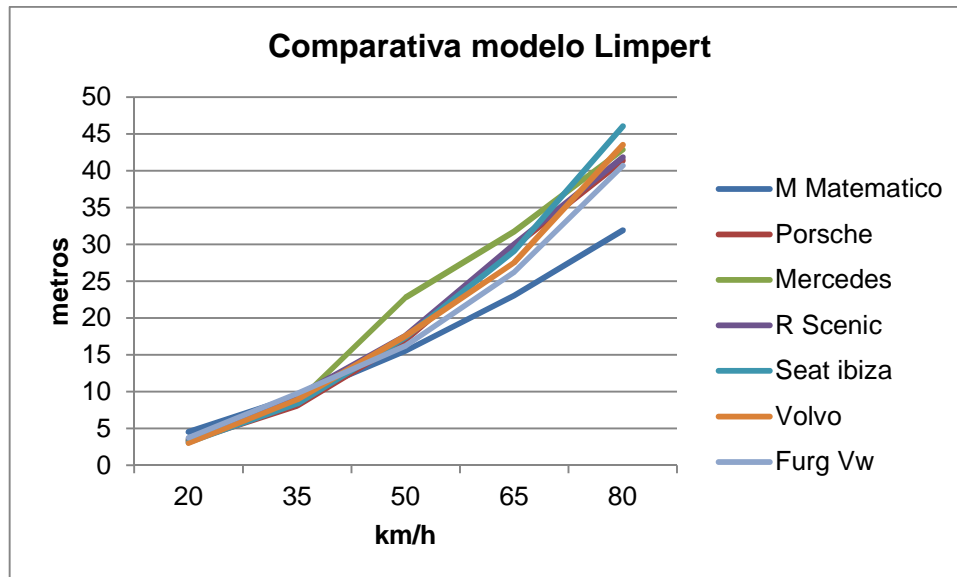


Figura núm. 7-107. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $8.82 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert.

Como se observa en el gráfico, a velocidades bajas (20-35 km/h), los resultados están muy ajustados de todas la geometrías con respecto al modelo matemático. A partir de 50 km/h, por el contrario, todas las geometrías estudiadas aumentan la distancia de proyección con respecto a las obtenidas con el modelo matemático, destacando especialmente a esa velocidad la geometría Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

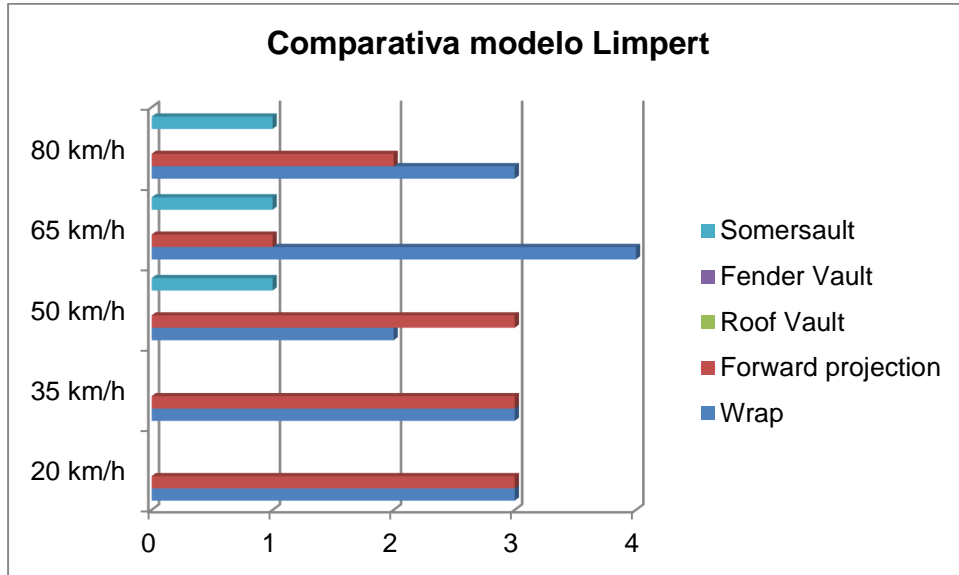


Figura núm. 7-108. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de 8,82 m/s<sup>2</sup> y peatones de 6 años según el modelo de Limpert.

Las trayectorias post-impacto más comunes para este peatón son las denominadas Forward Projection y Wrap.

### 7.1.7.5. Peatón adulto. Deceleración 11,77 m/s<sup>2</sup>

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	2,38 m	5,48 m	130,25
35 km/h	6,38 m	10,47 m	64,11
50 km/h	13,76 m	16,47 m	19,69
65 km/h	23,19 m	23,49 m	1,29
80 km/h	38,79 m	31,52 m	18,74

Tabla núm. 7-66. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 11,77 m/s<sup>2</sup> y peatones adultos.

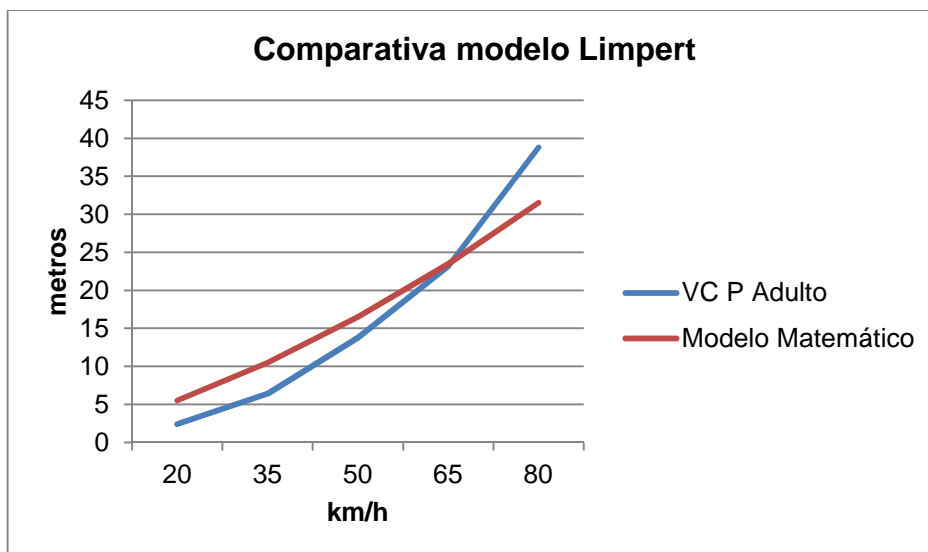


Figura núm. 7-109. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de 11,77 m/s<sup>2</sup> y peatones adultos, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash.

Los resultados obtenidos muestran que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash se hallan por debajo de los obtenidos con el modelo matemático a velocidades de atropello inferiores a 50 km/h, y por encima a velocidades de 80 km/h.

√ Geometrías.

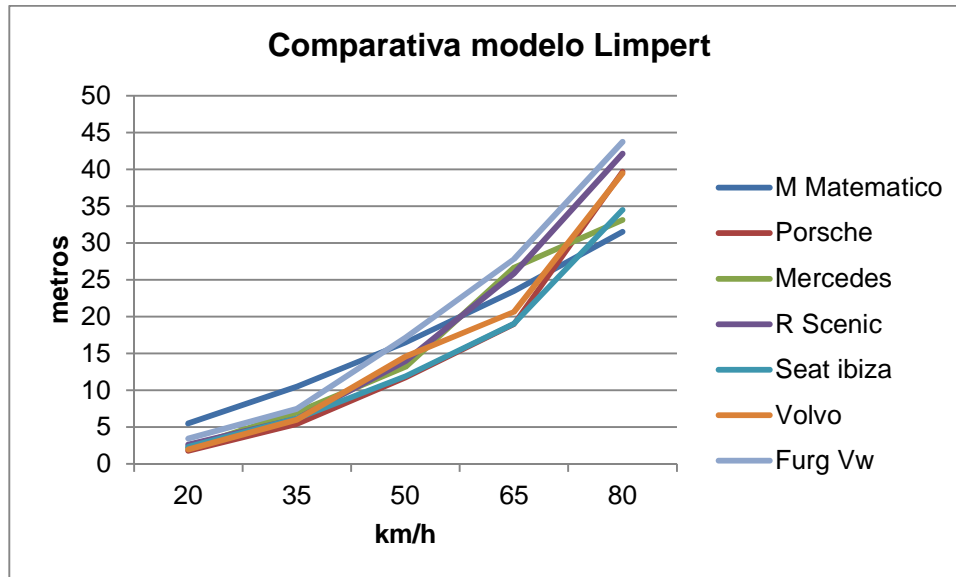


Figura núm. 7-110. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert.

Gráficamente se aprecia que a velocidades de hasta 50 km/h, prácticamente todas las geometrías obtienen resultados inferiores a los obtenidos con el modelo matemático. A partir de esa velocidad, las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), elevan considerablemente sus resultados con respecto al modelo matemático; si bien, a 65 km/h, las geometrías Wedge shape (Porsche 911 Carrera), Pontoon shape (Volvo 460 1.8) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) mantienen aún por debajo sus resultados, que a velocidades de 80 km/h se unen al resto de geometrías para aumentar los mismos con respecto al modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

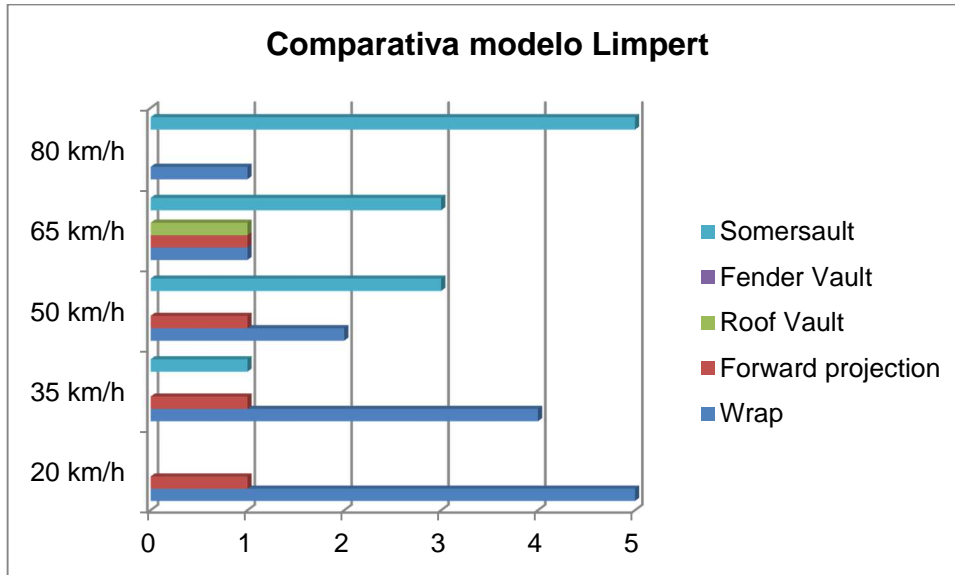


Figura núm. 7-111. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones adultos según el modelo de Limpert.

A velocidades de atropello bajas (20-35 km/h) la trayectoria más común es la denominada Wrap. A partir de 50 km/h, va cobrando fuerza la trayectoria Somersault, que es la más común, existiendo residualmente presencia de otras trayectorias.

### 7.1.7.6. Peatón niño 6 años. Deceleración 11,77 m/s<sup>2</sup>

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,17 m	5,48 m	72,87
35 km/h	8,34 m	10,47 m	25,54
50 km/h	16,62 m	16,47 m	0,90
65 km/h	28,41 m	23,49 m	17,32
80 km/h	42,8 m	31,52 m	26,36

Tabla núm. 7-67. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Limpert para deceleraciones de 11,77 m/s<sup>2</sup> y peatones de 6 años.

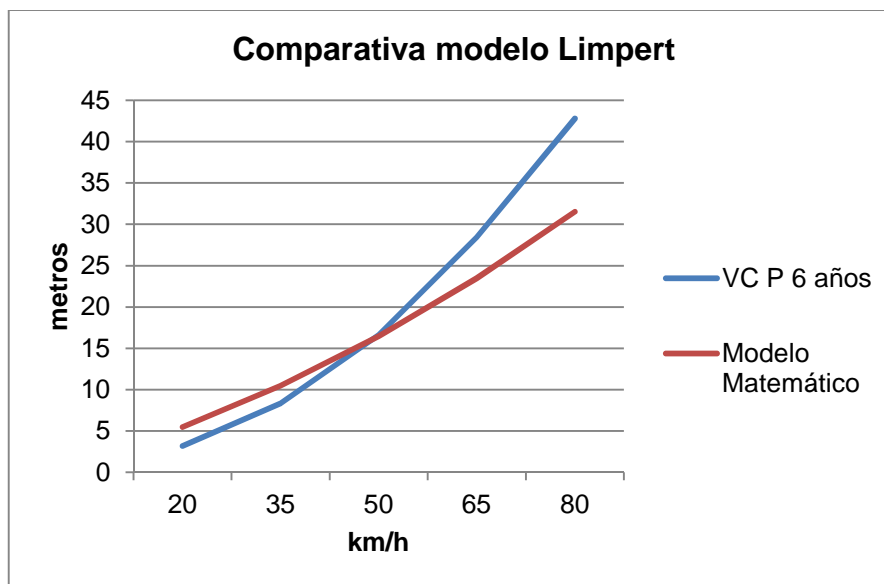


Figura núm. 7-112. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para deceleraciones de 11,77 m/s<sup>2</sup> y peatones de 6 años, comparando los datos del modelo físico-matemático de Limpert y del programa Virtual Crash.

Los resultados muestran que a velocidades bajas (20-35 km/h) los valores obtenidos con el programa Virtual Crash están por debajo de los obtenidos con el modelo matemático; por el contrario, a velocidades altas (65-80 km/h) los valores obtenidos con el programa se hallan por encima.

√ Geometrías.

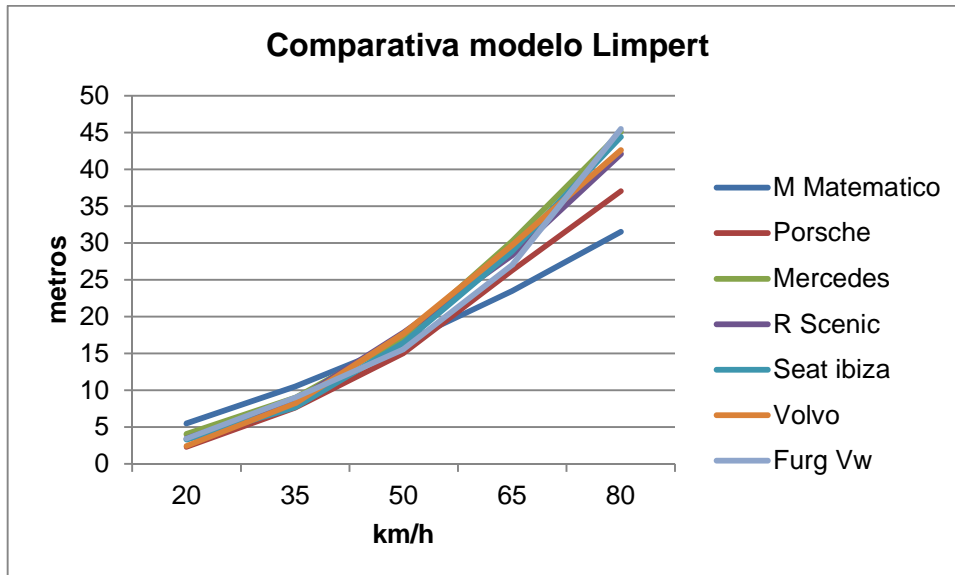


Figura núm. 7-113. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Limpert.

A velocidades bajas (20-35 km/h), todas las geometrías obtienen resultados por debajo de los obtenidos con el modelo matemático. A velocidades de 50 km/h los resultados están muy igualados. A velocidades altas (65-80 km/h), existe un aumento generalizado de las distancias de proyección para todas las geometrías, siendo menor ese aumento para la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera).



√ Tipos de trayectoria post-impacto.

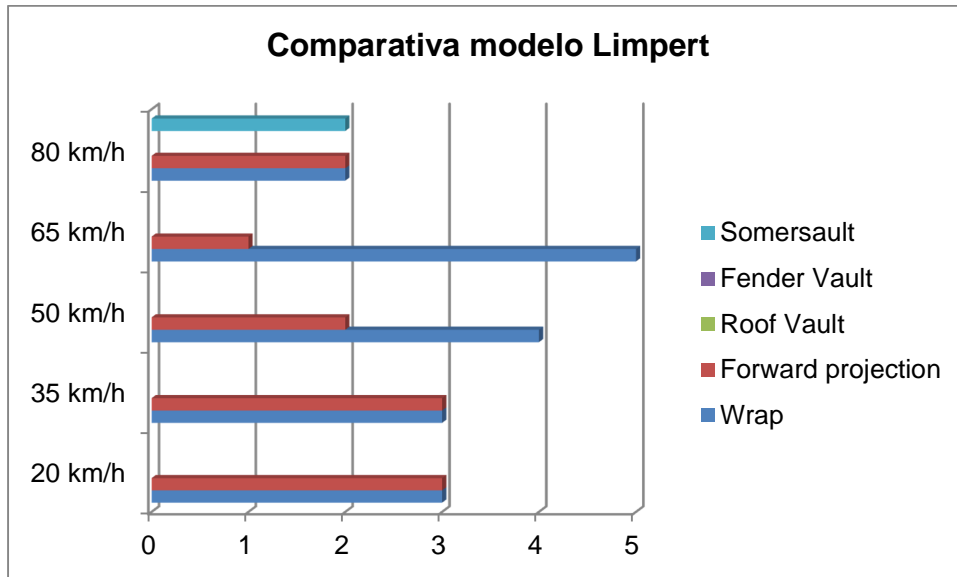


Figura núm. 7-114. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$  y peatones de 6 años según el modelo de Limpert.

A velocidades de 20-35 km/h, las trayectorias Forward Projection y Wrap están presentes a partes iguales. Si observamos las trayectorias a velocidades de 50-65 km/h, la más común es Wrap. A velocidad de 80 km/h, además de las dos trayectorias citadas, se une la trayectoria de volteo (Somersault).

#### 7.1.7.7. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Limpert.

En cuanto a la distancia de proyección, en una deceleración baja ( $6,86 \text{ m/s}^2$ ), el modelo físico-matemático obtiene unos resultados superiores a los obtenidos con el programa Virtual Crash, teniendo un grado de fiabilidad alto en función del error porcentual independientemente del tamaño del peatón. Para deceleraciones de  $8,82 \text{ m/s}^2$ , en peatones adultos el grado de fiabilidad es alto y en peatones niños de 6 años es medio-alto. Con deceleraciones de  $11,77 \text{ m/s}^2$ , el grado de fiabilidad es medio-alto para adultos por encima de 50 km/h y medio en general para peatones niños de 6 años.

En general, se ha comprobado que a velocidades bajas (20-35 km/h) las geometrías no tienen influencia, al ajustar bastante los resultados con respecto al modelo matemático. A partir de esas velocidades, todas las geometrías aumentan la distancia de proyección.

Las trayectorias post-impacto más comunes para peatones menores son Wrap y Forward Projection. Para atropellos de peatones adultos, a velocidades bajas (20-35 km/h) la trayectoria más común es Wrap; a medida que se va aumentando la velocidad de atropello, las trayectorias más repetidas conllevan volteo, siendo la más común la trayectoria Somersault.

En síntesis, el modelo matemático es bastante adecuado para su utilización en atropellos en los que se encuentren presentes deceleraciones bajas por parte del vehículo, independientemente del tamaño del peatón o de la trayectoria post-impacto sufrida. Para deceleraciones más altas su uso se debería restringir a peatones adultos con estimaciones de velocidad de atropello superiores a 50 km/h y con trayectorias post-impacto que impliquen volteo.

### 7.1.8. MODELO HÍBRIDO DE WOOD

En el modelo físico-matemático se utilizó la siguiente variable:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

Los resultados que se obtuvieron fueron los que se expresan en la siguiente tabla:

Velocidad	Distancia
20 km/h	2,38 m
35 km/h	7,29 m
50 km/h	14,89 m
65 km/h	25,16 m
80 km/h	38,11 m

Tabla núm. 7-68. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo híbrido de Wood.

Las simulaciones que se realizarán con el programa Virtual Crash utilizarán variables comunes a todas ellas y otras distintas, incluyéndose la ya utilizada y citada en el modelo físico-matemático:

Variables comunes:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,75.
- Peatón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

Otras variables:

- Tipo de vehículo (6 tipos de vehículos con seis frontales distintos).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,5 , 0,7 y 0,9.
- Edad peatón (2 distintos, 1 mujer adulta y 1 niño de 3 años y 6 meses).

Para el análisis de la distancia de proyección, se compararán los valores medios de los resultados obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los dos multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático, según edad y coeficiente de rozamiento peatón-calzada, excluyéndose aquéllos resultados en los que se ha dado alguna circunstancia anómala (normalmente arrastre o transporte del multibody por el vehículo); además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

### 7.1.8.1. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,5$

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,66 m	2,38 m	68,93
35 km/h	15,75 m	7,29 m	53,71
50 km/h	26,54 m	14,89 m	43,90
65 km/h	42,17 m	25,16 m	40,34
80 km/h	61,59 m	38,11 m	38,12

Tabla núm. 7-69. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,5$ .

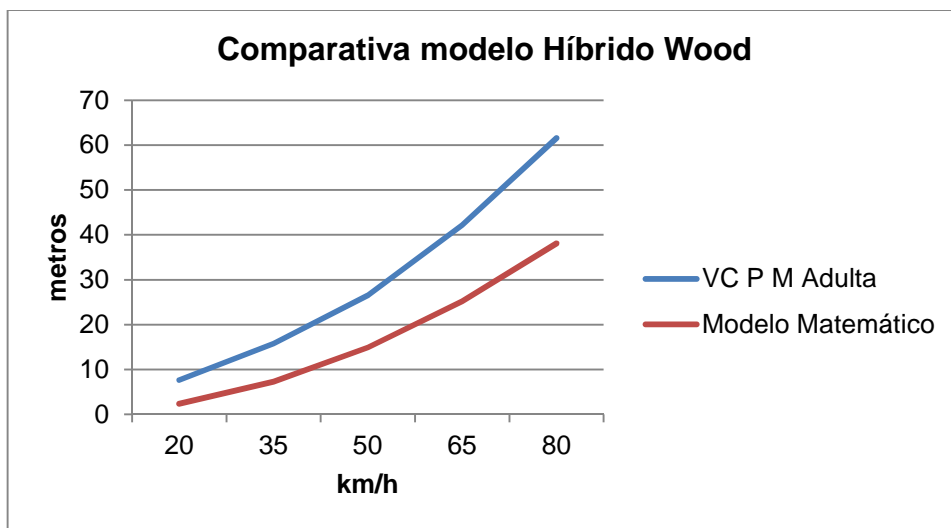


Figura núm. 7-115. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,5$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash.

En el gráfico se observa que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash son muy superiores y están muy alejados de los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

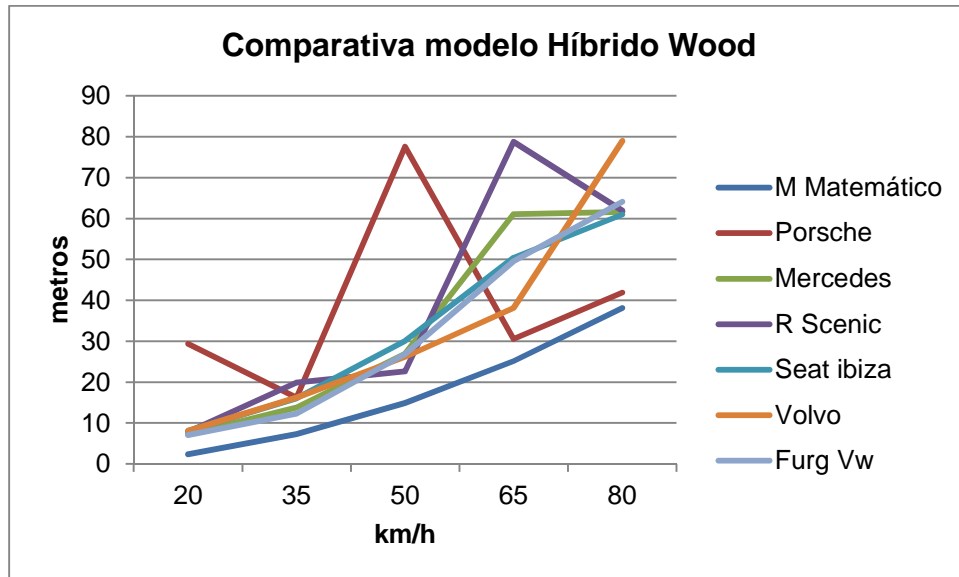


Figura núm. 7-116. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,5$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood.

En general, todas las geometrías ofrecen valores superiores a los obtenidos con el modelo matemático, debiendo descartarse resultados obtenidos a distintas velocidades (destacando en el gráfico de forma considerable) de todas las geometrías salvo las denominadas Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), al haberse apreciado anomalías en el desarrollo del atropello. Excluyendo esos resultados anómalos, los resultados obtenidos con la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera), a velocidades de 65-80 km/h son los más similares al modelo matemático. Para el resto de geometrías, se mantiene una tendencia estable en cuanto a resultados, siempre por encima del modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

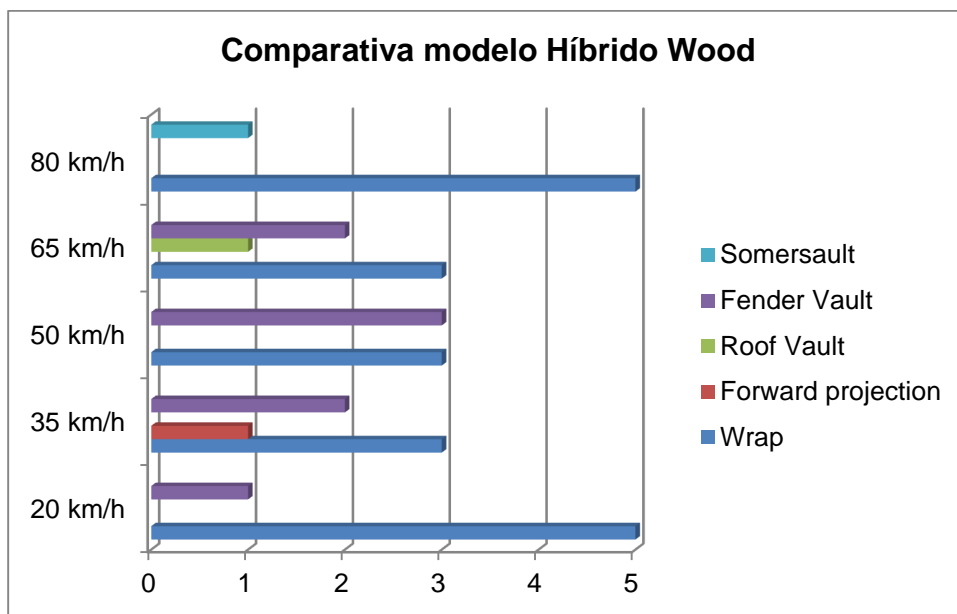


Figura núm. 7-117. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,5$ , según el modelo híbrido de Wood.

La trayectoria post-impacto más común para este peatón es la denominada Wrap (especialmente a velocidades de 20 km/h). A medida que se va aumentando la velocidad, aunque sigue estando presente de forma significativa, se aprecia una mayor presencia de la trayectoria Fender Vault.

### 7.1.8.2. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,7$

Se exponen a continuación los resultados y gráficos obtenidos tras las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,77 m	2,38 m	64,84
35 km/h	13,31 m	7,29 m	45,23
50 km/h	24,66 m	14,89 m	39,62
65 km/h	34,27 m	25,16 m	26,58
80 km/h	51,22 m	38,11 m	25,60

Tabla núm. 7-70. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,7$ .

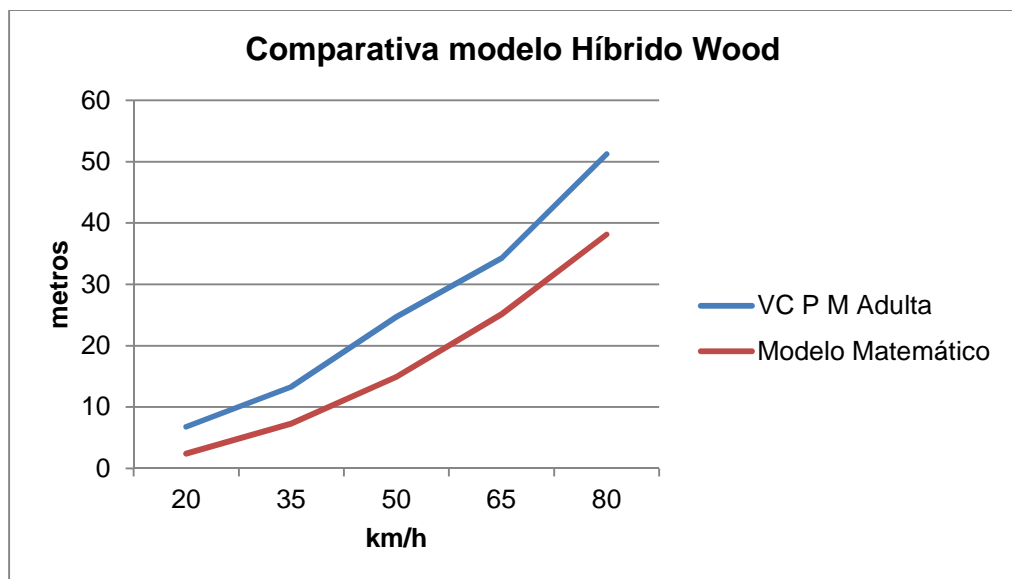


Figura núm. 7-118. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,7$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash.

Igual que en el caso anterior, los valores del modelo matemático están por debajo de los obtenidos con el programa Virtual Crash, hallándose más próximos a velocidades altas (65-80 km/h).

√ Geometrías.

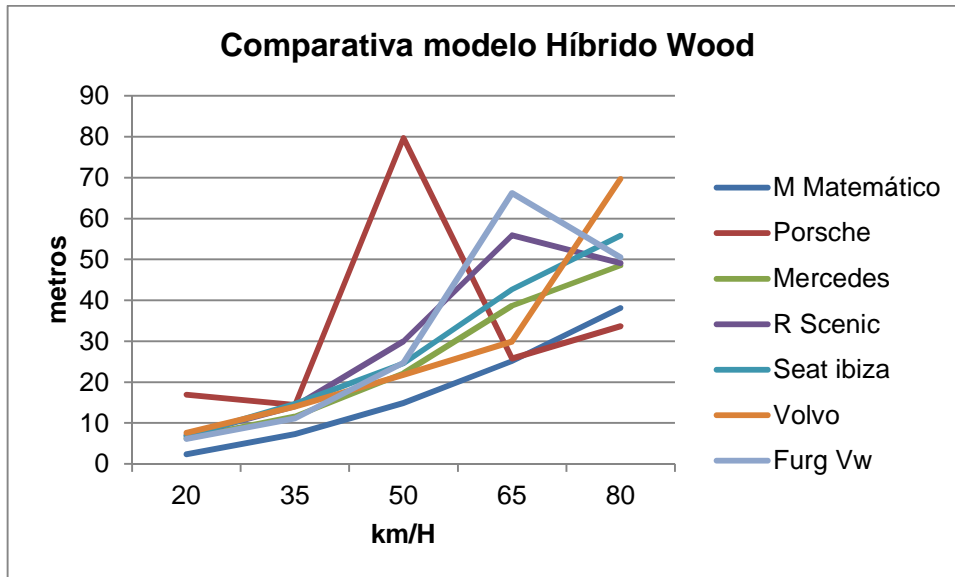


Figura núm. 7-119. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,7$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood.

En general, igual que en el caso anterior, todas las geometrías ofrecen valores superiores a los obtenidos con el modelo matemático, debiendo descartarse resultados obtenidos a distintas velocidades (destacando en el gráfico de forma considerable) de todas las geometrías al haberse apreciado anomalías en el desarrollo del atropello y estar viciados los mismos, salvo para las denominadas Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) y Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350). Excluidos esos resultados anómalos, prácticamente todas las geometrías mantienen una tendencia estable siempre por encima de los resultados matemáticos, si bien a velocidades de 65-80 km/h la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) ofrece resultados prácticamente similares al modelo matemático.



√ Tipos de trayectoria post-impacto.

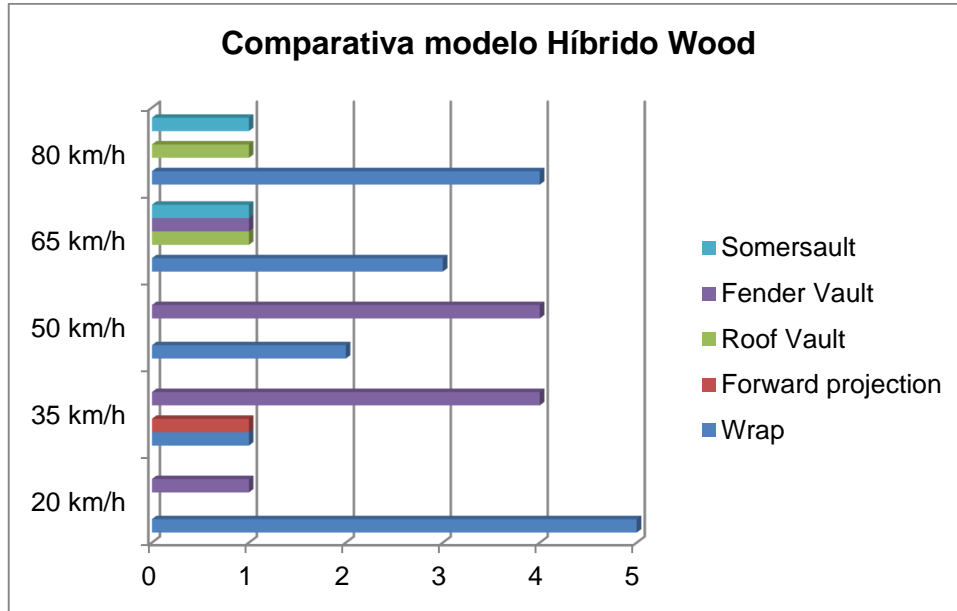


Figura núm. 7-120. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,7$ , según el modelo híbrido de Wood.

Aunque la única trayectoria existente a velocidades de 20 km/h es Wrap, a medida que va aumentando la velocidad de atropello esta trayectoria va cambiando, en cuanto a frecuencia, a muchas otras, siendo la más frecuente la trayectoria Fender Vault.

### 7.1.8.3. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,9$

Los resultados y gráficos que se exponen son los obtenidos con el programa Virtual Crash tras realizar las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,4 m	2,38 m	62,81
35 km/h	12,39 m	7,29 m	41,16
50 km/h	25,21 m	14,89 m	40,94
65 km/h	33,43 m	25,16 m	24,74
80 km/h	44,55 m	38,11 m	14,46

Tabla núm. 7-71. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,9$ .

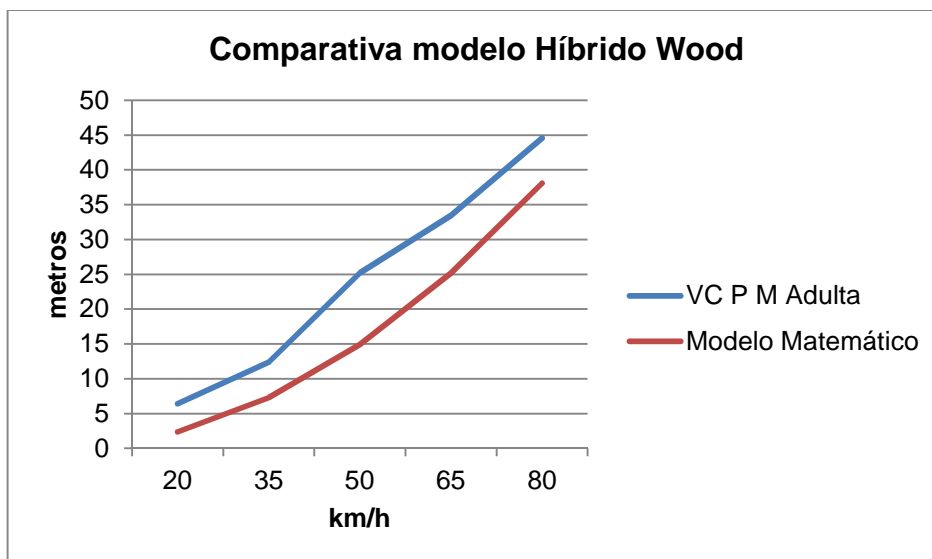


Figura núm. 7-121. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,9$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash.

Como viene siendo habitual en este modelo, los resultados obtenidos con el programa Virtual Crash, son superiores a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

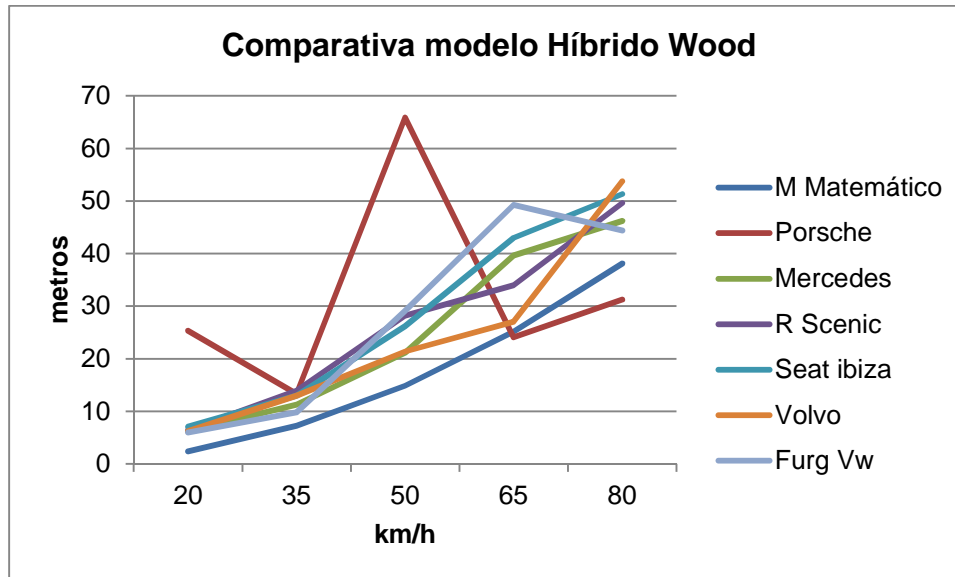


Figura núm. 7-122. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,9$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood.

Prácticamente todas las geometrías ofrecen valores superiores a los obtenidos con el modelo matemático, si bien, como viene siendo habitual en este modelo, se descartan resultados de todas las geometrías al haberse detectado anomalías en el desarrollo de los atropellos, excepto de las denominadas Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) y Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350). Excluidos esos resultados anómalos, prácticamente todas las geometrías mantienen una tendencia estable siempre por encima de los resultados matemáticos, destacando a velocidades de 65-80 km/h, la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera), que ofrece resultados por debajo de los obtenidos en el modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.



Figura núm. 7-123. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,9$ , según el modelo híbrido de Wood.

La trayectoria post-impacto más común a velocidad de 20 km/h es la denominada Wrap. A medida que se va aumentando la velocidad, se observa que la trayectoria más común es la denominada Fender Vault, aunque hay presencia residual del resto.

#### 7.1.8.4. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,5$

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,59 m	2,38 m	48,15
35 km/h	12,76 m	7,29 m	42,87
50 km/h	26,15 m	14,89 m	43,06
65 km/h	39,32 m	25,16 m	36,01
80 km/h	57,30 m	38,11 m	33,49

Tabla núm. 7-72. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,5$ .

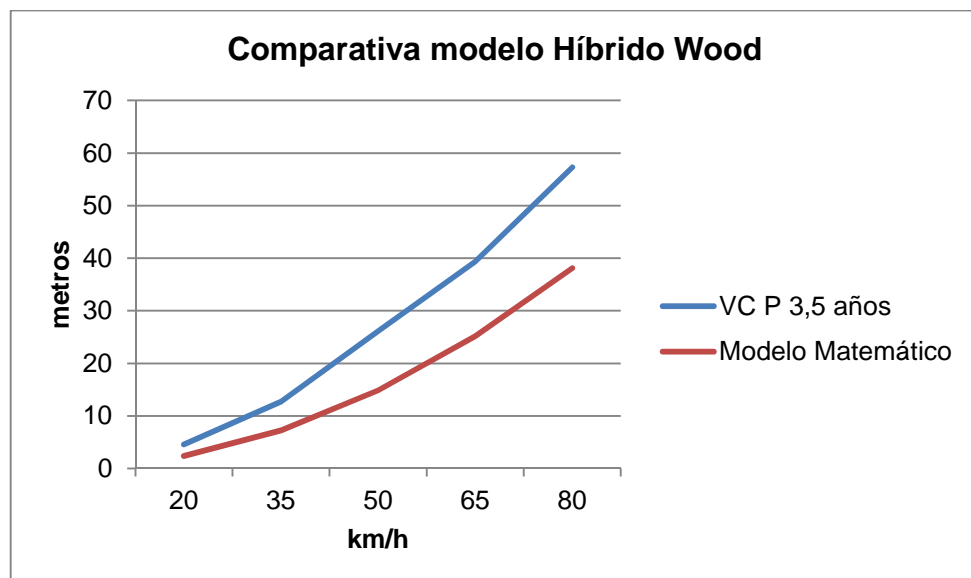


Figura núm. 7-124. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,5$ , comparando los datos del modelo físico-matemático y del programa Virtual Crash.

Los valores obtenidos con el programa Virtual Crash muestran unas distancias de proyección mayores que los obtenidos con el modelo matemático para todas las velocidades de atropello.

√ Geometrías.

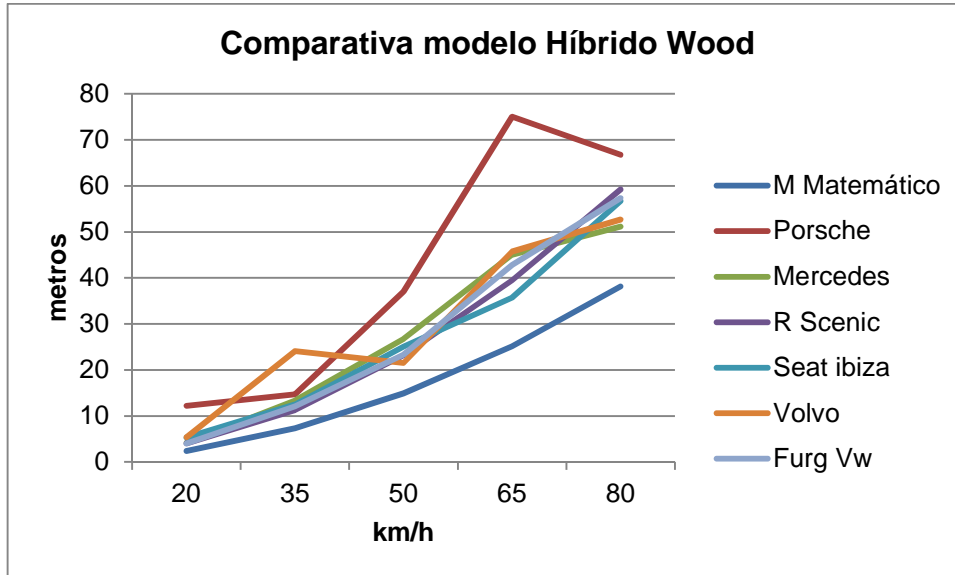


Figura núm. 7-125. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,5$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood.

Como se muestra en el gráfico, excluyendo los resultados obtenidos de forma anómala para las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), Pontoon shape (Volvo 460 1.8) y Wedge shape (Porsche 911 Carrera), todos los resultados de las simulaciones se encuentran por encima de los obtenidos con el modelo matemático, manteniendo una tendencia estable y similar en cuanto a resultados.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

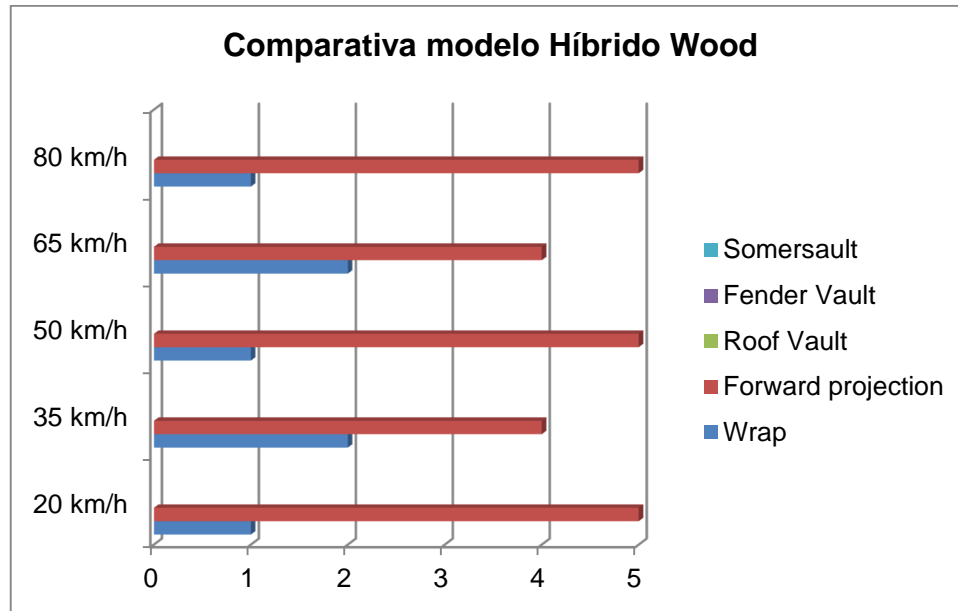


Figura núm. 7-126. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,5$ , según el modelo híbrido de Wood.

La trayectoria post-impacto más común, independientemente de la velocidad de atropello es la denominada Forward Projection, con presencia de Wrap.

### 7.1.8.5. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,7$

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,21 m	2,38 m	43,47
35 km/h	10,40 m	7,29 m	29,90
50 km/h	20,63 m	14,89 m	27,82
65 km/h	30,45 m	25,16 m	17,37
80 km/h	47,03 m	38,11 m	18,97

Tabla núm. 7-73. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,7$ .

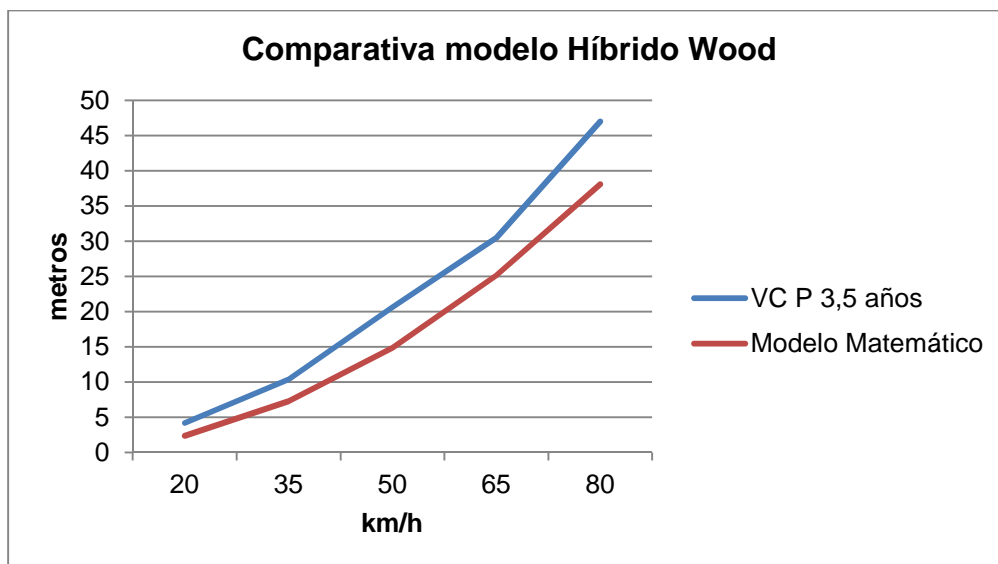


Figura núm. 7-127. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,7$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash.

Aunque los valores obtenidos con las simulaciones de Virtual Crash son superiores a los obtenidos con el modelo matemático, se puede decir que hasta ahora, en este modelo, son los más cercanos entre sí.



√ Geometrías.

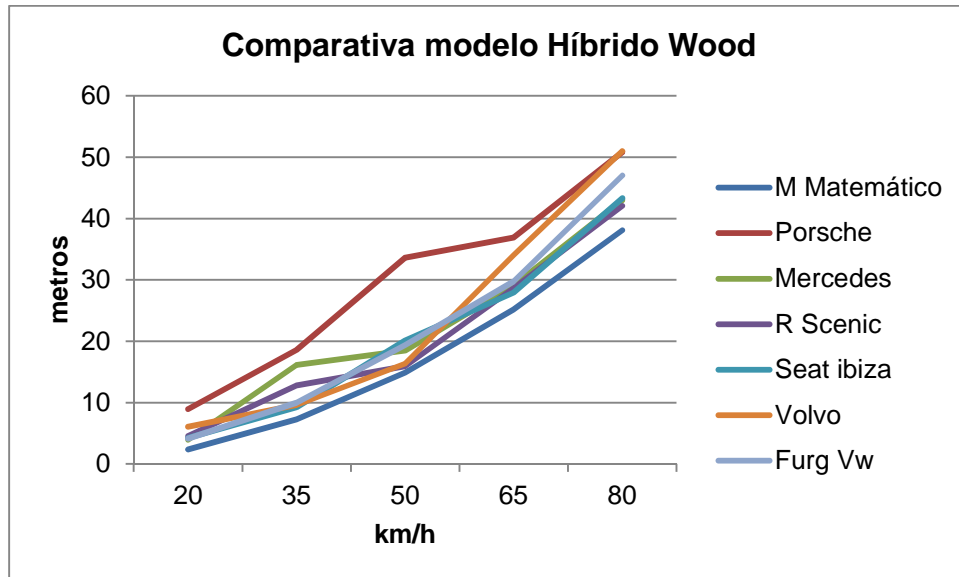


Figura núm. 7-128. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,7$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood.

Como en el apartado anterior, las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), Pontoon shape (Volvo 460 1.8) y Wedge shape (Porsche 911 Carrera), han mostrado resultados anómalos en los distintos atropellos, si bien, una vez descartados, junto al resto de resultados de las otras geometrías, muestran una tendencia estable y similar en cuanto a resultados, hallándose cercanos a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

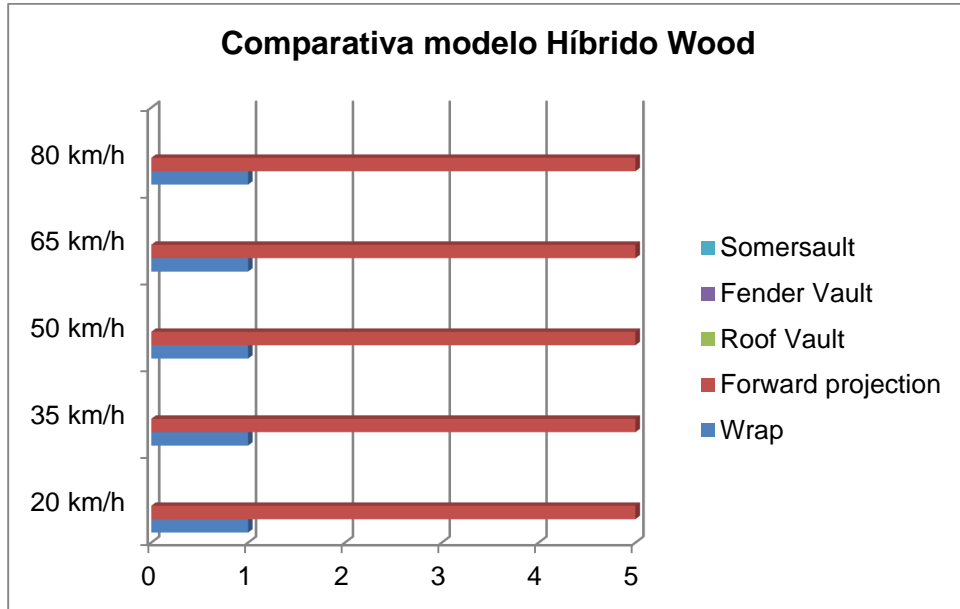


Figura núm. 7-129. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,7$ , según el modelo híbrido de Wood.

La trayectoria post-atropello más común es Forward Projection, con presencia residual de Wrap en todas las velocidades de atropello.

### 7.1.8.6. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,9$

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,62 m	2,38 m	34,25
35 km/h	8,74 m	7,29 m	16,59
50 km/h	19,74 m	14,89 m	24,57
65 km/h	31,06 m	25,16 m	19,00
80 km/h	39,84 m	38,11 m	4,34

Tabla núm. 7-74. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático híbrido de Wood para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,9$ .

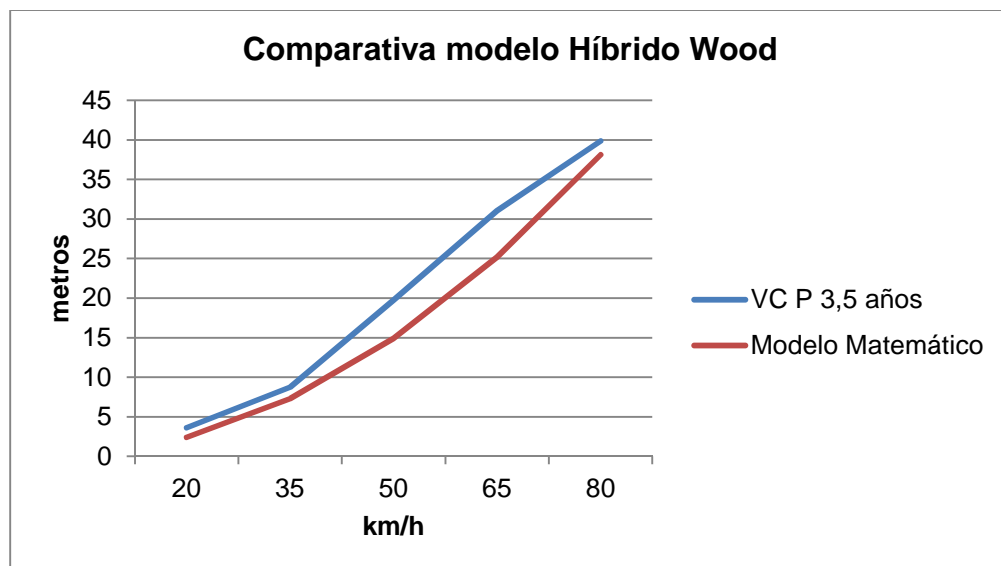


Figura núm. 7-130. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,9$ , comparando los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood y del programa Virtual Crash.

Los resultados mostrados gráficamente ponen de manifiesto que los obtenidos con el programa Virtual Crash se encuentran por encima de los obtenidos con el modelo matemático, si bien, a velocidades de 20, 35 y 80 km/h están muy próximos.

√ Geometrías.

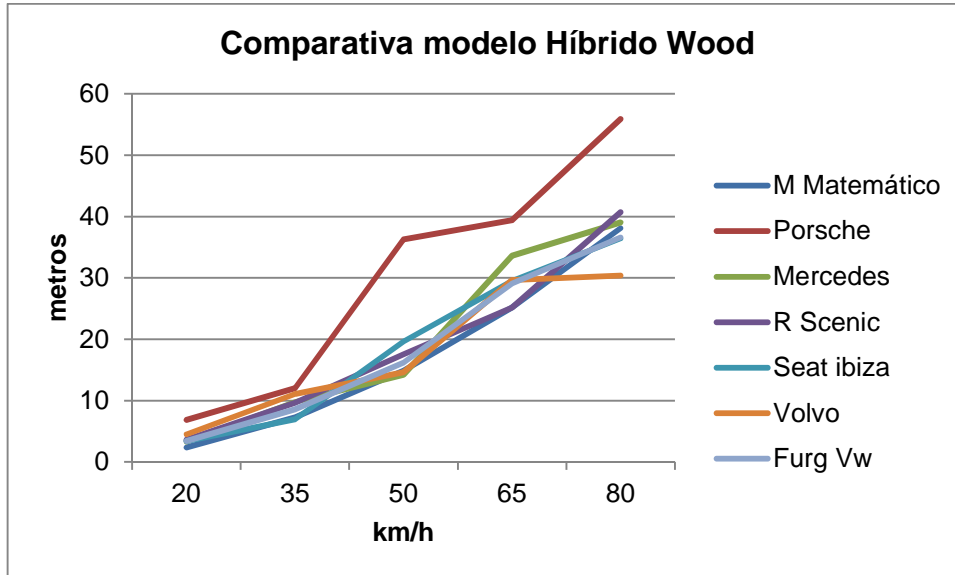


Figura núm. 7-131. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,9$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático híbrido de Wood.

Todos los resultados obtenidos con la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera), así como los obtenidos a velocidad de 65 km/h para la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8), deben descartarse por haberse producido alguna situación anómala en su recogida. El resto de resultados obtenidos con el programa Virtual Crash, aún estando ligeramente por encima de los del modelo matemático, se acercan bastante a éstos, sobre todo, cuando se observan los resultados obtenidos a velocidades de 50, 65 y 80 km/h.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

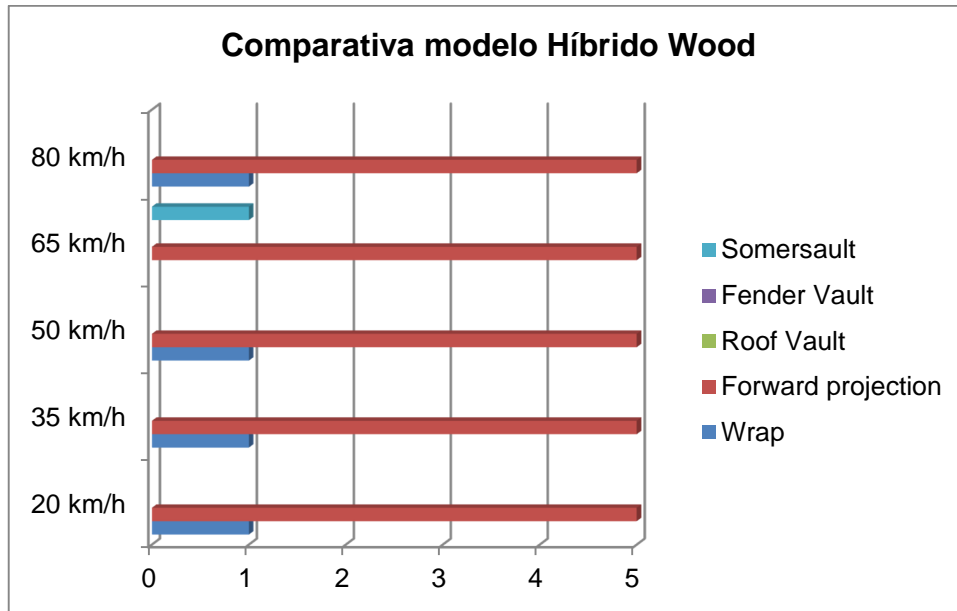


Figura núm. 7-132. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,9$ , según el modelo híbrido de Wood.

En el caso que nos ocupa, la trayectoria post-impacto más repetida es Forward Projection, hallándose presente testimonialmente la trayectoria Wrap.

#### 7.1.8.7. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo Híbrido de Wood.

Con respecto a los resultados obtenidos para distancias de proyección, se observa que para peatones adultos las distancias obtenidas con el programa Virtual Crash están por encima de las obtenidas con el modelo físico-matemático, teniendo por tanto el modelo matemático un grado de fiabilidad medio-bajo en función del error porcentual, siendo más próximas a velocidades superiores a 50 km/h. Por el contrario, para peatones de 3 años y 6 meses, los resultados van siendo cada vez más ajustados a medida que se va incrementando el coeficiente de rozamiento peatón-calzada, pudiendo determinar un grado de fiabilidad medio-alto.

En cuanto a las geometrías, descartando los resultados por incidencias en las simulaciones, se observa en general, que para peatones adultos todas las geometrías tienden a elevar bastante el resultado con respecto al modelo matemático; con respecto a atropellos a peatones de 3 años y 6 meses, las geometrías tienden a ajustar los resultados obtenidos por uno u otro método, siendo más evidente a medida que aumenta el coeficiente de rozamiento utilizado para el peatón.

Si hablamos de trayectorias post-impacto, para peatones adultos la trayectoria más común a velocidades bajas (20 km/h) es la Wrap, cuya tendencia va modificándose a medida que van aumentando las velocidades de atropello hacia la Fender Vault. Para peatones de 3 años y 6 meses, la trayectoria prácticamente única observada es la trayectoria Forward Projection.

Como conclusión final, se determina que el modelo físico-matemático debería utilizarse, a velocidades estimadas de atropello superiores a 50 km/h, con coeficientes de rozamiento peatón-calzada altos y con trayectorias post-impacto de volteo para adultos y Forward Projection para peatones menores.

### **7.1.9. MODELO DE HAN Y BRACH**

A la hora de calcular la distancia de proyección necesaria para obtener datos de velocidades de atropello con este modelo, se utilizaron las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Valores promediados de los parámetros A y B utilizados en la expresión matemática.

Velocidad / tipo peatón	Adulto	Niño
20 km/h	3,04 m	3,73 m
35 km/h	8,09 m	9,65 m
50 km/h	15,89 m	18,79 m
65 km/h	26,45 m	31,17 m
80 km/h	39,78 m	46,79 m

Tabla núm. 7-75. Resultados de la distancia de proyección para peatones adultos y niños utilizando el modelo de Han y Brach.

Con el programa Virtual Crash se realizarán una serie de simulaciones de los atropellos, utilizando variables comunes a todas ellas y otras distintas, incluyéndose las ya utilizadas y citadas en el modelo físico-matemático:

Variables comunes:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,75.
- Peatón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

Otras variables:

- Tipo de vehículo (6 tipos de vehículos con seis frontales distintos).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,4 , 0,6 y 0,8.
- Edad peatón (2 distintos, 1 mujer adulta y 1 niño de 6 años).

Para el análisis de la distancia de proyección, se compararán los valores medios de los resultados obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los dos multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático, según edad y coeficiente de rozamiento peatón-calzada, excluyéndose aquéllos resultados en los que se ha dado alguna circunstancia anómala (normalmente arrastre o transporte del multibody por el vehículo); además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

### 7.1.9.1. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,4$

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	10,67 m	3,04 m	70,40
35 km/h	22,44 m	8,09 m	60,56
50 km/h	36,70 m	15,89 m	53,15
65 km/h	56,21 m	26,45 m	44,44
80 km/h	70,89 m	39,78 m	43,88

Tabla núm. 7-76. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,4$ .

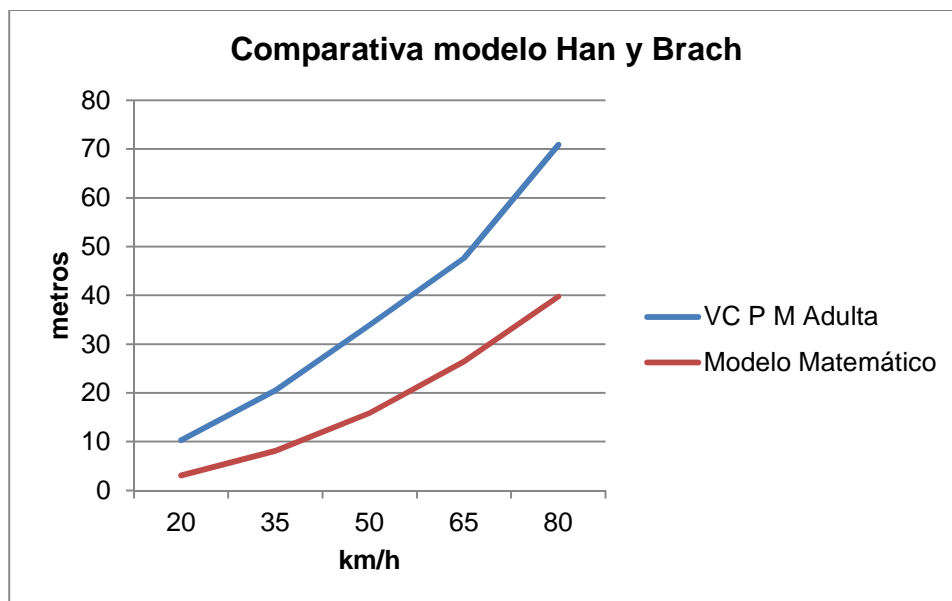


Figura núm. 7-133. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,4$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash.

Como se observa gráficamente, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash son muy superiores y están muy alejados de los obtenidos con el modelo matemático.



√ Geometrías.

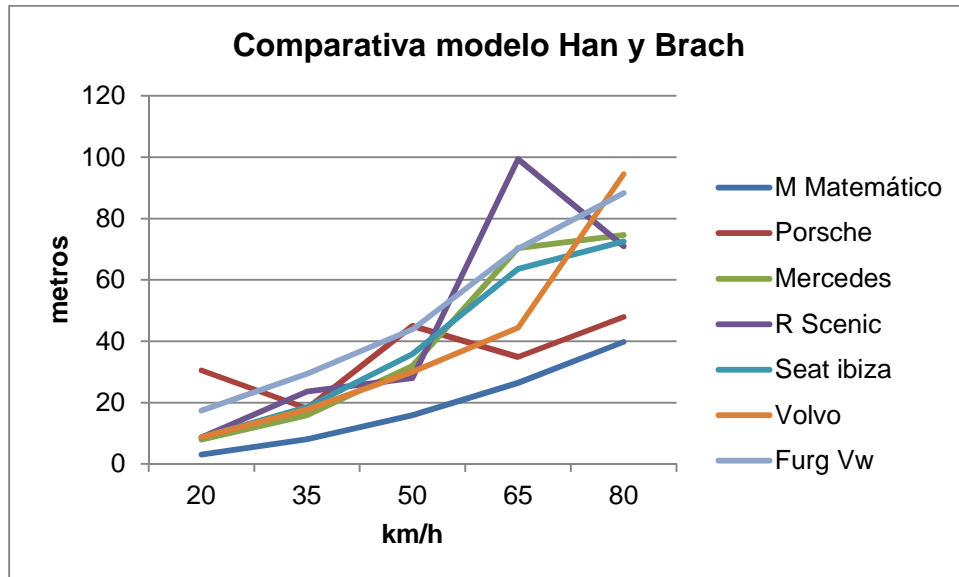


Figura núm. 7-134. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,4$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach.

Todas las geometrías ofrecen valores superiores a los obtenidos con el modelo matemático, debiendo descartarse resultados obtenidos a distintas velocidades (destacando en el gráfico de forma considerable) de todas las geometrías al detectarse anomalías en el desarrollo de los atropellos, salvo de la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0). A velocidades bajas, 20-35 km/h, los resultados obtenidos con las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), son los que más se acercan a los obtenidos con el modelo matemático. Con velocidades de 65-80 km/h, los resultados obtenidos con la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) son los que más se acercan al modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

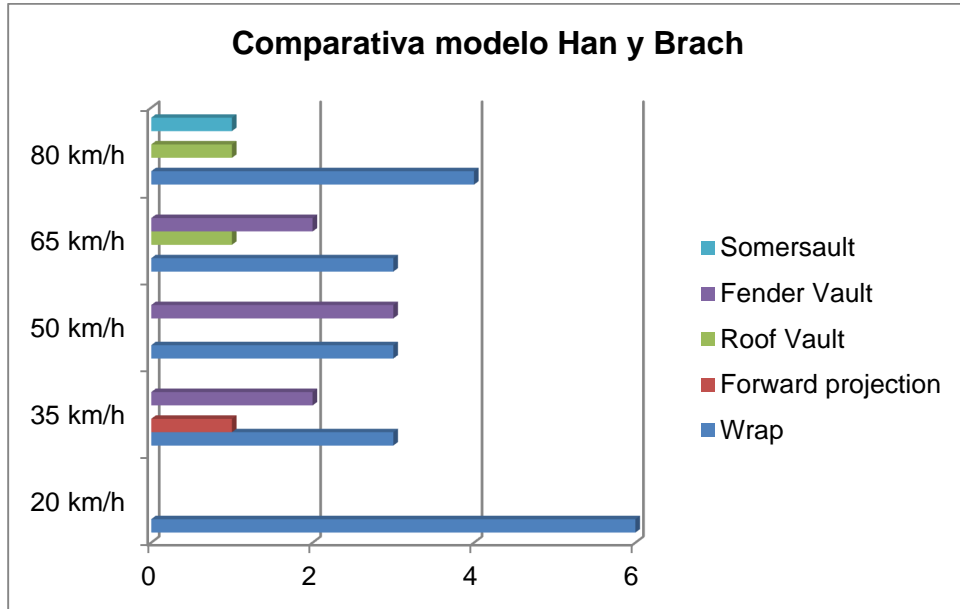


Figura núm. 7-135. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,4$ , según el modelo de Han y Brach.

En el gráfico se observa que la trayectoria post-impacto más común es la denominada Wrap, sobre todo a velocidades de 20 km/h. A partir de esa velocidad, aunque mantiene su presencia mayoritaria, existe presencia de prácticamente todas las trayectorias.

### 7.1.9.2. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,6$

Se exponen a continuación los resultados y gráficos obtenidos tras las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,95 m	3,04 m	57,60
35 km/h	17,19 m	8,09 m	37,38
50 km/h	25,57 m	15,89 m	31,66
65 km/h	41,73 m	26,45 m	34,22
80 km/h	51,71 m	39,78 m	22,24

Tabla núm. 7-77. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,6$ .

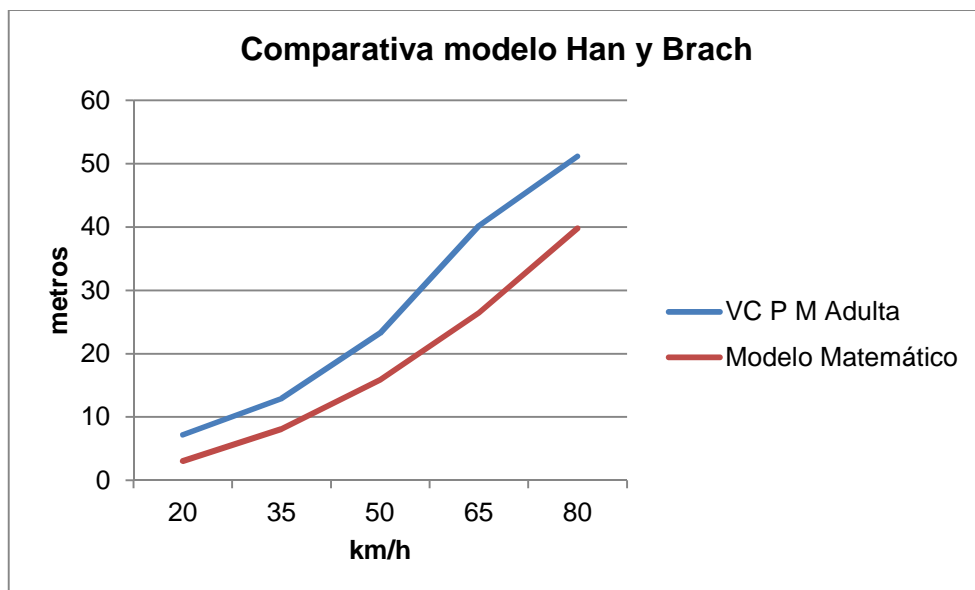


Figura núm. 7-136. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,6$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash.

Igual que en el caso anterior, los valores del modelo matemático están por debajo de los obtenidos con el programa Virtual Crash, hallándose más próximos a la velocidad de 80 km/h.

√ Geometrías.

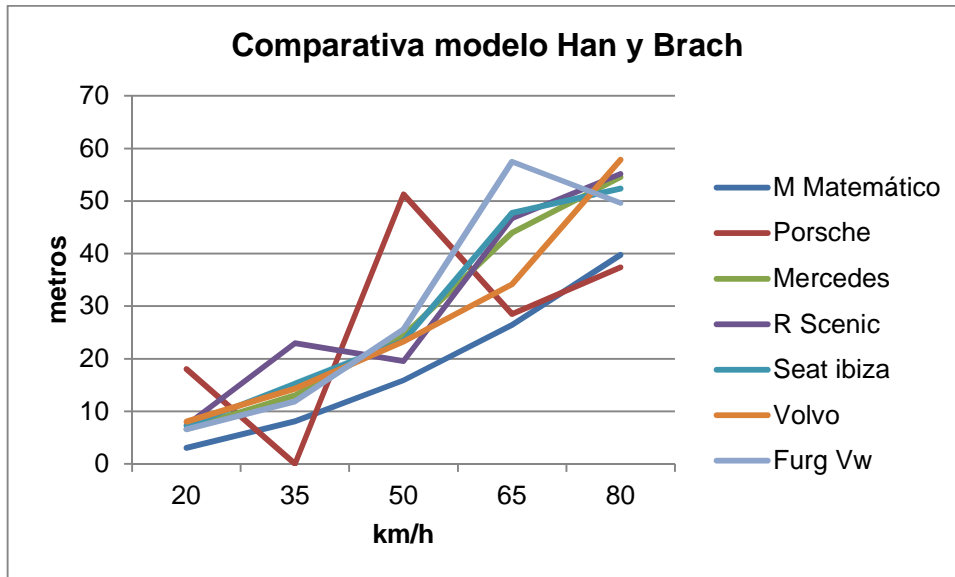


Figura núm. 7-137. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,6$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach.

En general, igual que en el caso anterior, todas las geometrías ofrecen valores superiores a los obtenidos con el modelo matemático, debiendo descartarse resultados obtenidos a distintas velocidades (destacando en el gráfico de forma considerable) de todas las geometrías por anomalías detectadas en los atropellos, salvo de las denominadas Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) que no sufrieron alteraciones. Destaca por haberse obtenido unos resultados muy superiores a los del modelo matemático, excluyendo los resultados mencionados, la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8), si bien a velocidades de 65-80 km/h la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) ofrece resultados prácticamente iguales a los del modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

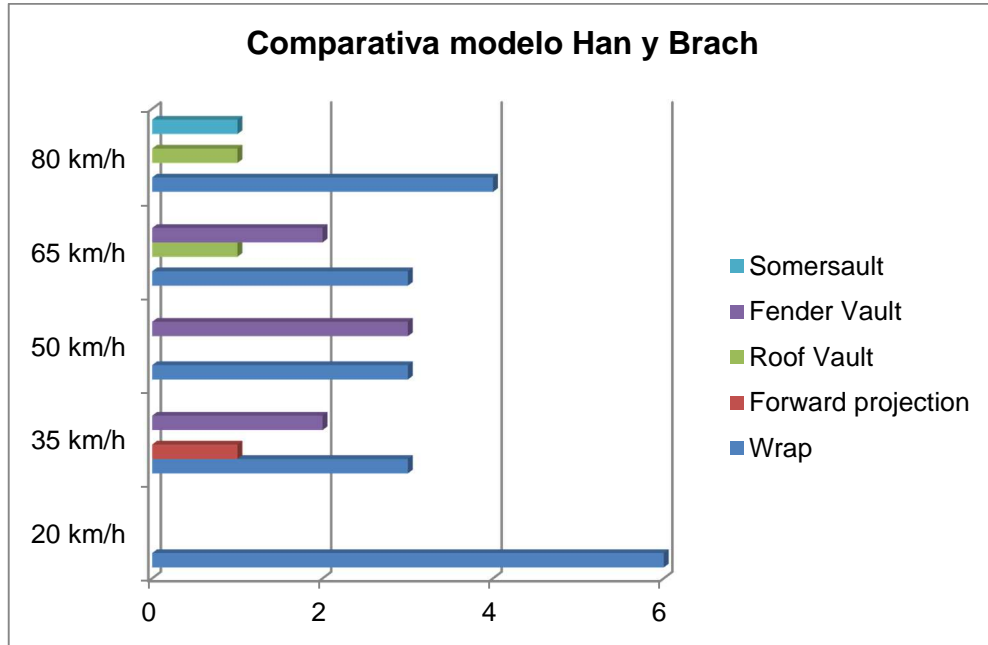


Figura núm. 7-138. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,6$ , según el modelo de Han y Brach.

Aunque la única trayectoria existente a velocidades de 20 km/h es Wrap, a medida que va aumentando la velocidad, aún manteniéndose como la principal, va cambiando en cuanto a frecuencia por otras, siendo la más habitual la trayectoria Fender Vault.

### 7.1.9.3. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,8$

Los resultados y gráficos que se exponen son los obtenidos con el programa Virtual Crash tras realizar las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,16 m	3,04 m	60,88
35 km/h	16,64 m	8,09 m	45,96
50 km/h	24,32 m	15,89 m	25,61
65 km/h	38,12 m	26,45 m	22,48
80 km/h	46,88 m	39,78 m	15,15

Tabla núm. 7-78. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,8$ .

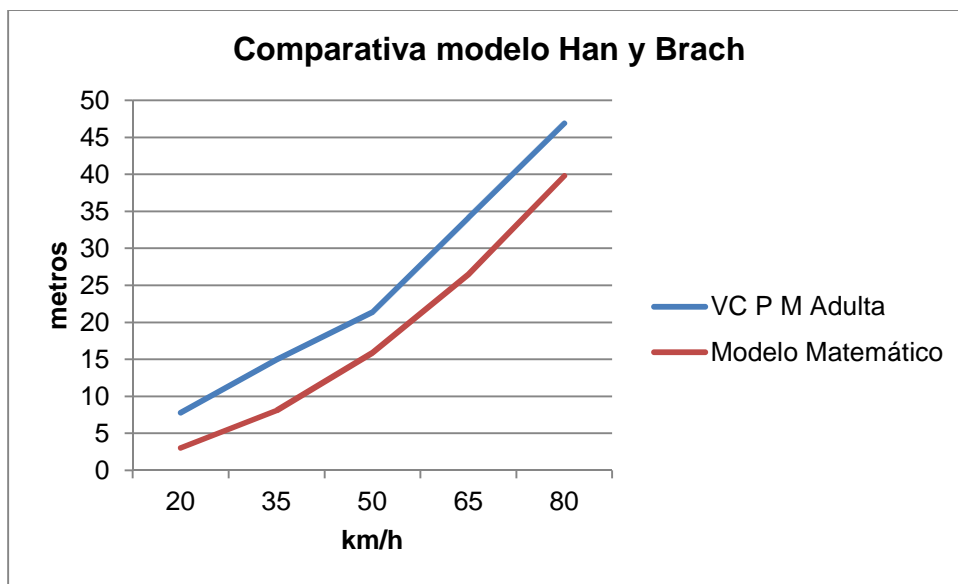


Figura núm. 7-139. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,8$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash.

Siguiendo la tónica de este modelo, los resultados obtenidos con el modelo matemático están por debajo de los obtenidos con el programa Virtual Crash.

√ Geometrías.

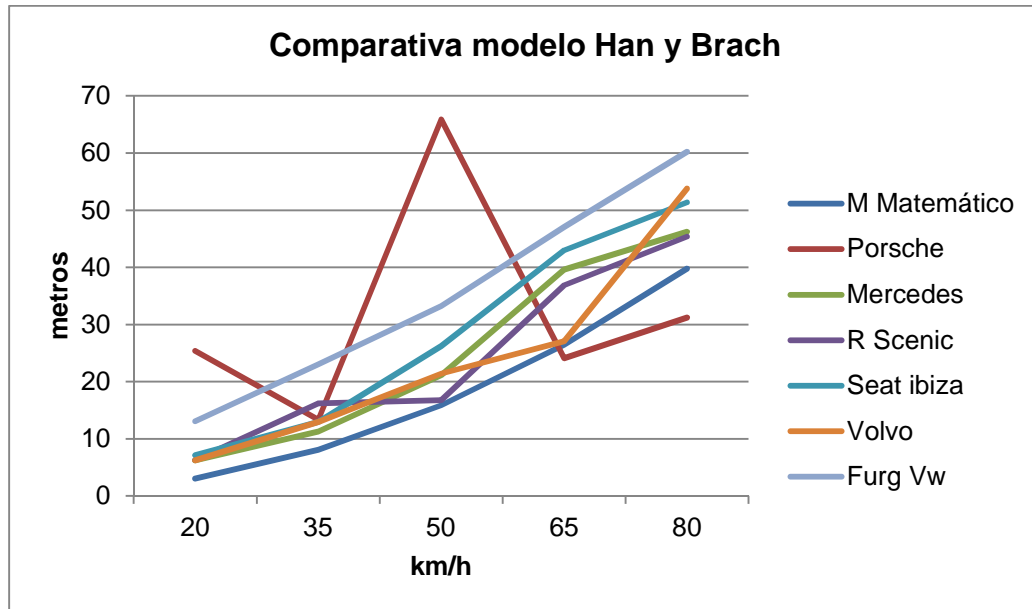


Figura núm. 7-140. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,8$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach.

Prácticamente todas las geometrías ofrecen valores superiores a los obtenidos con el modelo matemático, si bien, como viene siendo habitual en este modelo, se descartan resultados de todas las geometrías por detectarse anomalías en el desarrollo de los atropellos, excepto de las denominadas Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi). Descartados esos resultados, la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) eleva los resultados de forma considerable con respecto al resto de geometrías y de forma especial con los resultados del modelo matemático, manteniendo el resto una tendencia estable siempre por encima de dichos resultados. Destaca el hecho de que a velocidades de 65-80 km/h, la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) ofrece resultados por debajo de los obtenidos en el modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

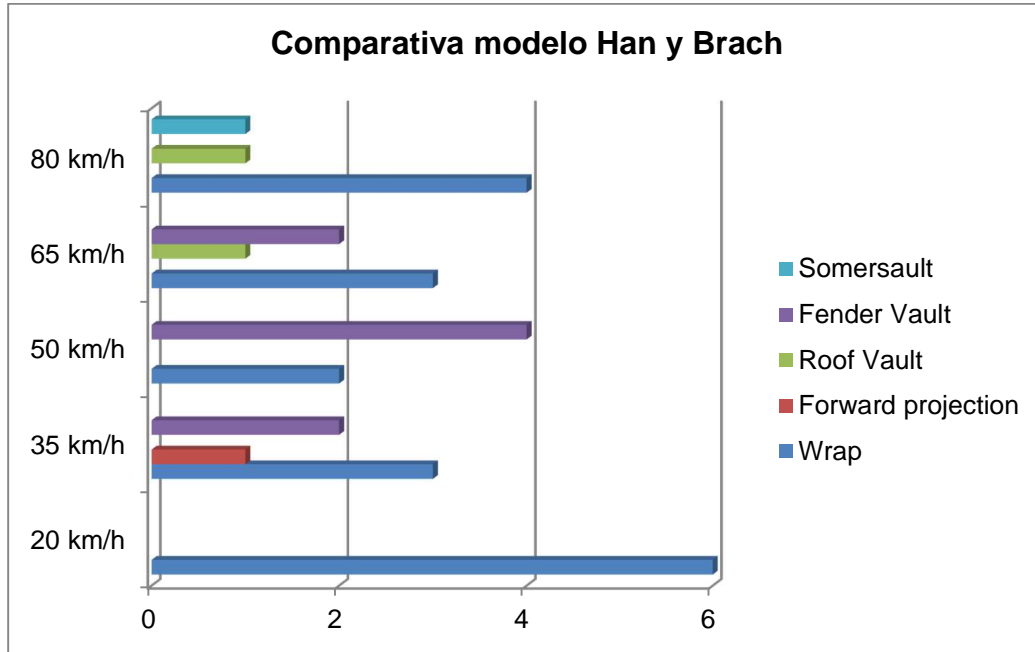


Figura núm. 7-141. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,8$ , según el modelo de Han y Brach.

La trayectoria post-impacto más común a velocidad de 20 km/h es la denominada Wrap. A medida que se va aumentando la velocidad, se observa que la trayectoria más común, en general, tiende a ser la denominada Fender Vault, aunque hay presencia residual del resto.



#### 7.1.9.4. Peatón 6 años. $\mu = 0,4$

A continuación se muestran, tras la realización de las simulaciones, los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,27 m	3,73 m	54,90
35 km/h	18,01 m	9,65 m	46,42
50 km/h	31,99 m	18,79 m	41,26
65 km/h	46,86 m	31,17 m	33,48
80 km/h	74,67 m	46,79 m	37,34

Tabla núm. 7-79. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,4$ .

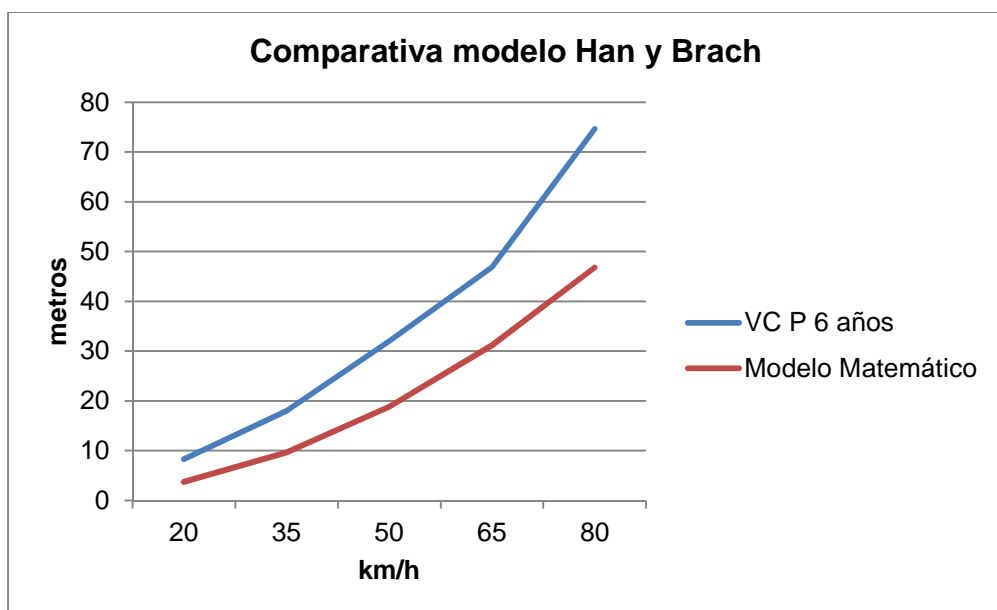


Figura núm. 7-142. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,4$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash.

Los valores mostrados gráficamente indican que las distancias de proyección obtenidas con el programa Virtual Crash se encuentran por encima que las obtenidas con el modelo matemático, halándose más cercanas a velocidades altas (65-80 km/h).

√ Geometrías.

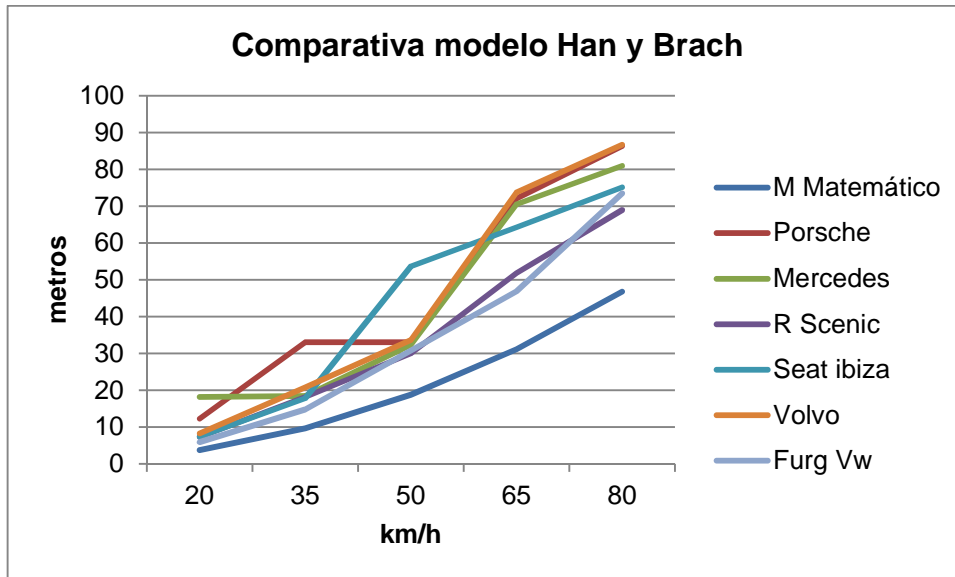


Figura núm. 7-143. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,4$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach.

La única geometría que no ha sufrido ninguna anomalía en los resultados obtenidos ha sido la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), hallándose los mismos, al igual que en el resto de geometrías, con resultados por encima de los obtenidos con el modelo matemático; si bien, junto con la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), es la que sigue una tendencia estable y con resultados más próximos en general al modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

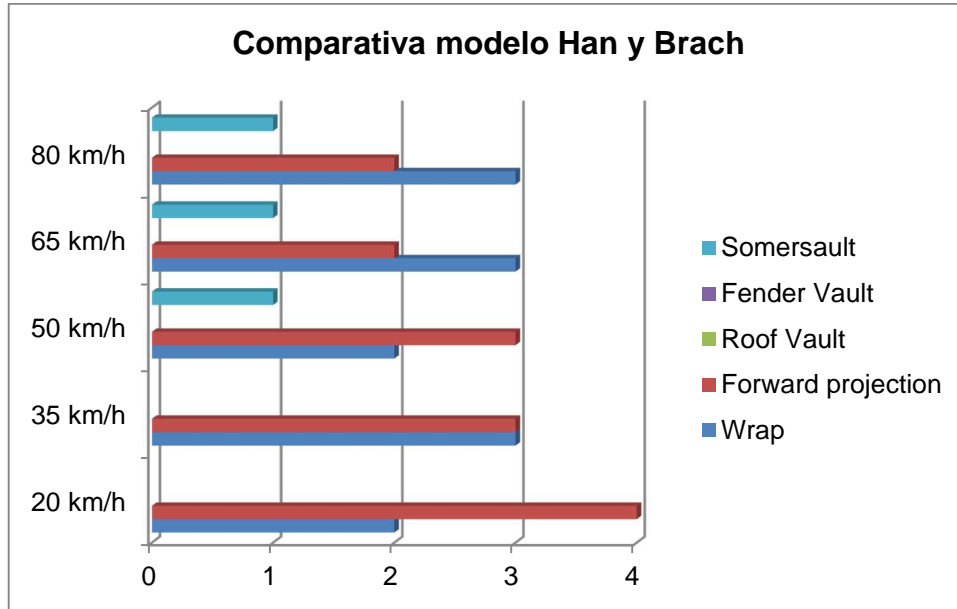


Figura núm. 7-144. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,4$ , según el modelo de Han y Brach.

La trayectoria post-impacto más común a velocidades entre 20-50 km/h es la denominada Forward Projection, que a medida que aumentan esas velocidades de atropello es sustituida por la trayectoria Wrap.

### 7.1.9.5. Peatón 6 años. $\mu = 0,6$

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,19 m	3,73 m	39,74
35 km/h	14,46 m	9,65 m	33,26
50 km/h	25,22 m	18,79 m	25,50
65 km/h	44,12 m	31,17 m	29,35
80 km/h	56,74 m	46,79 m	17,54

Tabla núm. 7-80. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,6$ .

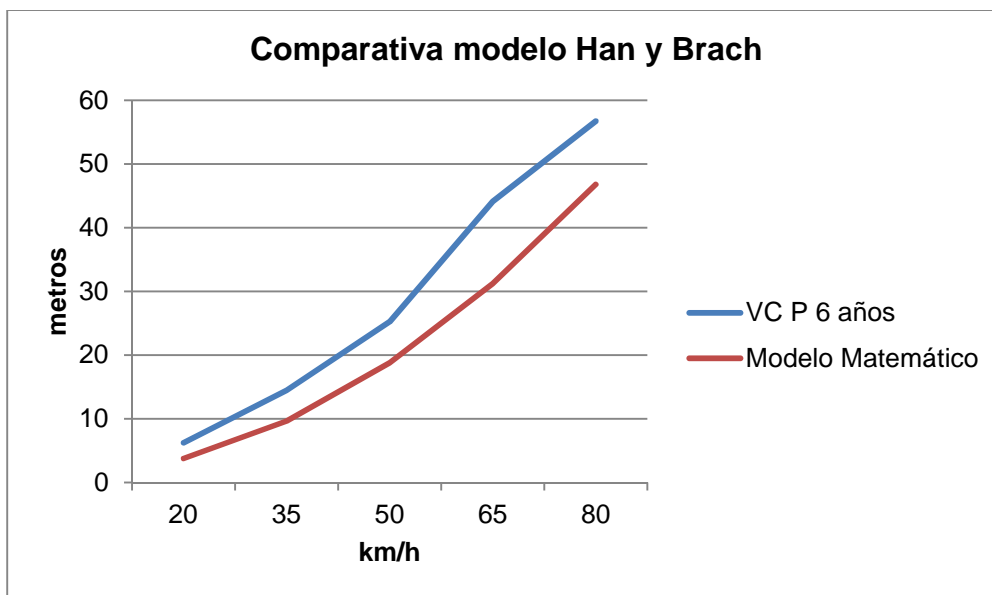


Figura núm. 7-145. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,6$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash.

Los resultados mostrados indican que hallándose los valores obtenidos con el programa Virtual Crash por encima de los obtenidos con el modelo matemático, a la velocidad de 80 km/h están relativamente próximos.

√ Geometrías.

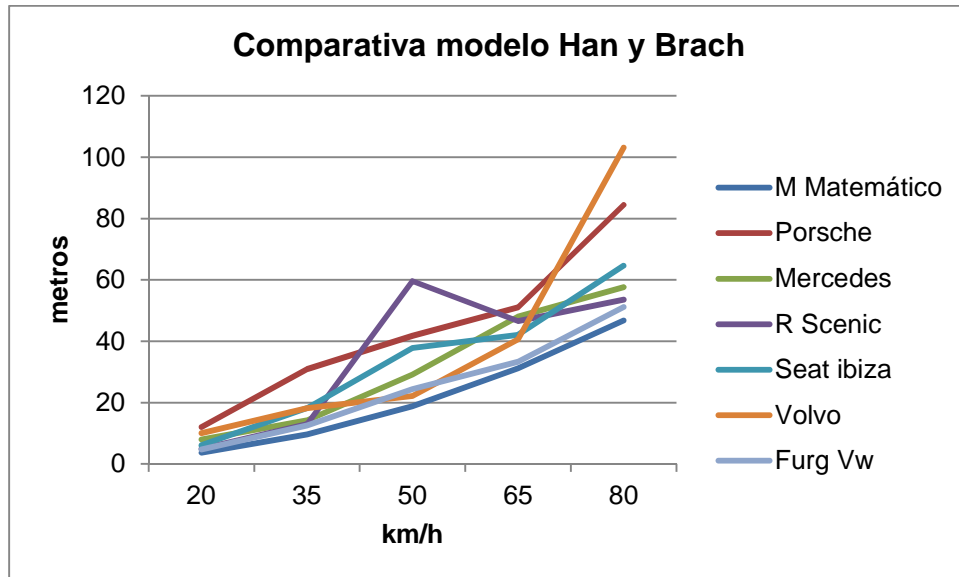


Figura núm. 7-146. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,6$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach.

Salvo las geometrías trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), el resto tiene resultados anómalos en las simulaciones realizadas. Con respecto a los resultados, excluyendo los datos anómalos, todas las geometrías muestran valores superiores a los obtenidos con el modelo matemático; no obstante, la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) en todas las velocidades de atropello y la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) a velocidades de 20-35 km/h, muestran resultados muy próximos a los del modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

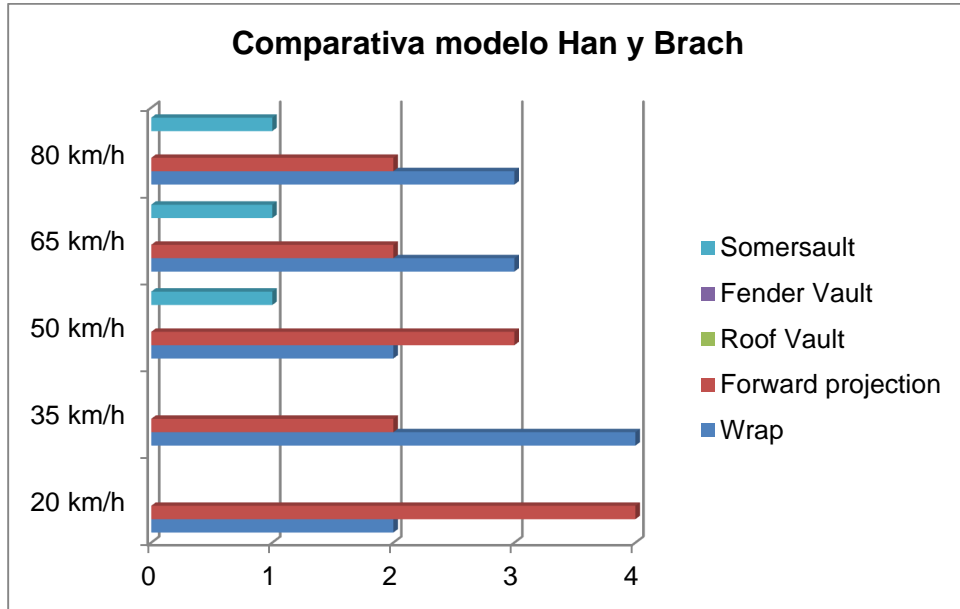


Figura núm. 7-147. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,6$ , según el modelo de Han y Brach.

La trayectorias post-atropello que más se repiten son Forward Projection y Wrap, independientemente de la velocidad de atropello.

### 7.1.9.6. Peatón 6 años. $\mu = 0,8$

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,31 m	3,73 m	40,89
35 km/h	13,49 m	9,65 m	28,47
50 km/h	20,05 m	18,79 m	6,28
65 km/h	34,43 m	31,17 m	9,47
80 km/h	44,10 m	46,79 m	6,10

Tabla núm. 7-81. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Han y Brach para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,8$ .

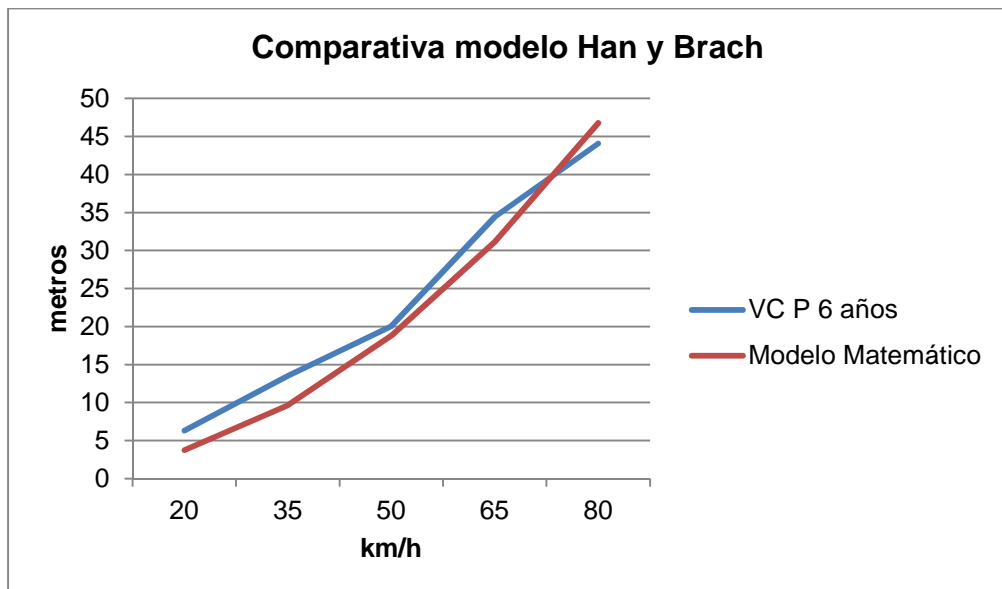


Figura núm. 7-148. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,8$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach y del programa Virtual Crash.

Como se observa en el gráfico, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash, en general, se encuentran muy próximos a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

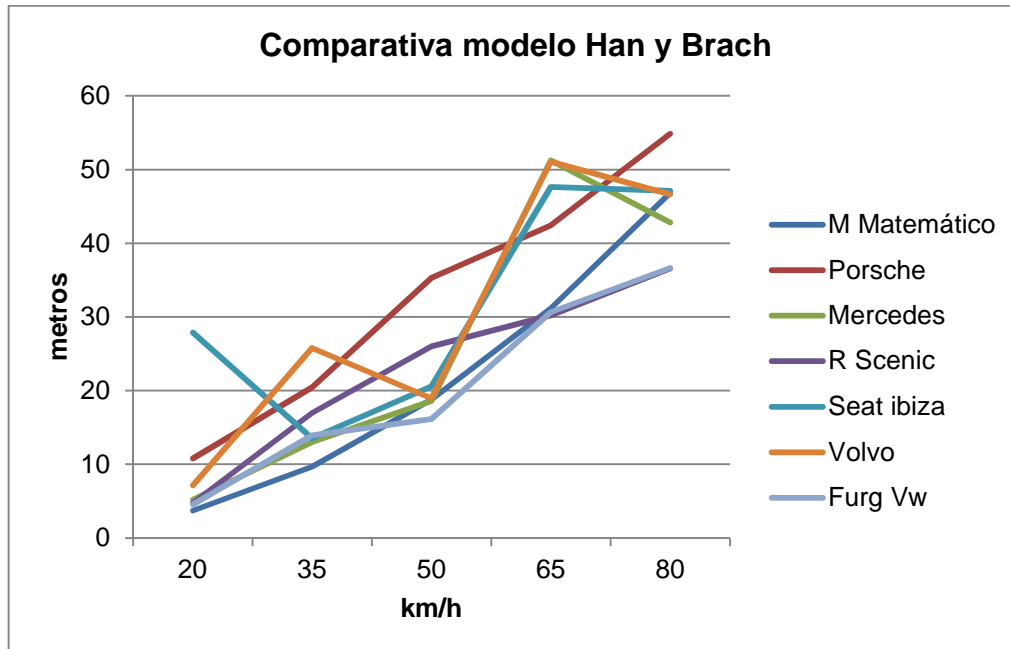


Figura núm. 7-149. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,8$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Han y Brach.

Todas las geometrías utilizadas, salvo la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), han sufrido alguna anomalía en los resultados. Excluidos éstos, se observa que a velocidades de 20 km/h los resultados obtenidos con las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) son muy similares a los del modelo matemático y llama la atención que a velocidades de 50 y 80 km/h los resultados obtenidos con las dos últimas geometrías citadas están por debajo de los de referencia.



√ Tipos de trayectoria post-impacto.

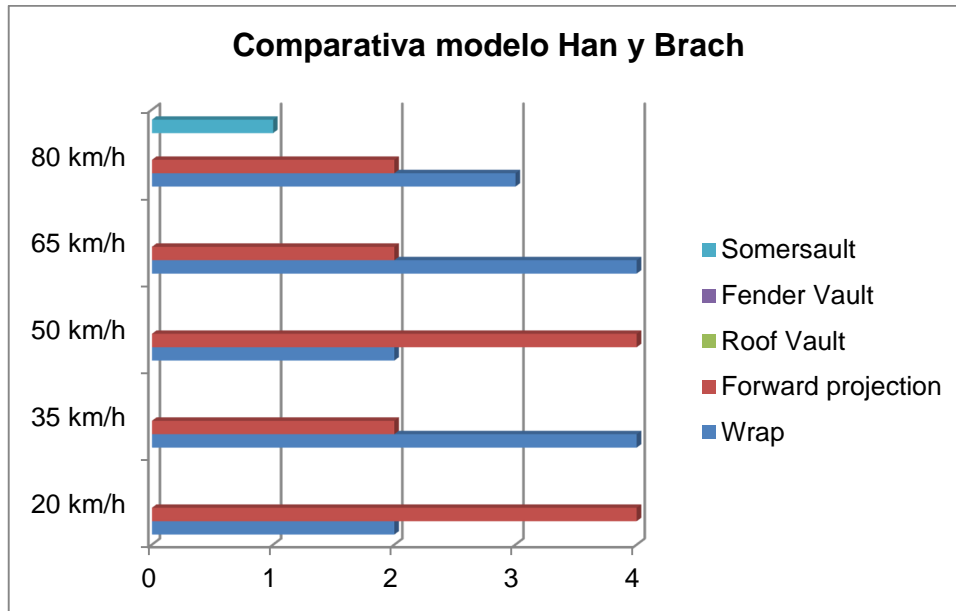


Figura núm. 7-150. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,8$ , según el modelo de Han y Brach.

Como en el caso anterior, independientemente de la velocidad, las trayectorias más frecuentes son Forward Projection y Wrap.

#### 7.1.9.7. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Han y Brach.

En cuanto a los resultados obtenidos para distancias de proyección, se observa que para los dos modelos de peatones utilizados, las distancias obtenidas con el programa Virtual Crash están por encima de las obtenidas con el modelo matemático, si bien, a medida que se va aumentando el coeficiente de fricción peatón-calzada, los resultados se van aproximando, sobre todo en peatones niños de 6 años, teniendo un grado de fiabilidad medio-alto para éstos y medio-bajo para peatones mujeres adultas.

Hablando de geometrías, con un gran índice de resultados que han presentado incidencias, todas en general, independientemente del peatón utilizado, elevan los resultados con respecto al modelo matemático. Igualmente se ha observado que las geometrías de frontal más plano Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), en peatones niños, ajustan bastante los resultados con respecto al modelo matemático.

Tratando las trayectorias post-impacto, para peatones adultos la trayectoria más común a velocidades bajas (20 km/h) es la Wrap, cuya tendencia se va modificando al aumentar la velocidad de atropello para ser la trayectoria Fender Vault la que más se repite. Para peatones de 6 años, en general, las dos trayectorias más comunes son Wrap y Forward Projection.

En base a lo anterior, se determina que la utilización del modelo físico-matemático es más adecuado para peatones menores, con coeficientes de rozamiento peatón-calzada medios y altos, además de trayectorias post-impacto Wrap o Forward Projection.

## 7.2. MODELOS EMPÍRICOS O ESTADÍSTICOS

### 7.2.1. MODELO DE APPEL

Para obtener distancias de proyección con este modelo físico matemático, únicamente se tuvo en cuenta la siguiente variable:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

Velocidad/ Tipo	Frontal alto	Frontal bajo	Adultos	Niños
20 km/h	2,60 m	2,01 m	2,16 m	2,72 m
35 km/h	7,94 m	6,14 m	6,62 m	8,32 m
50 km/h	16,21 m	12,54 m	13,51 m	16,98 m
65 km/h	27,39 m	21,19 m	22,82 m	28,69 m
80 km/h	41,49 m	32,10 m	34,57 m	43,46 m

Tabla núm. 7-82. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando los modelos de Appel.

Las simulaciones que se realizarán con el programa Virtual Crash, utilizarán variables comunes a todas ellas y algunas distintas, incluyendo la variable de velocidad de atropello utilizada en el modelo matemático:

#### Variables comunes:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,75.
- Peatón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

Otras variables:

- Tipo de vehículo (6 tipos de vehículos con seis frontales distintos).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,45 , 0,65 y 0,85.
- Edad peatón (2 distintos, 1 hombre adulto y 1 niño de 6 años).

Los vehículos a utilizar tanto para peatones adultos como niños con la geometría Frontal alto serán Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) y Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi); igualmente, para la geometría Frontal bajo se utilizarán los vehículos con la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) y Wedge shape (Porsche 911 Carrera).

Para el análisis de la distancia de proyección, se compararán los valores medios de los resultados obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los dos multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático, según edad y coeficiente de rozamiento peatón-calzada, excluyéndose aquellos resultados en los que se ha dado alguna circunstancia anómala (normalmente arrastre del multibody por el vehículo o transporte en el vehículo); además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

### 7.2.1.1. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,45$

Los resultados y gráficos obtenidos tras la utilización del programa Virtual Crash fueron los que se exponen a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,97 m	2,16 m	75,92
35 km/h	19,48 m	6,62 m	66,02
50 km/h	26,35 m	13,51 m	48,73
65 km/h	43,56 m	22,82 m	47,61
80 km/h	68,39 m	34,57 m	49,45

Tabla núm. 7-83. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,45$ .

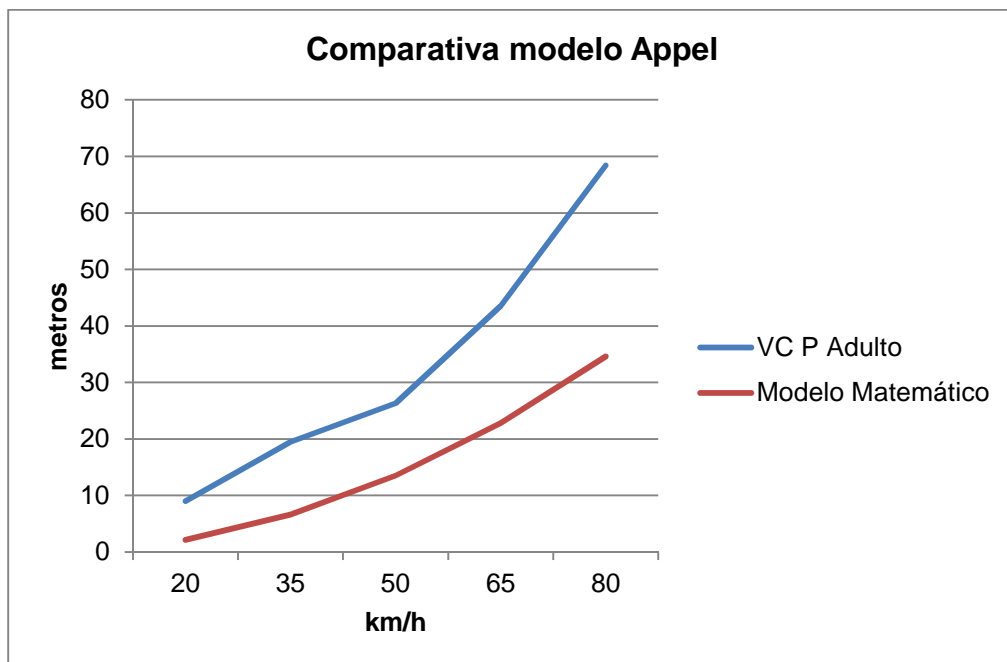


Figura núm. 7-151. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,45$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Gráficamente se muestra que los datos de distancias de proyección obtenidos con el programa informático son muy superiores a los obtenidos con el modelo matemático, incrementándose a medida que aumenta la velocidad de atropello.

√ Geometrías.

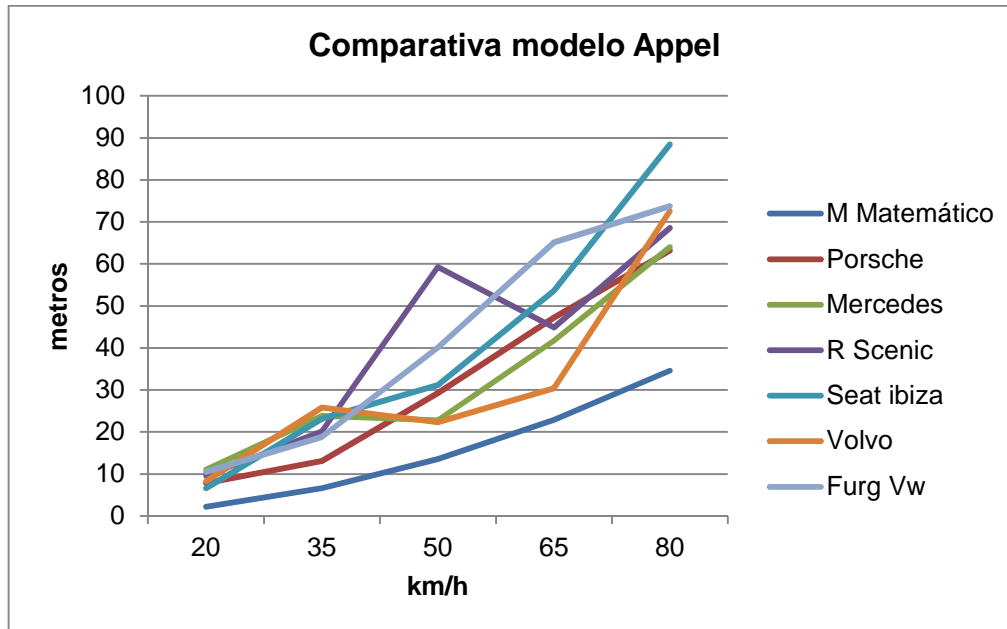


Figura núm. 7-152. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,45$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel.

Todas las geometrías ofrecen valores superiores a los obtenidos con el modelo matemático, debiendo descartarse resultados obtenidos a distintas velocidades (destacando en el gráfico de forma considerable) de todas las geometrías, al haberse detectado anomalías en el desarrollo de los atropellos, salvo de las geometrías Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8). A velocidades bajas, 20-35 km/h, los resultados obtenidos con la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) son los más cercanos al modelo matemático; la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) es la que más se acerca en cuanto a resultados con el modelo matemático a velocidades de 50-65 km/h.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

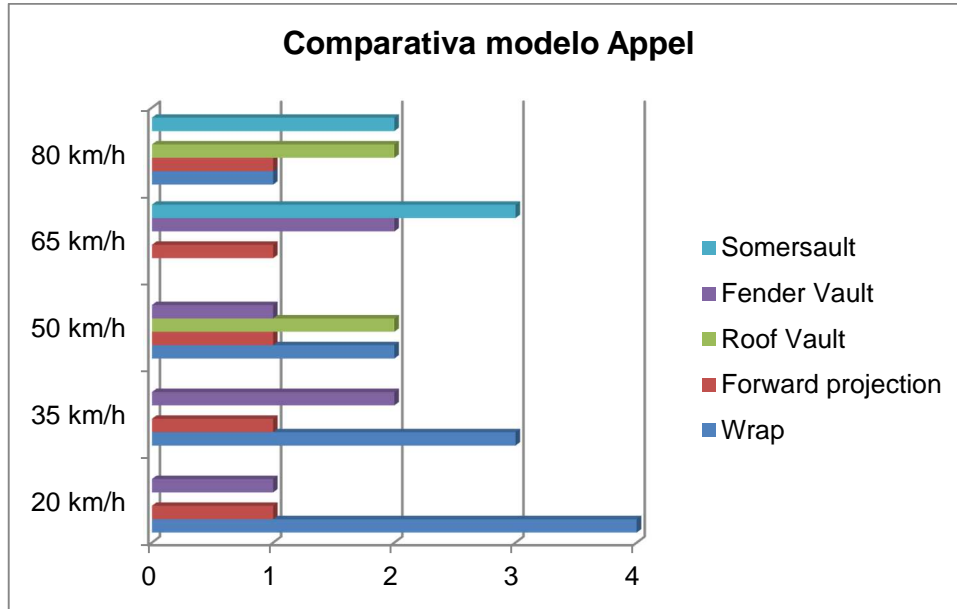


Figura núm. 7-153. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,45$ , según el modelo de Appel.

En general, a velocidades de atropello bajas (20-35 km/h), la trayectoria más común es Wrap. A medida que se va aumentando la velocidad de atropello, va cambiando ésta, cobrando más protagonismo trayectorias en las que está presente el volteo del peatón (Somersault y Fender Vault, sobretudo).

### 7.2.1.2. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,65$

Se exponen a continuación los resultados y gráficos obtenidos tras las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,64 m	2,16 m	71,73
35 km/h	15,59 m	6.62 m	57,54
50 km/h	26,81 m	13,51 m	49,61
65 km/h	36,60 m	22,82 m	37,65
80 km/h	52,76 m	34,57 m	34,48

Tabla núm. 7-84. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,65$ .

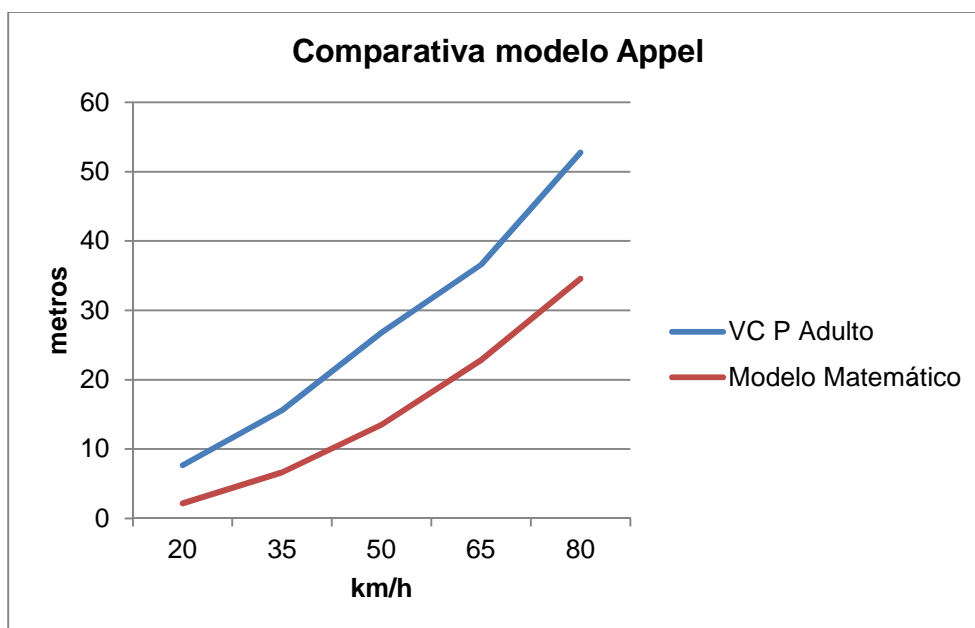


Figura núm. 7-154. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,65$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Como sigue siendo habitual, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash son muy superiores a los del modelo matemático.



√ Geometrías.

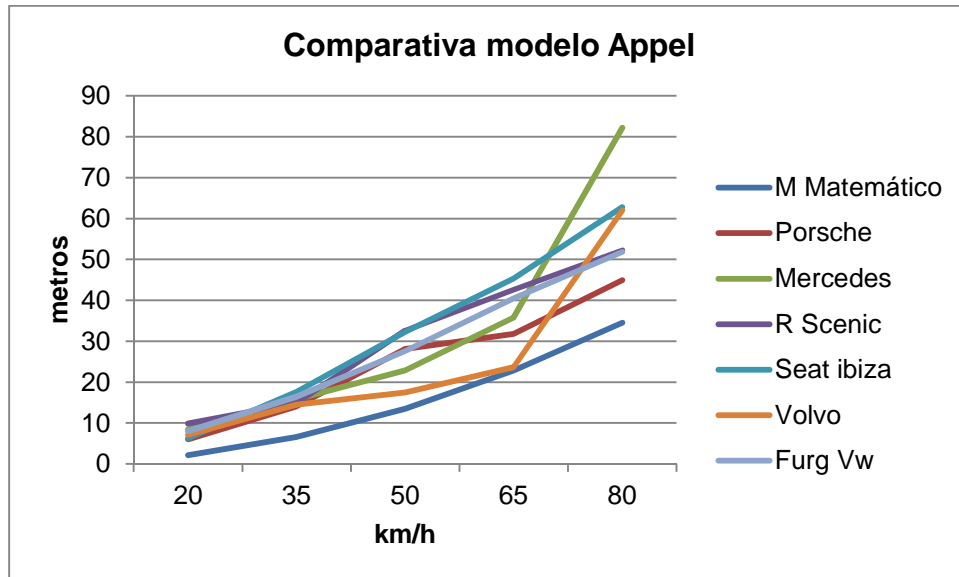


Figura núm. 7-155. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,65$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel.

En general todas las geometrías ofrecen valores superiores a los obtenidos con el modelo matemático, debiendo descartarse resultados obtenidos a distintas velocidades únicamente de las geometrías Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) y Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350). La geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) destaca con los resultados más próximos a velocidades de 50-65 km/h, hallándose todas las geometrías con resultados muy similares entre sí a velocidades de 20-35 km/h.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

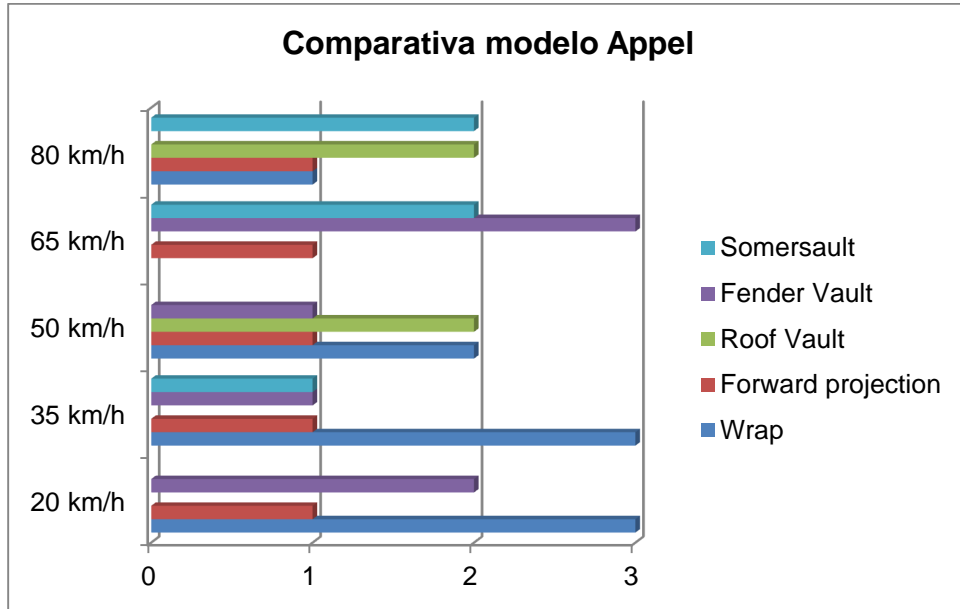


Figura núm. 7-156. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,65$ , según el modelo de Appel.

A velocidades de 20-35 km/h, la trayectoria más repetida es Wrap, que a medida que aumentan las velocidades de atropello, va transformándose en otras, no destacando ninguna en particular.

### 7.2.1.3. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,85$

Los resultados y gráficos que se exponen son los obtenidos con el programa Virtual Crash tras realizar las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,01 m	2,16 m	69,19
35 km/h	14,32 m	6.62 m	53,77
50 km/h	20,73 m	13,51 m	34,83
65 km/h	30,68 m	22,82 m	25,62
80 km/h	54,96 m	34,57 m	37,10

Tabla núm. 7-85. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,85$ .

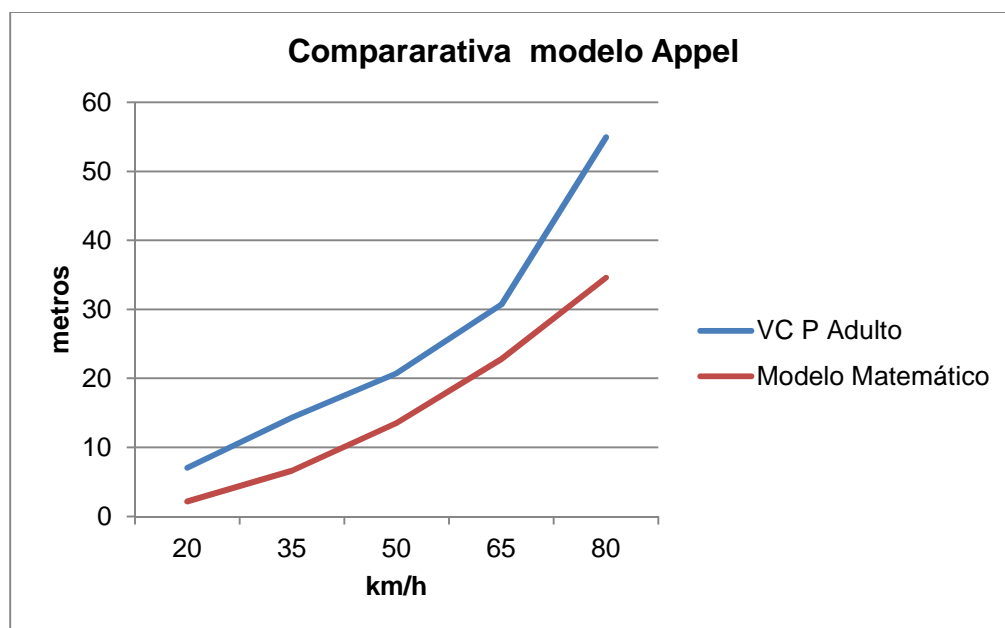


Figura núm. 7-157. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,85$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Los resultados obtenidos con el modelo matemático están por debajo de los obtenidos con el programa Virtual Crash, si bien, en general, a velocidades de entre 50 y 65 km/h son los más cercanos de los presentados hasta el momento.

√ Geometrías.

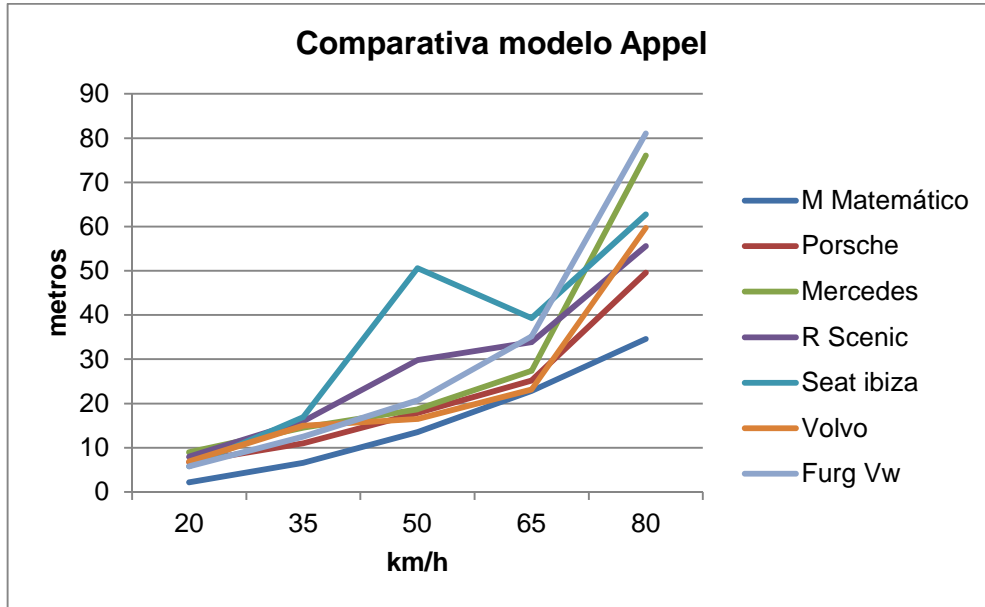


Figura núm. 7-158. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,85$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel.

Todas las geometrías muestran valores mayores que los obtenidos con el modelo matemático, teniendo que descartarse resultados de las geometrías Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3). De forma genérica todas las geometrías muestran una línea estable, acercándose las geometrías Trapezoidal shape-shallow bonnet (Mercedes Benz CL5 350), Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8) a los resultados del modelo matemático a velocidades de 65 km/h y obteniendo un resultado muy alejado del matemático todas las geometrías a velocidades de 80 km/h (como se observa gráficamente).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

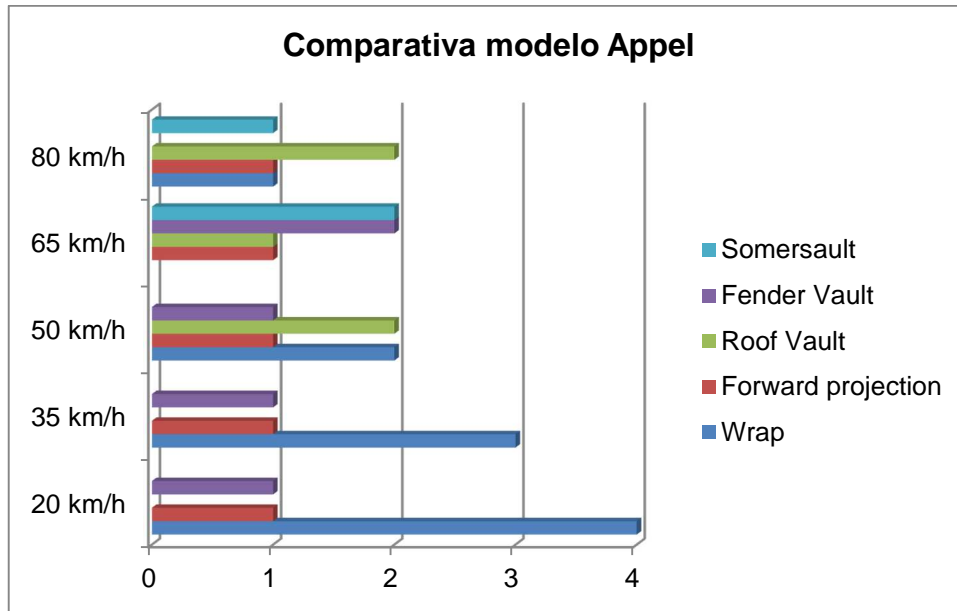


Figura núm. 7-159. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones adultos utilizando  $\mu = 0,85$ , según el modelo de Appel.

La trayectoria post-impacto más común a velocidad de 20-35 km/h es la denominada Wrap. A medida que se aumentado la velocidad, no hay una trayectoria que destaque sobre el resto, teniendo más protagonismo las que implican volteo del peatón (Roof Vault, Fender Vault y Somersault).

### 7.2.1.4. Peatón 6 años. $\mu = 0,45$

Se muestran los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, tras la realización de las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,72 m	2,72 m	59,52
35 km/h	17,76 m	8,32 m	53,15
50 km/h	31,14 m	16,98 m	45,47
65 km/h	46,87 m	28,69 m	38,79
80 km/h	66,02 m	43,46 m	34,17

Tabla núm. 7-86. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$ .

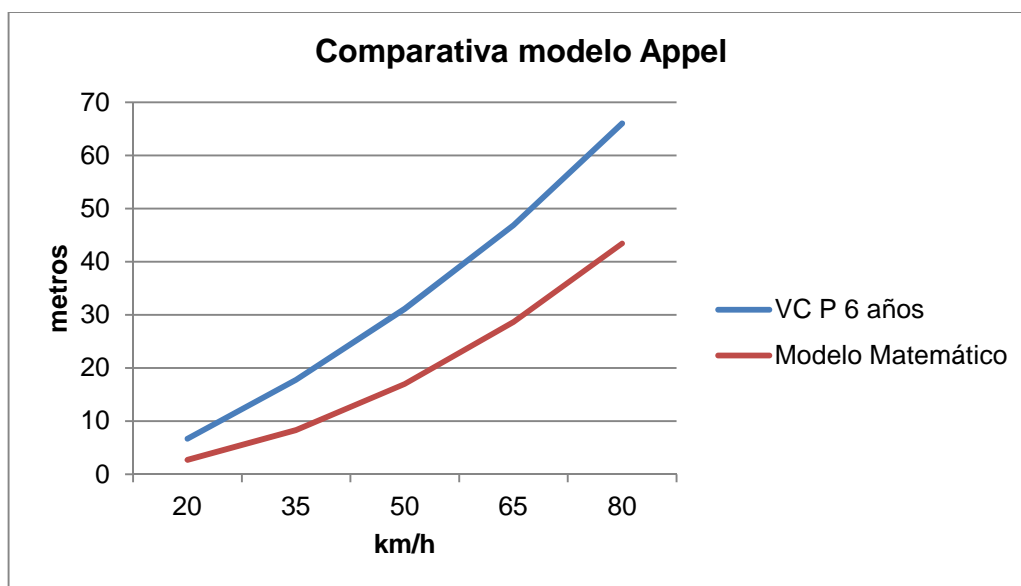


Figura núm. 7-160. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Gráficamente se muestra que los valores obtenidos con el programa se encuentran por encima de los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

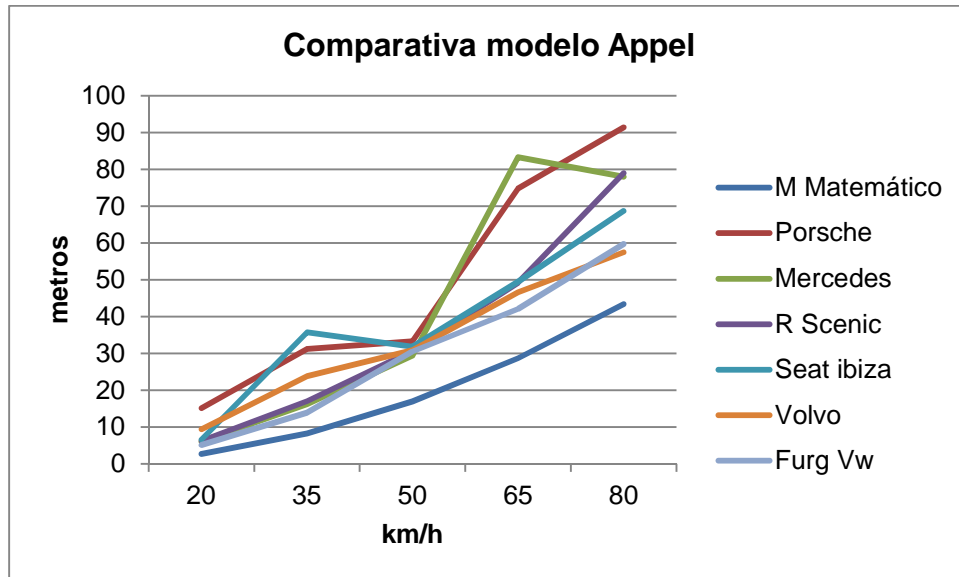


Figura núm. 7-161. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel.

Las dos geometrías que no han sufrido anomalías en los resultados obtenidos han sido la geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) y la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8), hallándose dichos resultados por encima de los obtenidos con el modelo matemático; si bien, junto con la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), son las que obtienen resultados más próximos al modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

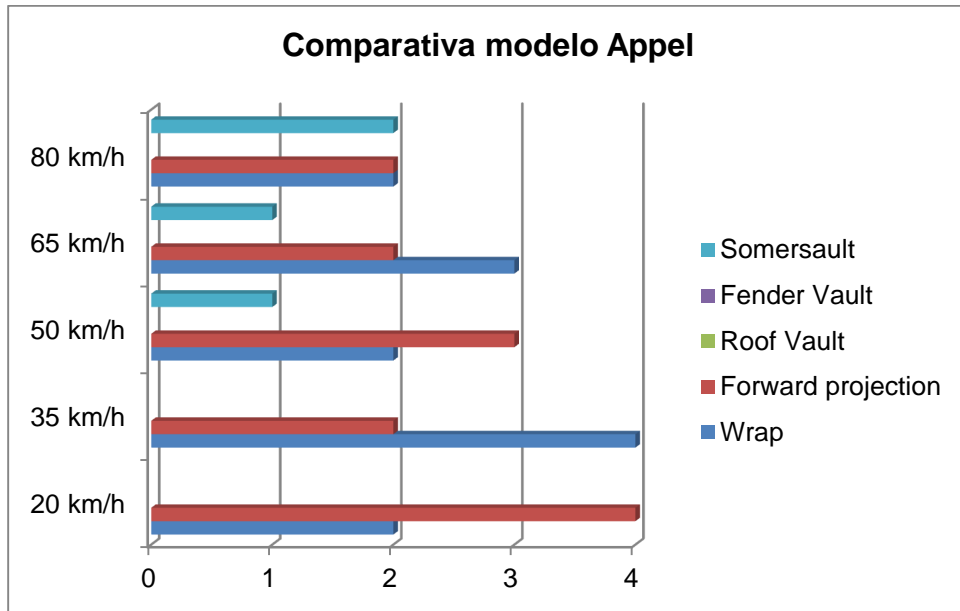


Figura núm. 7-162. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$ , según el modelo de Appel.

La trayectoria post-impacto más común a velocidades de 20 y 50 km/h es la denominada Forward projection, resaltando que a 35 km/h es la trayectoria Wrap. A velocidades de 65-80 km/h, aparece, además de las anteriores, la trayectoria Somersault.



### 7.2.1.5. Peatón 6 años. $\mu = 0,65$

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	5,21 m	2,72 m	47,79
35 km/h	12,64 m	8,32 m	34,18
50 km/h	25,69 m	16,98 m	33,90
65 km/h	40,79 m	28,69 m	29,66
80 km/h	49,54 m	43,46 m	12,27

Tabla núm. 7-87. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$ .

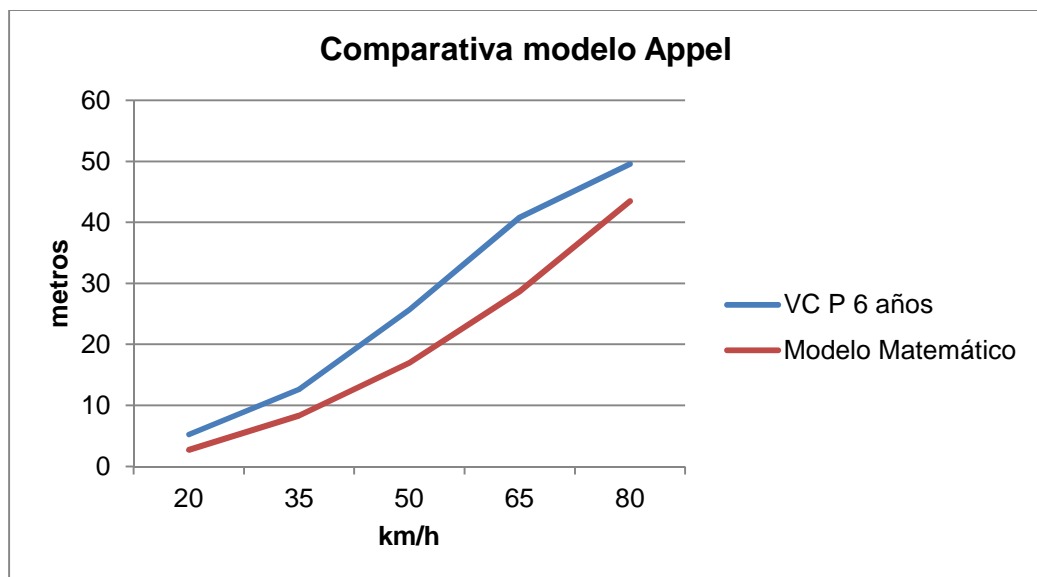


Figura núm. 7-163. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Los resultados mostrados indican que hallándose los valores obtenidos con el programa Virtual Crash por encima de los obtenidos con el modelo matemático, a la velocidad de 80 km/h están relativamente próximos.

√ Geometrías.

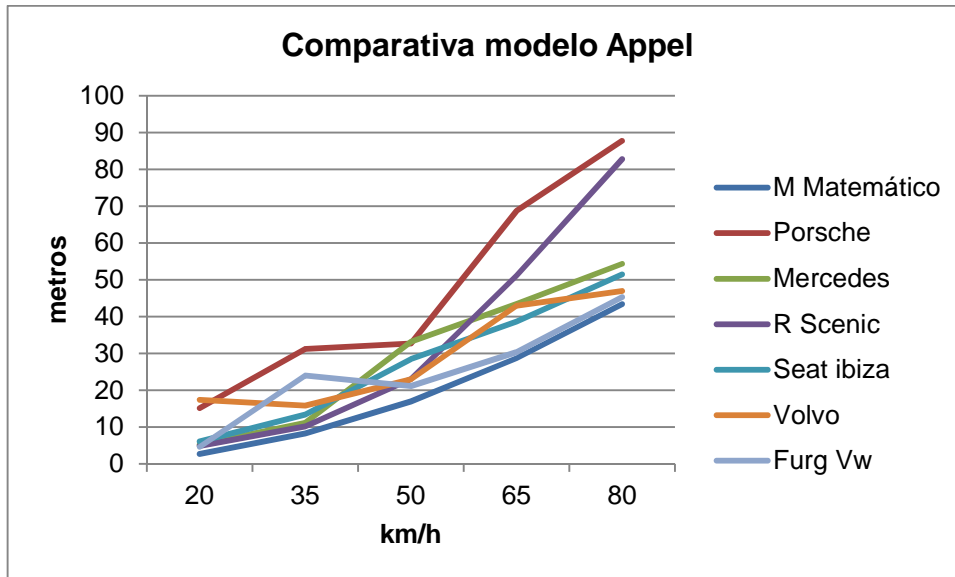


Figura núm. 7-164. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel.

Excepto la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0), el resto de geometrías han sufrido alguna anomalía en alguno de los resultados obtenidos en las simulaciones. A velocidades de 20-35 km/h los resultados obtenidos con las geometrías Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8), se hallan bastante próximos a los obtenidos utilizando el modelo matemático. La geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), excluyendo el resultado obtenido a velocidades de 35 km/h, es la que, en cuanto a resultados, más se acerca a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

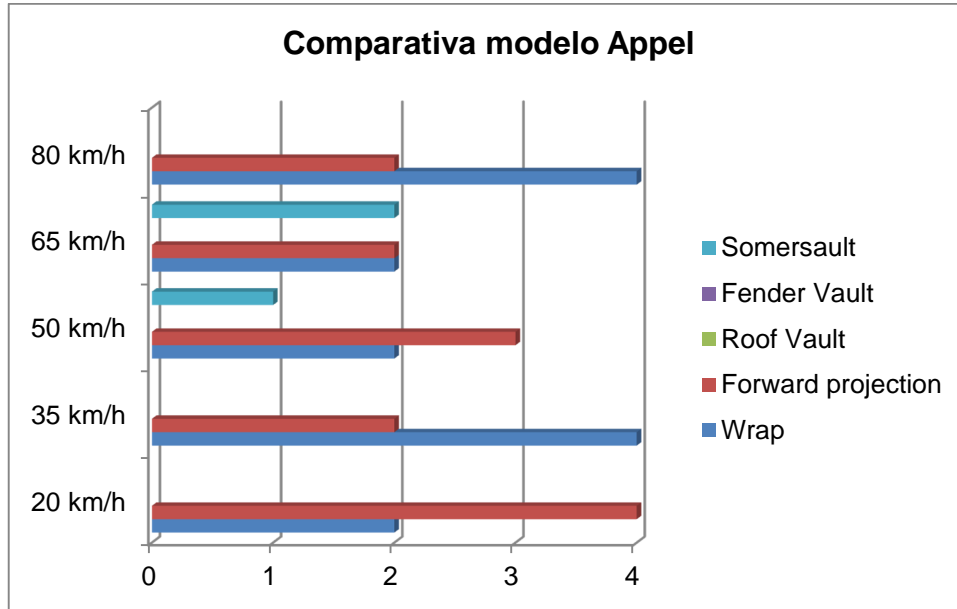


Figura núm. 7-165. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$ , según el modelo de Appel.

Las trayectorias post-atropello Forward Projection y Wrap son las más comunes, independientemente de la velocidad a la que se realicen las simulaciones.

### 7.2.1.6. Peatón 6 años. $\mu = 0,85$

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	5,23 m	2,72 m	47,99
35 km/h	11,16 m	8,32 m	25,45
50 km/h	22,63 m	16,98 m	24,97
65 km/h	32,01 m	28,69 m	10,37
80 km/h	41,38 m	43,46 m	5,03

Tabla núm. 7-88. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,85$ .

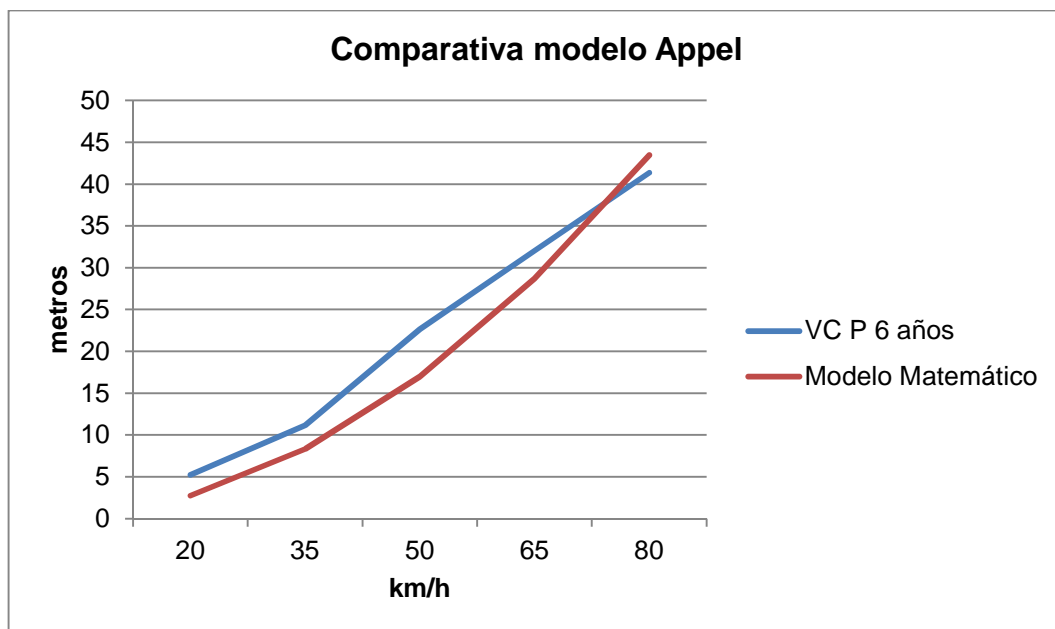


Figura núm. 7-166. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,85$ , comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Como se aprecia a través de la gráfica, los resultados obtenidos con el programa Virtual Crash se encuentran, en general, próximos a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

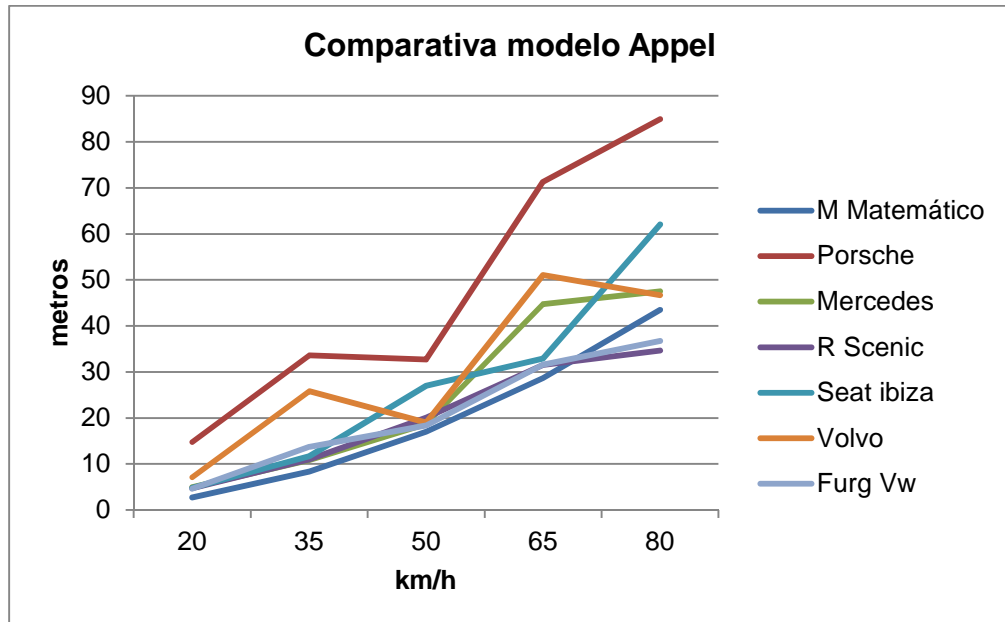


Figura núm. 7-167. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,85$ , tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Appel.

Todas las geometrías utilizadas, salvo la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), han sufrido alguna anomalía en los resultados obtenidos en las simulaciones. Excluidos éstos, se observa que en general, las geometrías Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) obtienen resultados similares a los del modelo matemático, significándose que a la velocidad de 80 km/h están incluso por debajo de los de referencia.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

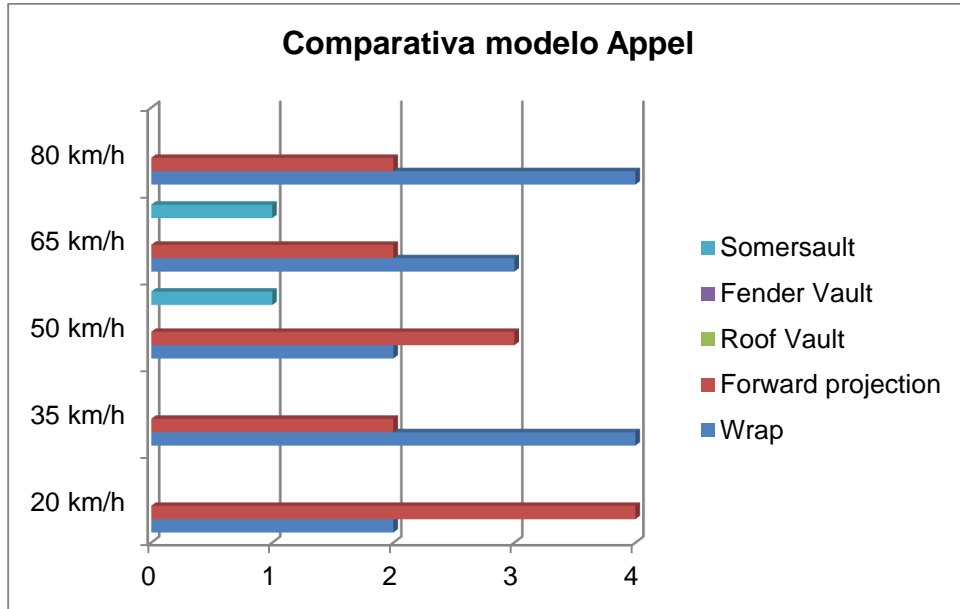


Figura núm. 7-168. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,85$ , según el modelo de Appel.

Como en el caso anterior, independientemente de la velocidad, las trayectorias más frecuentes son Forward Projection y Wrap.

### 7.2.1.7. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,45$ . Frontal alto

Se muestran los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, tras la realización de las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	10,06 m	2,60 m	74,16
35 km/h	19,52 m	7,94 m	59,32
50 km/h	49,66 m	16,21 m	67,36
65 km/h	44,84 m	27,39 m	38,92
80 km/h	71,13 m	41,49 m	41,67

Tabla núm. 7-89. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto.

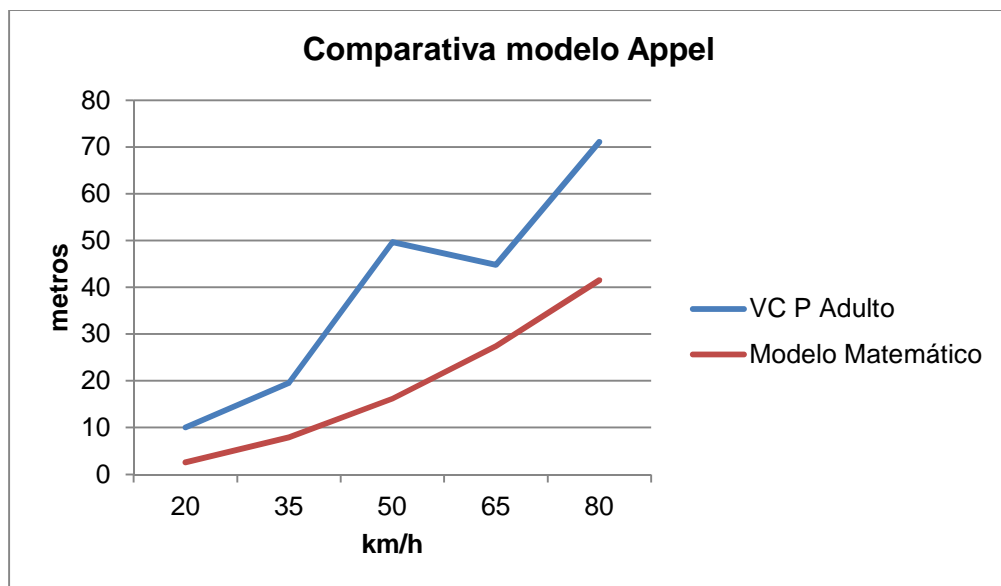


Figura núm. 7-169. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Los datos aportados por el programa muestran resultados superiores a los obtenidos con el modelo matemático, hallándose más próximos a velocidades altas.

### 7.2.1.8. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,65$ . Frontal alto

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,95 m	2,60 m	70,95
35 km/h	15,68 m	7,94 m	49,36
50 km/h	30,07 m	16,21 m	46,09
65 km/h	41,54 m	27,39 m	34,06
80 km/h	52,03 m	41,49 m	20,26

Tabla núm. 7-90. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto.

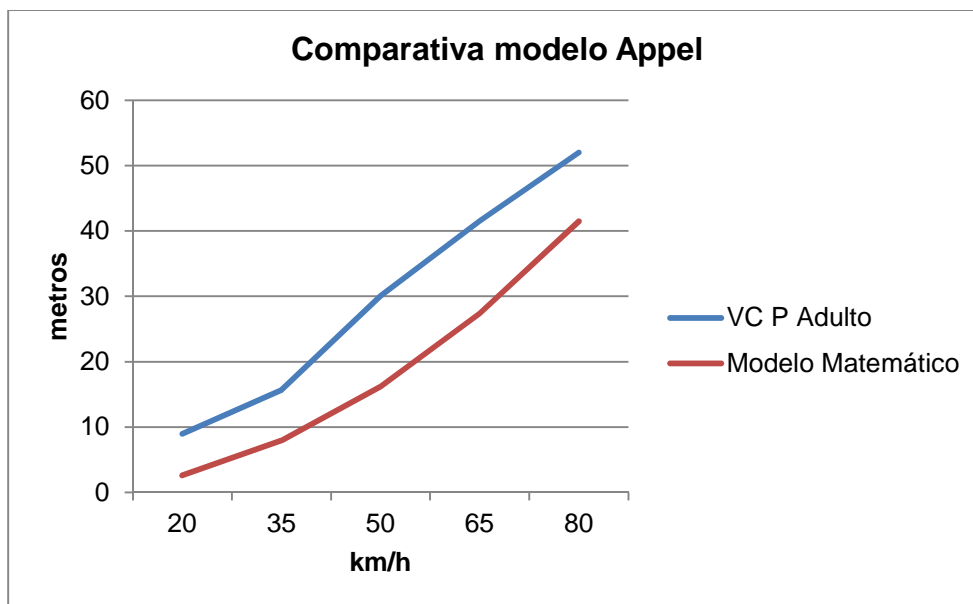


Figura núm. 7-170. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos  $\mu = 0,65$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Los datos obtenidos en cuanto a distancias de proyección indican que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash se hallan por encima de los obtenidos con el modelo matemático.



### 7.2.1.9. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,85$ . Frontal alto

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,89 m	2,60 m	62,26
35 km/h	14,25 m	7,94 m	44,28
50 km/h	25,26 m	16,21 m	35,83
65 km/h	34,52 m	27,39 m	20,65
80 km/h	55,61 m	41,49 m	25,39

Tabla núm. 7-91. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto.

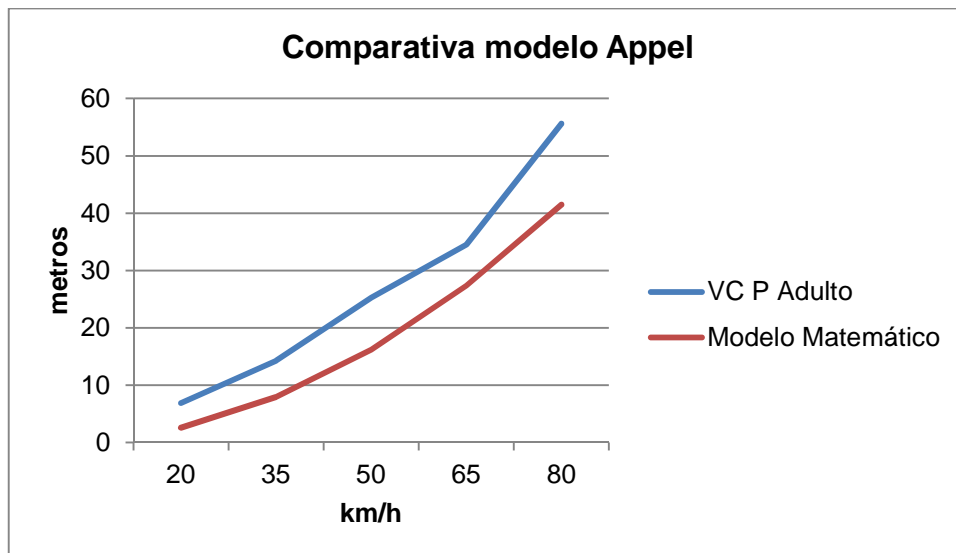


Figura núm. 7-171. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Como se aprecia gráficamente, los datos obtenidos con el programa Virtual Crash se encuentran próximos a los obtenidos con el modelo matemático.

### 7.2.1.10. Peatón 6 años. $\mu = 0,45$ . Frontal alto

Se muestran los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, tras la realización de las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	5,72 m	2,60 m	54,55
35 km/h	15,48 m	7,94 m	48,71
50 km/h	30,65 m	16,21 m	47,11
65 km/h	45,65 m	27,39 m	40,00
80 km/h	59,77 m	41,49 m	30,58

Tabla núm. 7-92. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto.

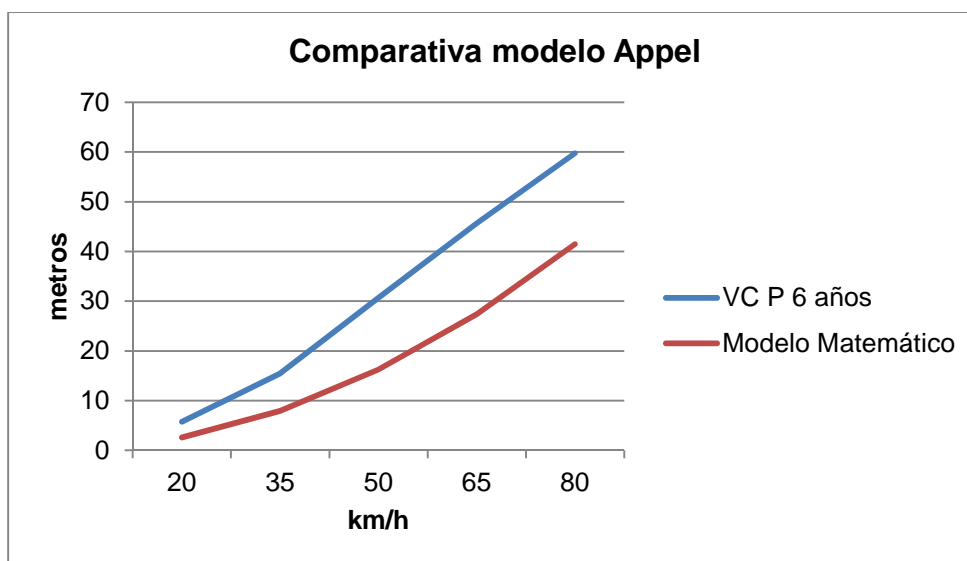


Figura núm. 7-172. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Como se muestra gráficamente, las distancias obtenidas con el programa Virtual Crash son superiores a las obtenidas con el modelo matemático, hallándose más próximas en valores de 65-80 km/h.

### 7.2.1.11. Peatón 6 años. $\mu = 0,65$ . Frontal alto

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,76 m	2,60 m	45,38
35 km/h	10,24 m	7,94 m	22,46
50 km/h	22,13 m	16,21 m	26,75
65 km/h	40,77 m	27,39 m	32,82
80 km/h	45,35 m	41,49 m	8,51

Tabla núm. 7-93. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto.

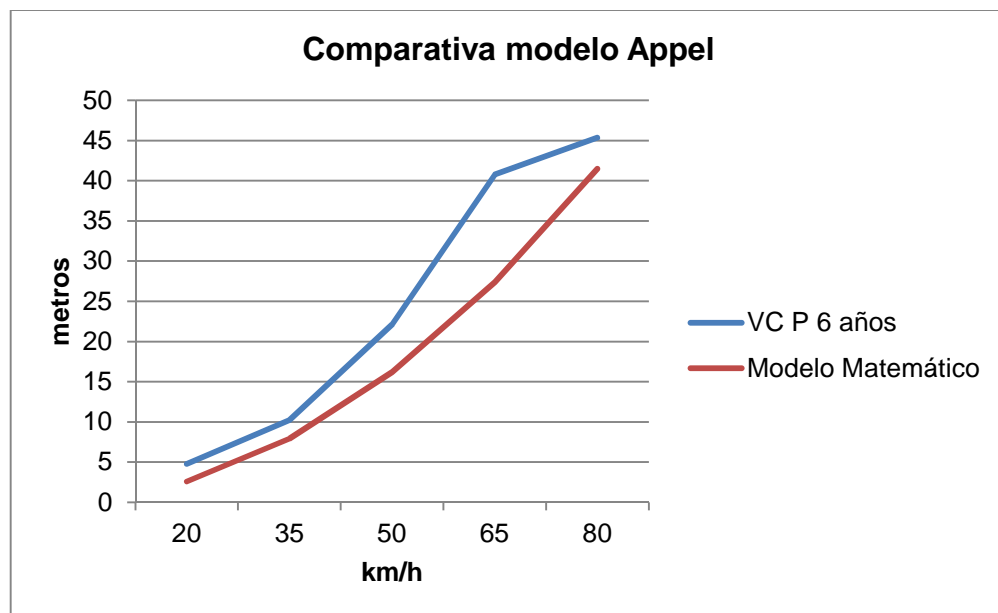


Figura núm. 7-173. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Aunque los resultados obtenidos con el programa Virtual Crash son superiores a los del modelo matemático, se observa que a velocidades de 80 km/h están muy próximos.

### 7.2.1.12. Peatón 6 años. $\mu = 0,85$ . Frontal alto

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,65 m	2,60 m	44,09
35 km/h	10,99 m	7,94 m	27,75
50 km/h	19,20 m	16,21 m	15,57
65 km/h	31,58 m	27,39 m	13,27
80 km/h	35,70 m	41,49 m	16,22

Tabla núm. 7-94. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto.

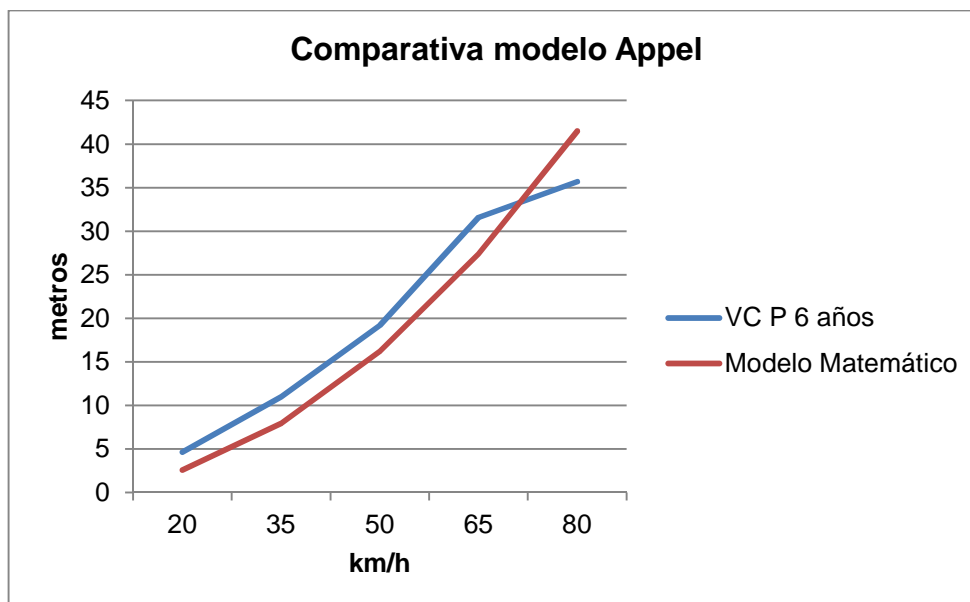


Figura núm. 7-174. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Los valores obtenidos con el programa informático se hallan bastante próximos a los obtenidos con el modelo matemático.

### 7.2.1.13. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,45$ . Frontal bajo

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,21 m	2,01 m	72,12
35 km/h	13,10 m	6,14 m	53,13
50 km/h	30,20 m	12,54 m	58,48
65 km/h	50,43 m	21,19 m	57,98
80 km/h	63,15 m	32,10 m	49,17

Tabla núm. 7-95. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,45$ -Frontal bajo

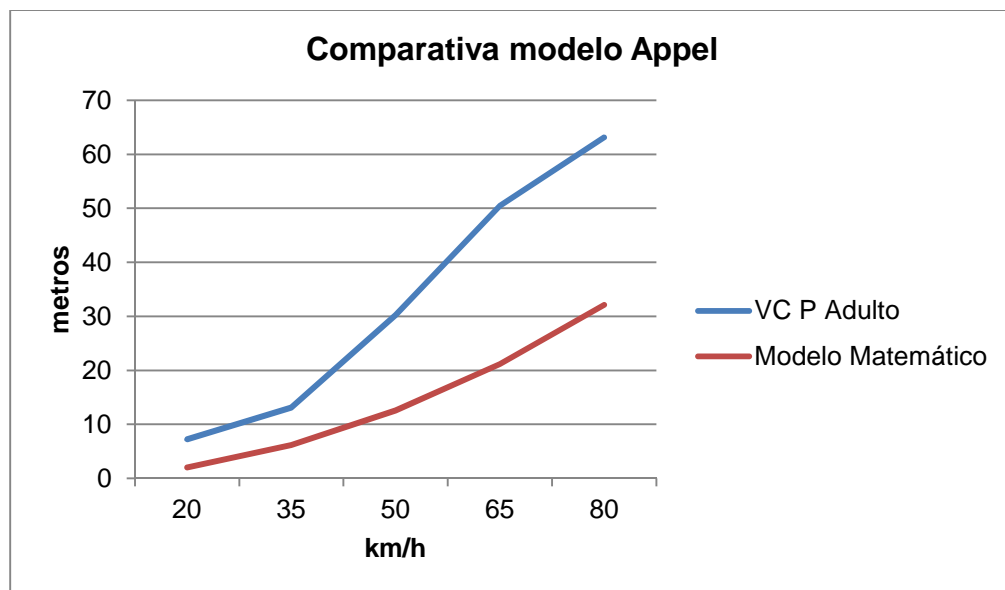


Figura núm. 7-175. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Los datos aportados por el programa muestran resultados superiores a los obtenidos con el modelo matemático.

### 7.2.1.14. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,65$ . Frontal bajo

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,16 m	2,01 m	67,37
35 km/h	15,90 m	6,14 m	61,38
50 km/h	30,20 m	12,54 m	58,48
65 km/h	38,57 m	21,19 m	45,06
80 km/h	44,96 m	32,10 m	28,60

Tabla núm. 7-96. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo.

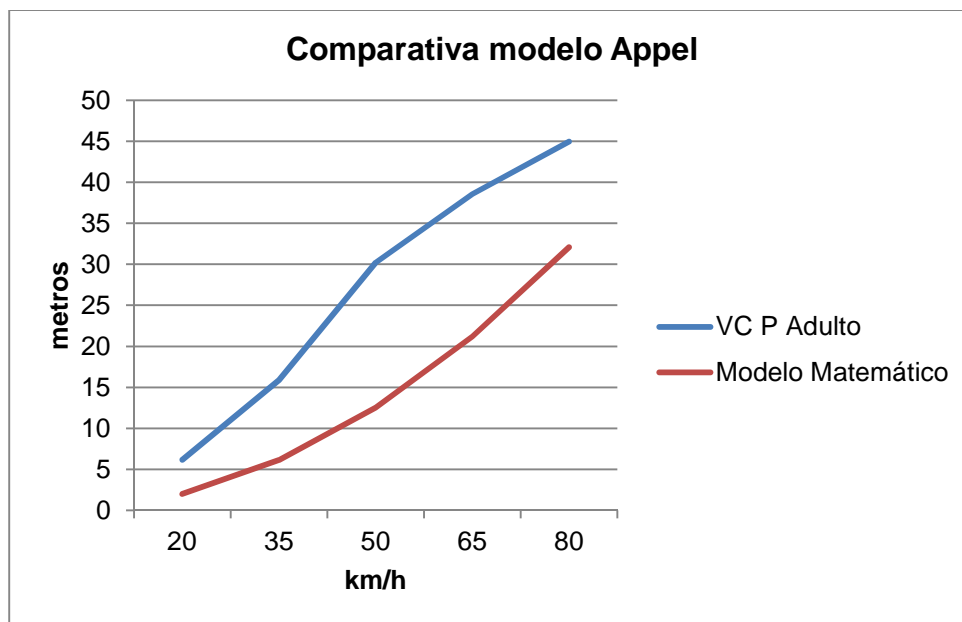


Figura núm. 7-176. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos  $\mu = 0,65$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Los datos obtenidos en cuanto a distancias de proyección indican que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash se hallan por encima de los obtenidos con el modelo matemático, con resultados más próximos a velocidades de 65 y 80 km/h.

### 7.2.1.15. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,85$ . Frontal bajo

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,25 m	2,01 m	67,84
35 km/h	13,96 m	6,14 m	56,02
50 km/h	17,9 m	12,54 m	29,94
65 km/h	32,26 m	21,19 m	34,31
80 km/h	49,57 m	32,10 m	35,24

Tabla núm. 7-97. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo.

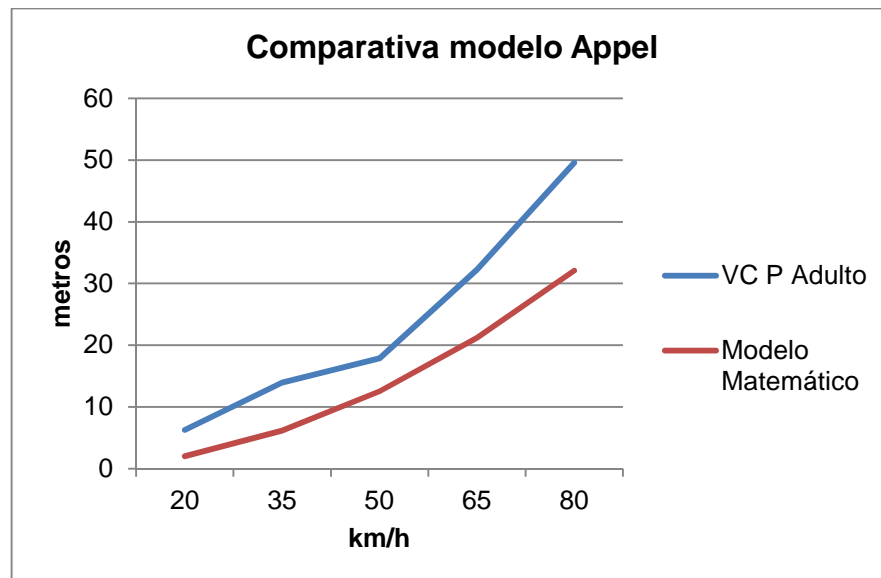


Figura núm.7-177. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Como se aprecia gráficamente, los datos obtenidos con el programa Virtual Crash se encuentran por encima de los obtenidos con el modelo matemático, si bien hasta velocidades de 50 km/h se hallan más próximos.

### 7.2.1.16. Peatón 6 años. $\mu = 0,45$ . Frontal bajo

Se muestran los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, tras la realización de las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,63 m	2,01 m	69,68
35 km/h	33,5 m	6,14 m	81,67
50 km/h	32,61 m	12,54 m	61,55
65 km/h	49,54 m	21,19 m	57,23
80 km/h	68,72 m	32,10 m	53,29

Tabla núm. 7-98. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo.

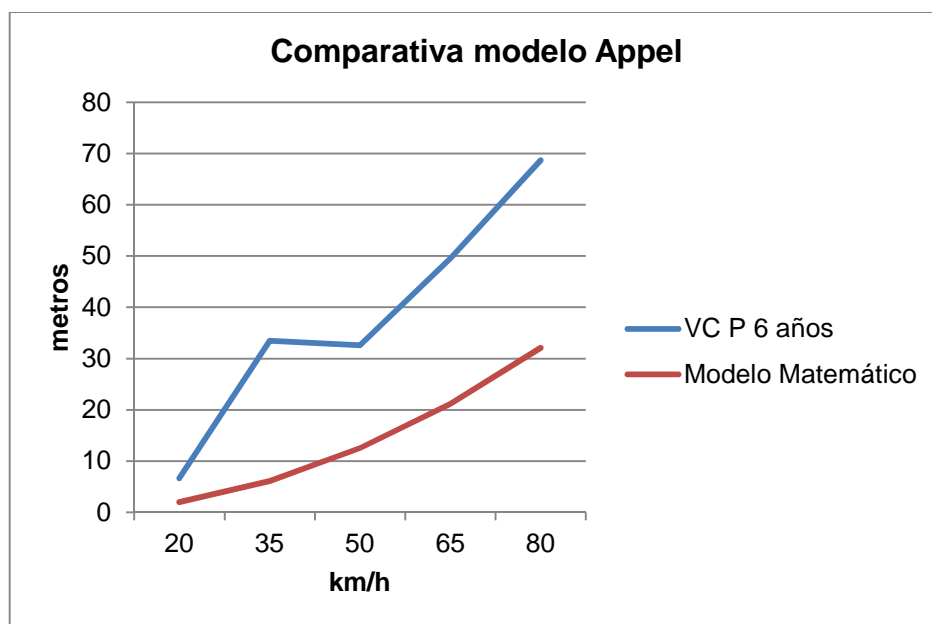


Figura núm. 7-178. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,45$ . Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Como se muestra con los datos expuestos, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash son muy superiores a los obtenidos con el modelo matemático.



### 7.2.1.17. Peatón 6 años. $\mu = 0,65$ . Frontal bajo

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,11 m	2,01 m	67,10
35 km/h	13,41 m	6,14 m	54,21
50 km/h	30,6 m	12,54 m	59,02
65 km/h	38,66 m	21,19 m	45,19
80 km/h	51,48 m	32,10 m	37,65

Tabla núm. 7-99. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo.

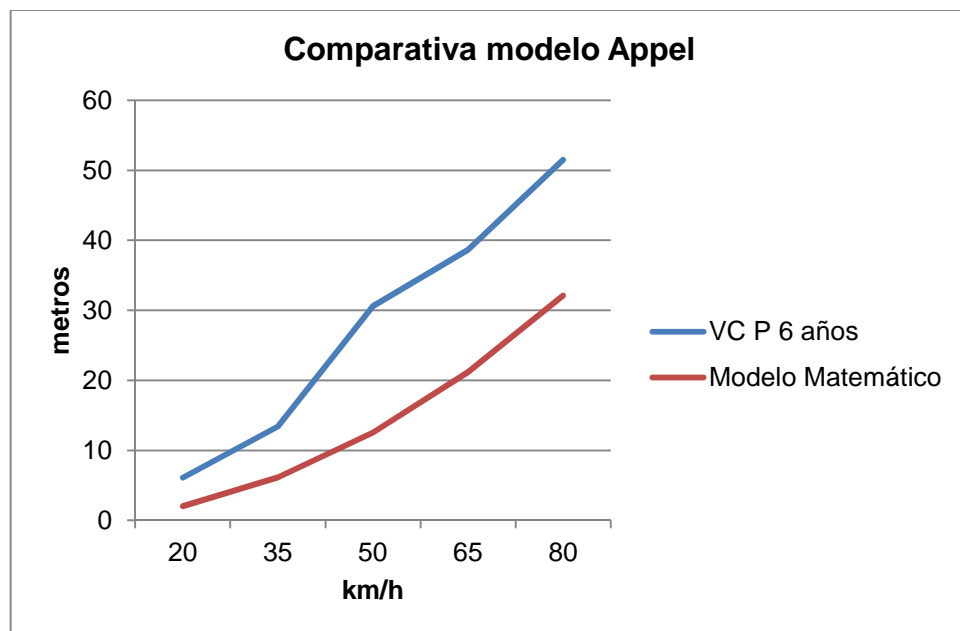


Figura núm. 7-179. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Los resultados que se muestran ofrecen datos de distancias de proyección superiores para los atropellos simulados con el programa Virtual Crash que las distancias obtenidas con el modelo matemático.

### 7.2.1.18. Peatón 6 años. $\mu = 0,85$ . Frontal bajo

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 6 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,80 m	2,01 m	58,13
35 km/h	11,66 m	6,14 m	47,34
50 km/h	29,83 m	12,54 m	57,96
65 km/h	32,88 m	21,19 m	35,55
80 km/h	73,48 m	32,10 m	56,31

Tabla núm. 7-100. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Appel para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo.

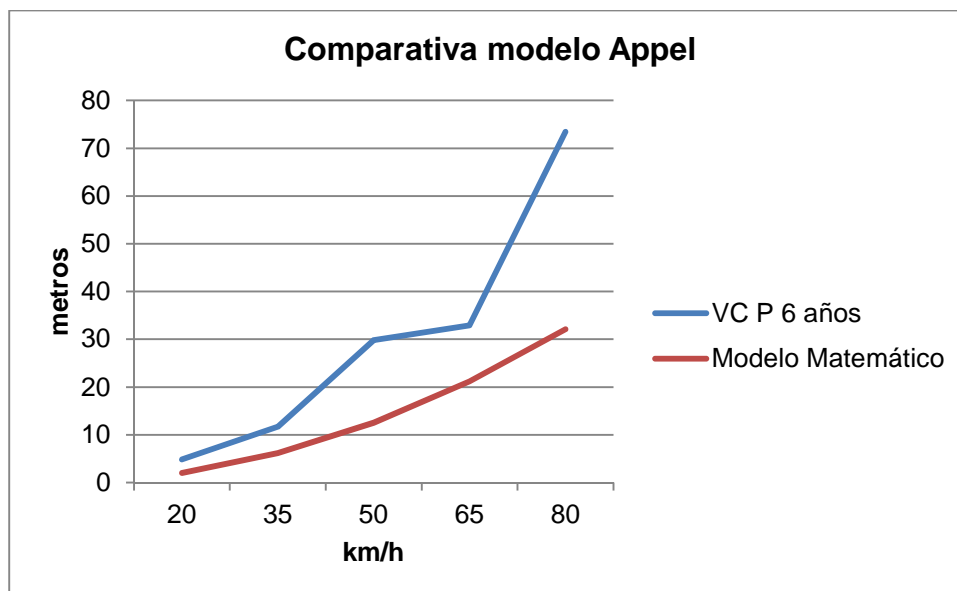


Figura núm. 7-180. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 6 años utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Appel y del programa Virtual Crash.

Los datos aportados por el programa informático, en cuanto a distancias de proyección, son superiores respecto a los obtenidos con el modelo matemático, hallándose más cercanos a velocidades de 35 y 65 km/h.

### 7.2.1.19. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Appel.

Los resultados obtenidos respecto a distancias de proyección, para los dos modelos de peatones utilizados en función de su edad, muestran distancias superiores a las obtenidas utilizando el modelo matemático; no obstante, a medida que va aumentando el coeficiente de fricción peatón-calzada, se van aproximando los resultados, hecho más significativo en peatones niños que adquieren un grado de fiabilidad medio, mientras que para adultos se sitúa en un grado medio-bajo.

Con respecto a los resultados obtenidos en función de la geometría del frontal del vehículo, los más aproximados al modelo matemático son los obtenidos utilizando vehículos con frontal alto y coeficientes de fricción también altos, teniendo un grado de fiabilidad medio-bajo para adultos y medio para peatones niños. Si hablamos de los resultados obtenidos con geometrías de vehículos con frontal bajo, tanto adultos como niños obtienen un grado de fiabilidad bajo.

Todas las geometrías, en general, elevan los resultados con respecto a los del modelo matemático, si bien, geometrías como Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8) son las que ofrecen resultados más próximos al modelo matemático.

La trayectoria post-impacto más común para atropellos de peatones adultos es Wrap, sobre todo a velocidades bajas. Para peatones niños, además de la anterior, tiene bastante incidencia la trayectoria Forward Projection.

Se puede determinar que el modelo físico-matemático debería ser utilizado en su expresión general sobre todo en atropellos a peatones menores con coeficientes de fricción peatón-calzada altos. Con respecto a las expresiones que tienen en cuenta las geometrías de los vehículos, únicamente debería utilizarse la relativa a frontales altos, para peatones menores, con coeficientes de fricción peatón-calzada altos y trayectorias post-impacto Forward Projection.

## 7.2.2. MODELO DE STURTZ

Para obtener las distancias de proyección en función de velocidades de atropello, se utilizaron las siguientes variables:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

√ Altura aproximada de los centros de gravedad de los peatones correspondientes a las tallas<sup>9</sup> 1,75 m y 1,00 m.

√ Vehículos a utilizar de tipo frontal alto, frontal bajo y frontal tipo caja.

Realizados los cálculos correspondientes, se obtuvieron los siguientes resultados:

a) Frontal alto.

Velocidad/ c.d.g	0,6	1
20 km/h	5,17 m	4,69 m
35 km/h	9,91 m	8,58 m
50 km/h	16,76 m	14,28 m
65 km/h	26,66 m	22,59 m
80 km/h	40,52 m	34,30 m

Tabla núm. 7-101. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando las regresiones para vehículos de frontal alto según el modelo de Sturtz.

<sup>9</sup> “Estudios Españoles de Crecimiento 2010” Carrascosa A., et al, 2010, tomando como referencia la altura recogida en dichos Estudios para valores medios entre varones y mujeres de las siguientes categorías: adultos y 3 años - 6 meses, siendo reducidos un 40 % para calcular aproximadamente la altura del centro de gravedad.

## b) Frontal bajo.

<b>Velocidad/ c.d.g</b>	<b>0,6</b>	<b>1</b>
<b>20 km/h</b>	2,64 m	7,05 m
<b>35 km/h</b>	6,88 m	20,58 m
<b>50 km/h</b>	13,41 m	48,72 m
<b>65 km/h</b>	22,26 m	97,91 m
<b>80 km/h</b>	33,43 m	174,40 m

Tabla núm. 7-102. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando las regresiones para vehículos de frontal bajo según el modelo de Sturtz.

## c) Frontal tipo caja.

<b>Velocidad/ c.d.g</b>	<b>0,6</b>	<b>1</b>
<b>20 km/h</b>	4,92 m	5,32 m
<b>35 km/h</b>	8,17 m	8,57 m
<b>50 km/h</b>	11,41 m	11,81 m
<b>65 km/h</b>	14,66 m	15,06 m
<b>80 km/h</b>	17,90 m	18,30 m

Tabla núm. 7-103. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando la regresión para vehículos de frontal tipo caja según el modelo de Sturtz.

Con el programa Virtual Crash se realizarán simulaciones que comprenderán las siguientes variables:

Variables comunes:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,75.
- Peatón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

Otras variables:

- Tipo de vehículo (5 tipos de vehículos con cinco frontales distintos).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,45, 0,65 y 0,85.
- Edad peatón (2 distintos, 1 mujer adulta y 1 niño de 3 años y 6 meses).

Los vehículos que se utilizarán en las simulaciones para peatones adultos y niños serán las siguientes:

Frontal alto: Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) y Pontoon shape (Volvo 460 1.8).

Frontal bajo: Wedge shape (Porsche 911 Carrera) y Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0).

Frontal tipo caja: Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3)

Para el análisis de la distancia de proyección, se compararán los valores medios de los resultados obtenidos (según las diferentes geometrías) para cada uno de los dos multibodies utilizados, con los resultados del modelo físico-matemático, según edad y coeficiente de rozamiento peatón-calzada, excluyéndose aquellos resultados en los que se ha dado alguna circunstancia anómala (normalmente arrastre o transporte del multibody por el vehículo); además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

### 7.2.2.1. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,45$ . Frontal alto

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,91 m	4,69 m	40,71
35 km/h	17,10 m	8,58 m	49,82
50 km/h	38,49 m	14,28 m	62,90
65 km/h	57,72 m	22,59 m	60,86
80 km/h	78,38 m	34,30 m	56,24

Tabla núm. 7-104. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto

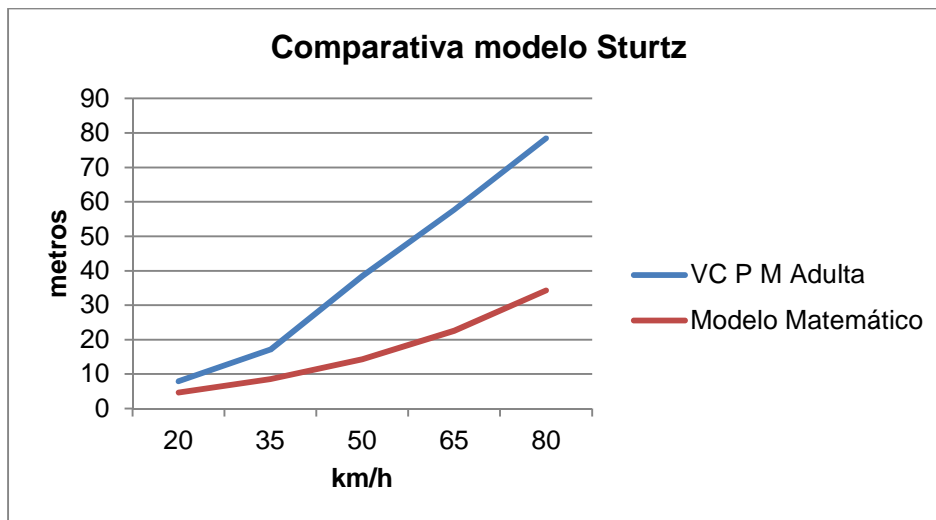


Figura núm. 7-181. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los datos aportados por el programa muestran resultados superiores a los obtenidos con el modelo matemático, hallándose más próximos a velocidades bajas (20-35 km/h).

√ Geometrías.

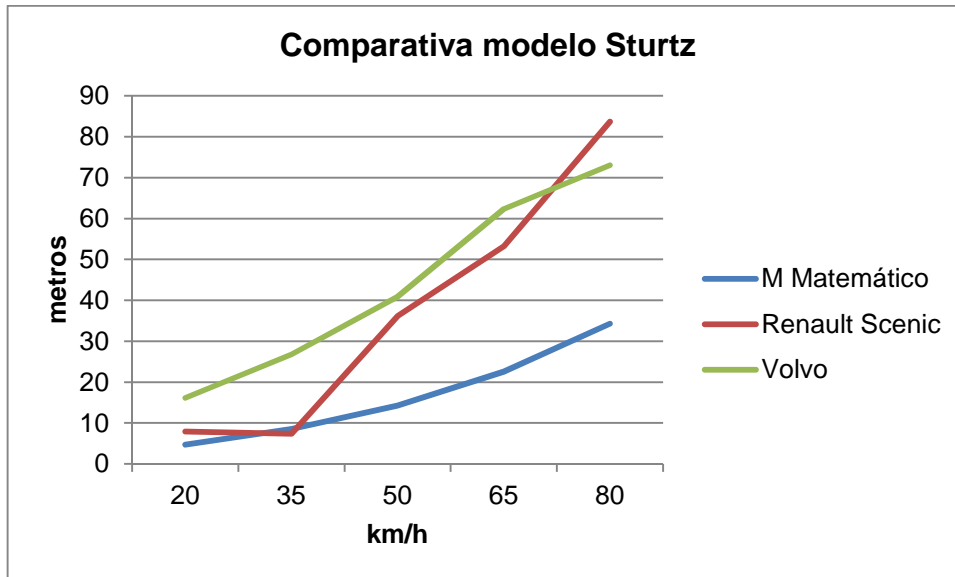


Figura núm. 7-182. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las dos geometrías utilizadas obtienen resultados superiores a los del modelo matemático, si bien, la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi), a velocidades de atropello de 20 y 35 km/h obtiene resultados muy similares e incluso inferiores.



√ Tipos de trayectoria post-impacto.

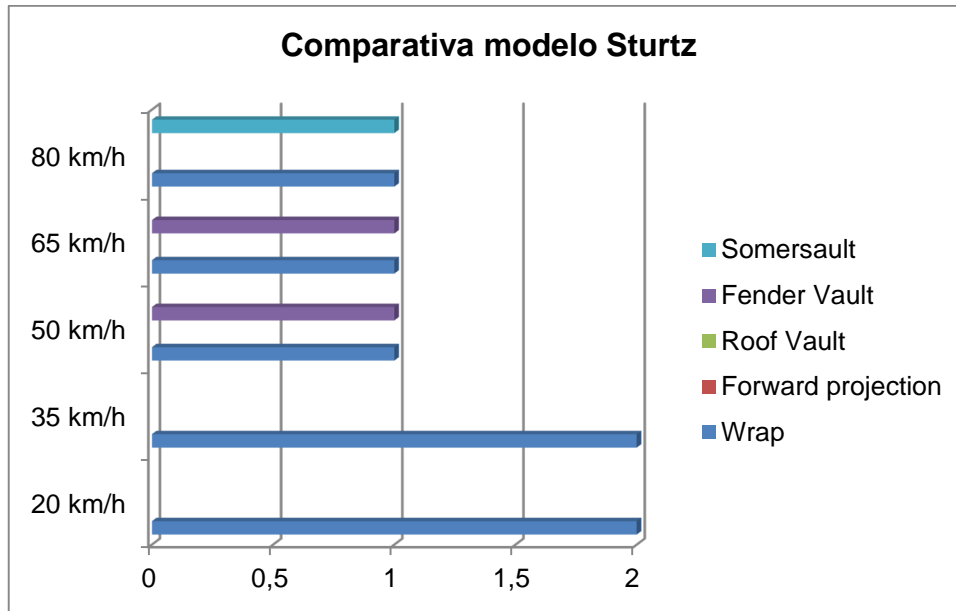


Figura núm. 7-183. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto, según el modelo de Sturtz.

Según se observa en el gráfico, la trayectoria más común, independientemente de la velocidad es la trayectoria Wrap.

### 7.2.2.2. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,65$ . Frontal alto

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,93 m	4,69 m	32,32
35 km/h	19,39 m	8,58 m	55,75
50 km/h	33,66 m	14,28 m	57,58
65 km/h	46,74 m	22,59 m	51,67
80 km/h	104,25 m	34,30 m	67,10

Tabla núm. 7-105. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto.

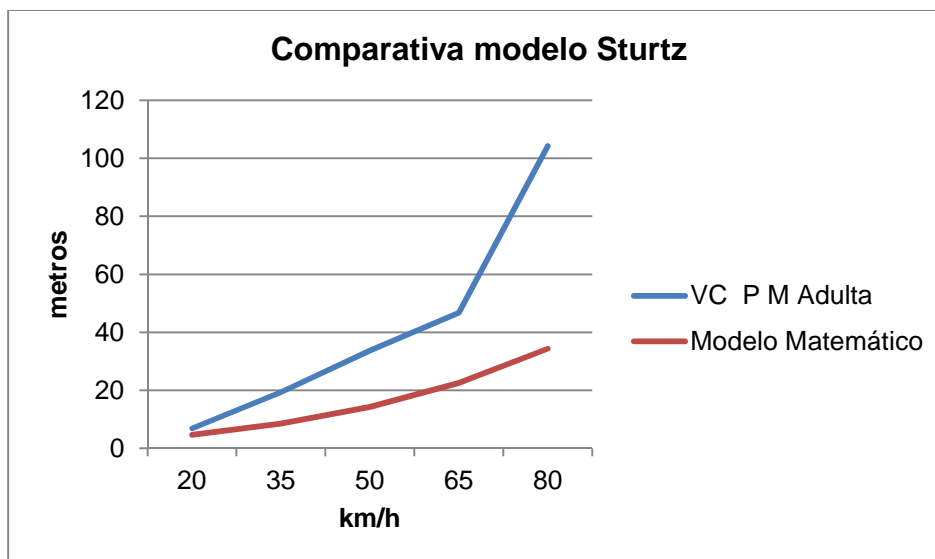


Figura núm. 7-184. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas  $\mu = 0,65$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los resultados mostrados gráficamente denotan que los obtenidos con el programa informático están por encima de los obtenidos con el modelo matemático, hallándose más próximos a velocidades bajas.

√ Geometrías.

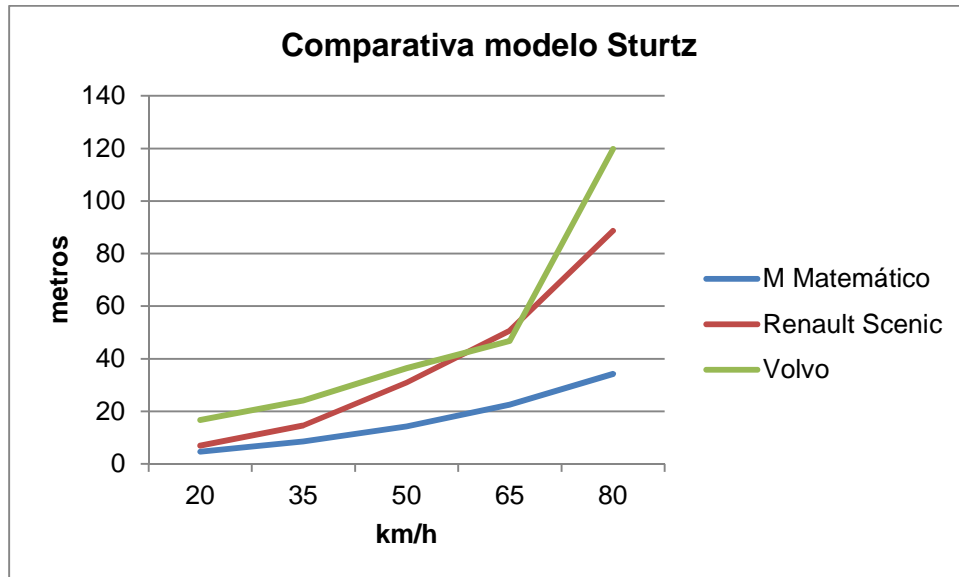


Figura núm. 7-185. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las dos geometrías utilizadas obtienen resultados superiores a los del modelo matemático, hallándose ambas, más próximas a velocidades de atropello bajas (20-35 km/h).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

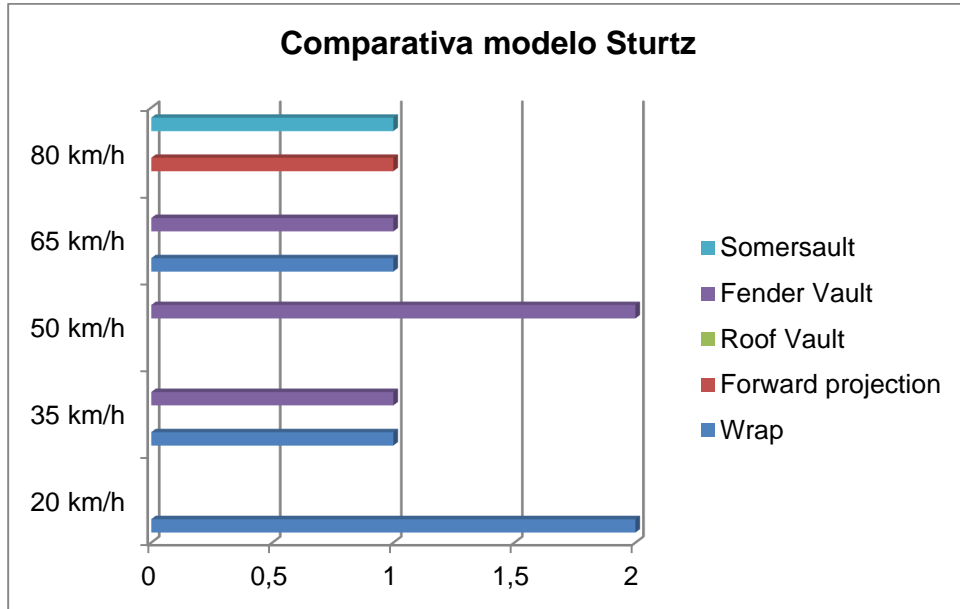


Figura núm. 7-186. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto, según el modelo de Sturtz.

Las trayectorias más comunes, independientemente de las velocidades de atropello, son las trayectorias Wrap y Fender Vault.

### 7.2.2.3. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,85$ . Frontal alto

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	12,05 m	4,69 m	61,08
35 km/h	23,16 m	8,58 m	62,95
50 km/h	17,29 m	14,28 m	17,41
65 km/h	52,82 m	22,59 m	57,23
80 km/h	48,74 m	34,30 m	29,63

Tabla núm. 7-106. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto.

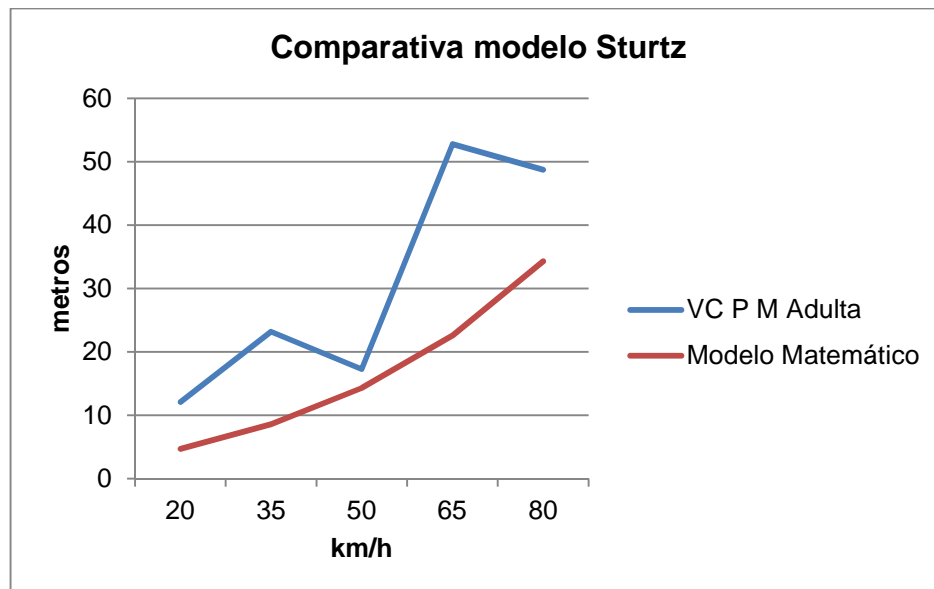


Figura núm. 7-187. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Como se aprecia gráficamente, los datos obtenidos con el programa Virtual Crash son superiores a los obtenidos con el modelo matemático, hallándose más próximos a velocidades de 50 km/h.

√ Geometrías.

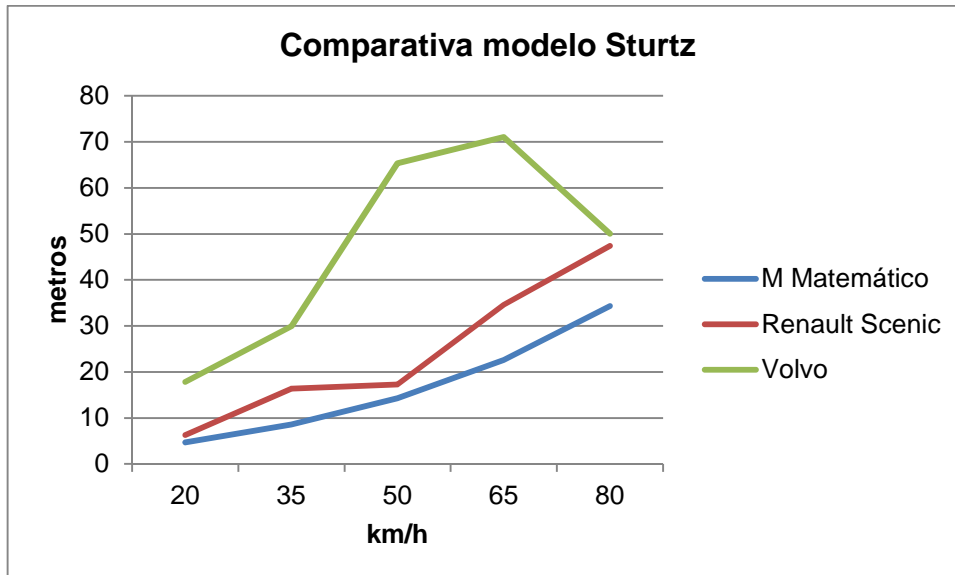


Figura núm. 7-188. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Aunque las dos geometrías utilizadas obtienen resultados superiores a los del modelo matemático, se observa que la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) obtiene, en general, resultados más próximos a los del modelo matemático que la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8), independientemente de las anomalías detectadas en la simulación.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

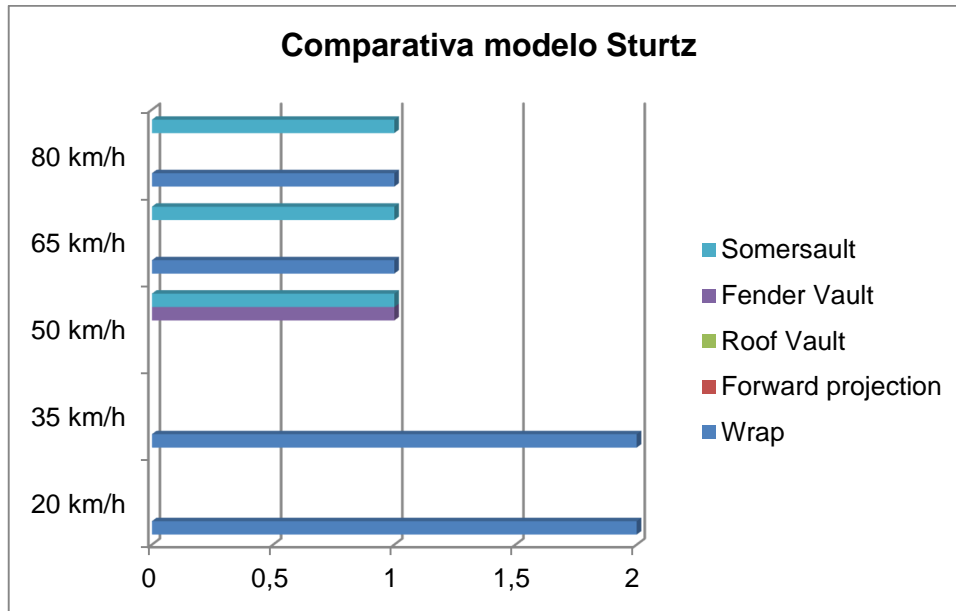


Figura núm. 7-189. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto, según el modelo de Sturtz.

La trayectoria más común, es la trayectoria Wrap, presente prácticamente en todos los atropellos.

#### 7.2.2.4. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,45$ . Frontal alto

Se muestran los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, tras la realización de las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	5,08 m	5,17 m	1,77
35 km/h	14,24 m	9,91 m	30,41
50 km/h	25,79 m	16,76 m	35,01
65 km/h	43,17 m	26,66 m	38,24
80 km/h	66,97 m	40,52 m	39,50

Tabla núm. 7-107. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto.

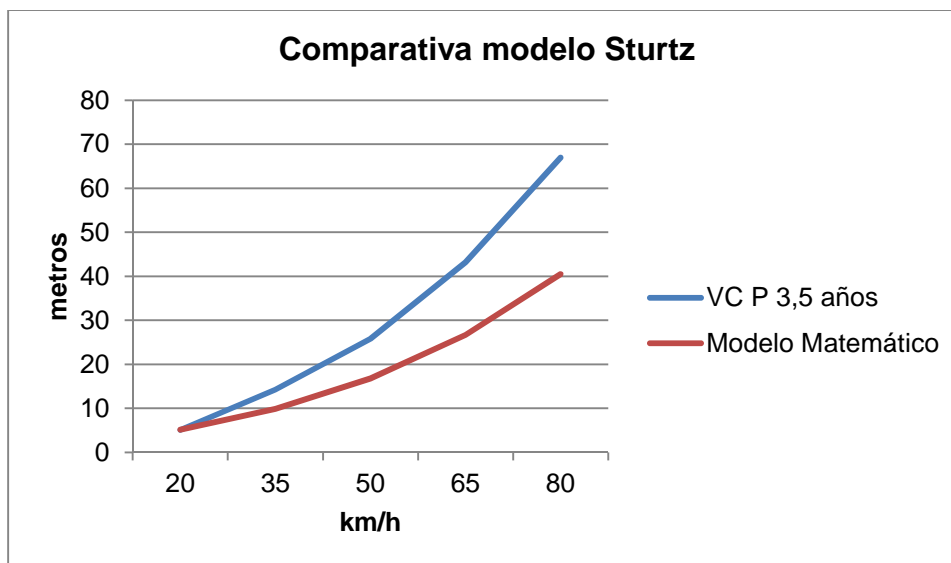


Figura núm. 7-190. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Como se muestra gráficamente, las distancias obtenidas con el programa Virtual Crash son superiores a las obtenidas con el modelo matemático, hallándose más próximas a velocidades bajas.



√ Geometrías.

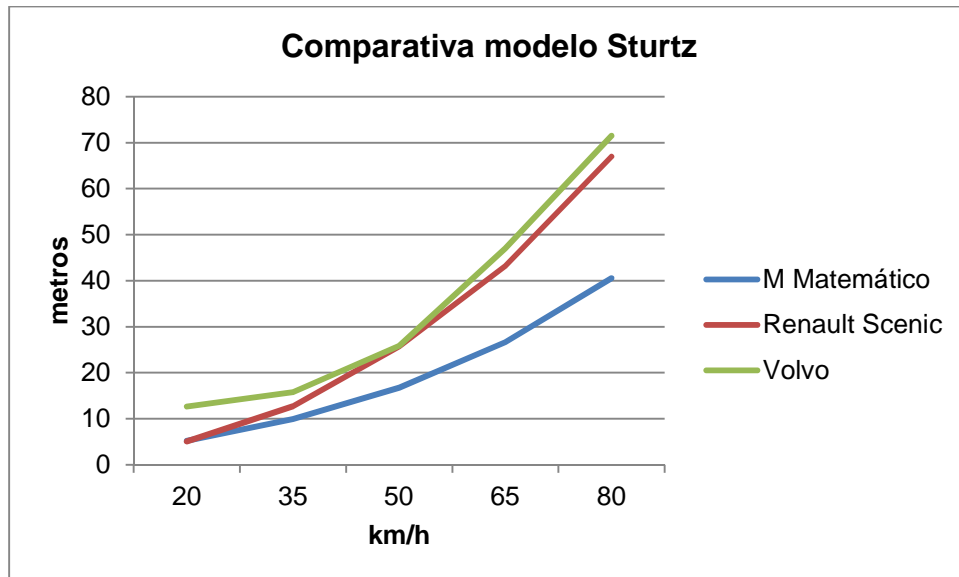


Figura núm. 7-191. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las dos geometrías utilizadas mantienen una tendencia lineal, con resultados superiores a los del modelo matemático, salvo a velocidades bajas (20-35 km/h) que se hallan bastante próximos.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

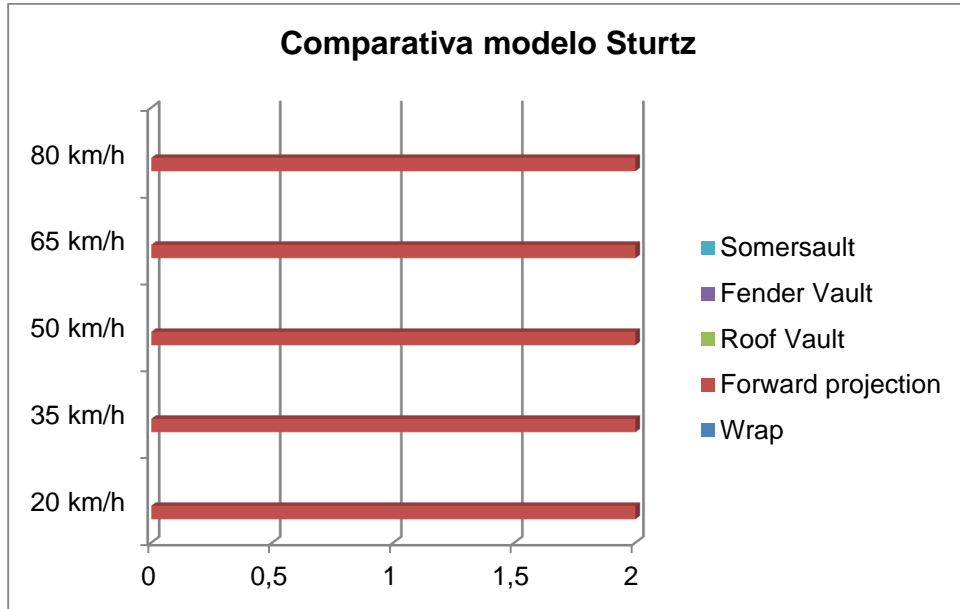


Figura núm. 7-192. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal alto, según el modelo de Sturtz.

La única trayectoria existente es la trayectoria Forward Projection.

### 7.2.2.5. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,65$ . Frontal alto

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,17 m	5,17 m	23,98
35 km/h	9,60 m	9,91 m	3,23
50 km/h	19,08 m	16,76 m	12,16
65 km/h	28,66 m	26,66 m	6,98
80 km/h	46,11 m	40,52 m	12,12

Tabla núm. 7-108. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto.

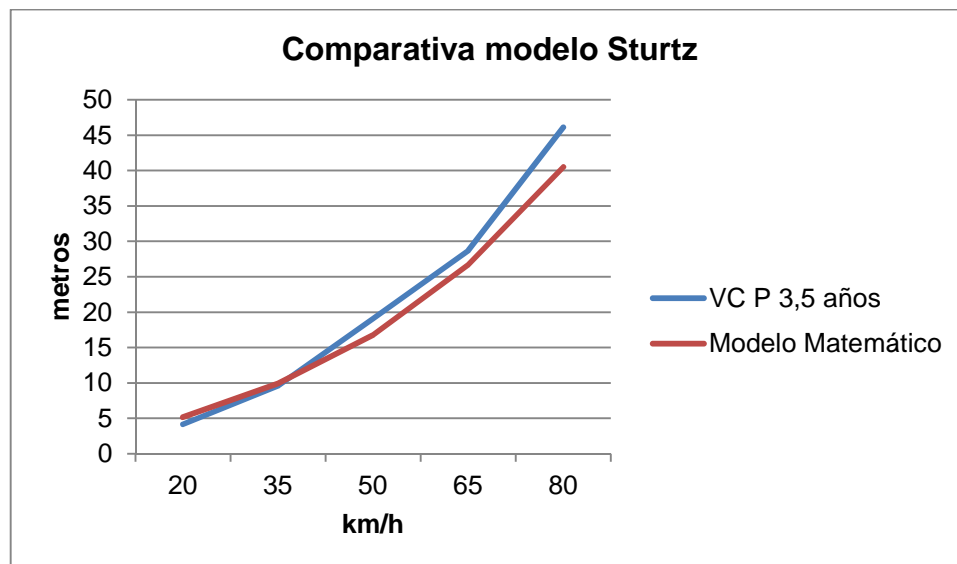


Figura núm. 7-193. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

La gráfica nos muestra una gran coincidencia entre los datos aportados tanto por el programa informático como por el modelo matemático.

√ Geometrías.

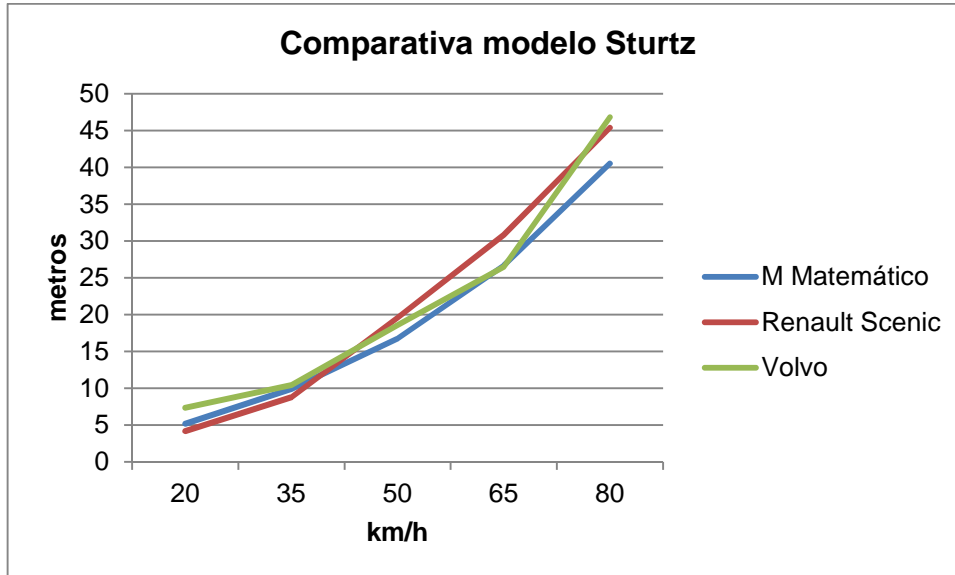


Figura núm. 7-194. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las dos geometrías utilizadas mantienen unos resultados parejos a los del modelo matemático, para todas las velocidades de atropello empleadas.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

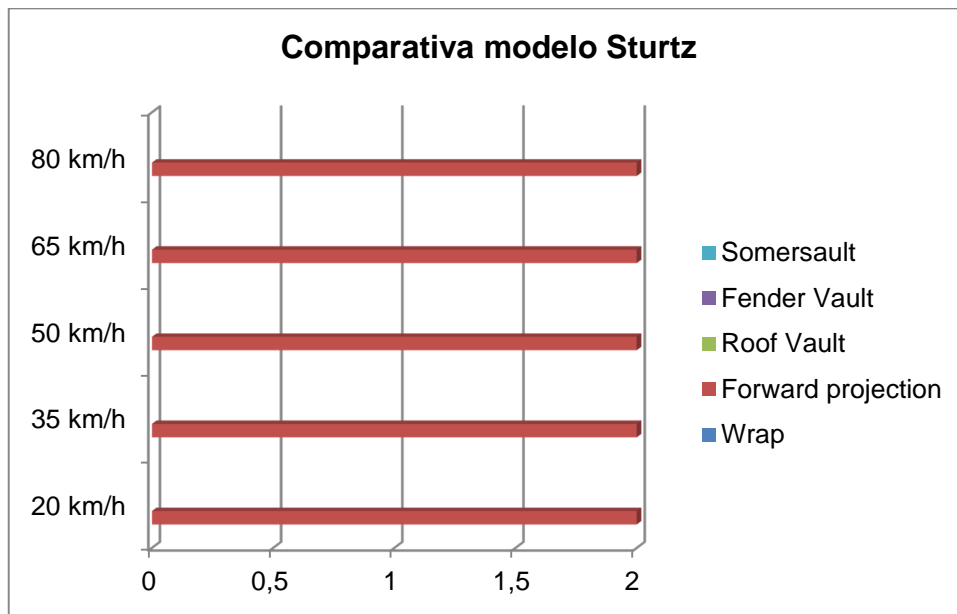


Figura núm. 7-195. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal alto, según el modelo de Sturtz.

La única trayectoria existente en todas las simulaciones es la trayectoria Forward Projection.

### 7.2.2.6. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,85$ . Frontal alto

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,22 m	5,17 m	22,51
35 km/h	10,48 m	9,91 m	5,44
50 km/h	14,17 m	16,76 m	18,28
65 km/h	27,80 m	26,66 m	4,10
80 km/h	31,57 m	40,52 m	28,35

Tabla núm. 7-109. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto.

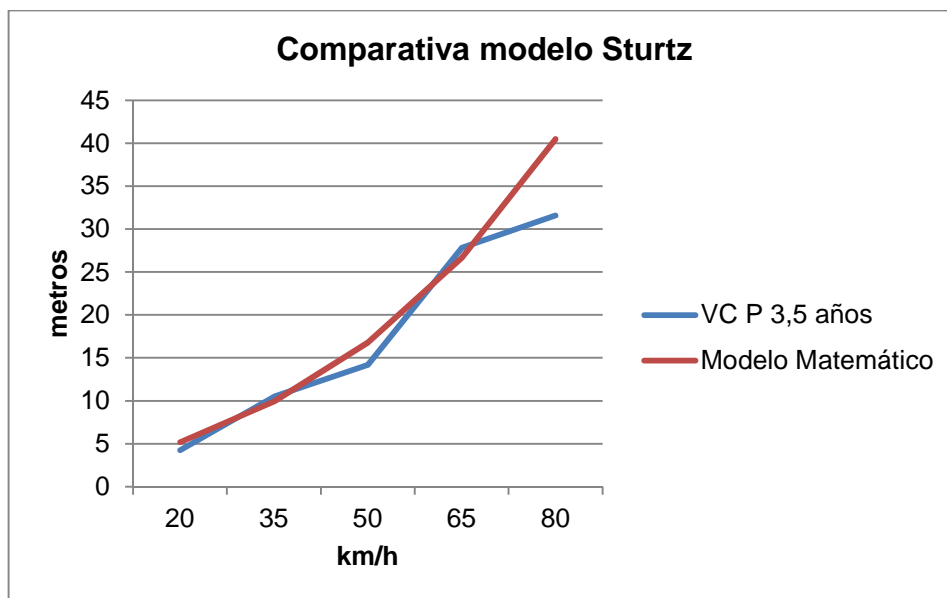


Figura núm. 7-196. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los valores obtenidos con el programa informático se hallan, en general, muy próximos a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

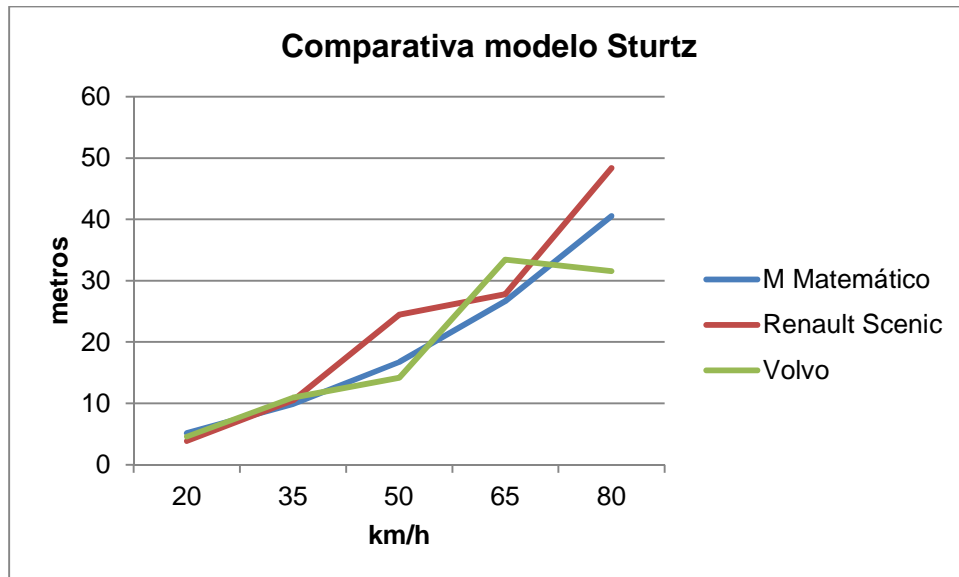


Figura núm. 7-197. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las dos geometrías utilizadas mantienen unos resultados prácticamente iguales a velocidades de 20 y 35 km/h; a velocidades superiores, existen divergencias significativas para la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) a velocidades de atropello de 50 km/h y para la geometría Pontoon shape (Volvo 460 1.8) a velocidades de 65 y 80 km/h.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

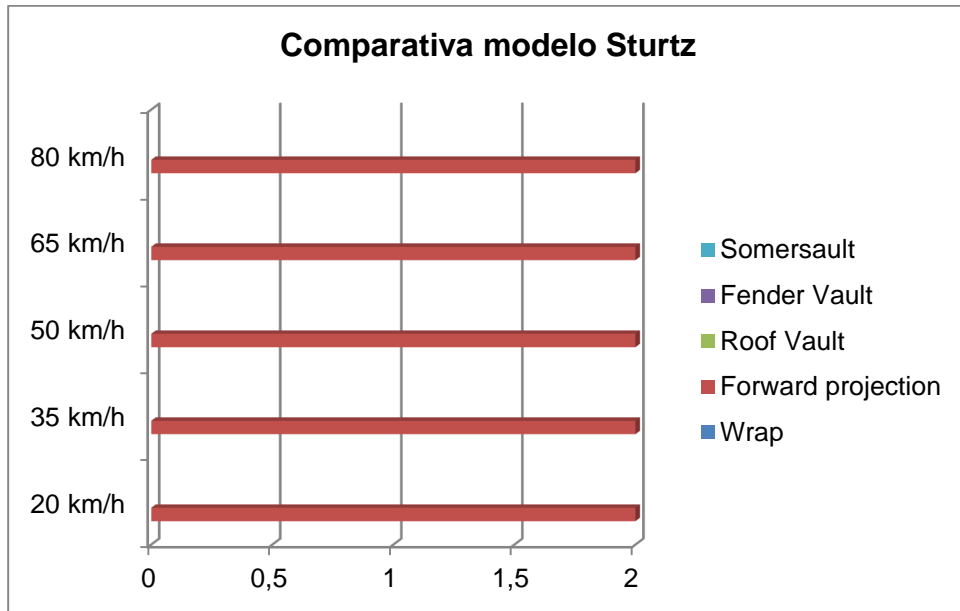


Figura núm. 7-198. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal alto, según el modelo de Sturtz.

La única trayectoria existente en todas las simulaciones, al igual que en los apartados anteriores, es la trayectoria Forward Projection.



### 7.2.2.7. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,45$ . Frontal bajo

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	8,32 m	7,05 m	15,26
35 km/h	17,00 m	20,58 m	21,06
50 km/h	32,98 m	48,72 m	47,73
65 km/h	43,22 m	97,91 m	126,54
80 km/h	57,14 m	174,4 m	205,22

Tabla núm. 7-110. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo.

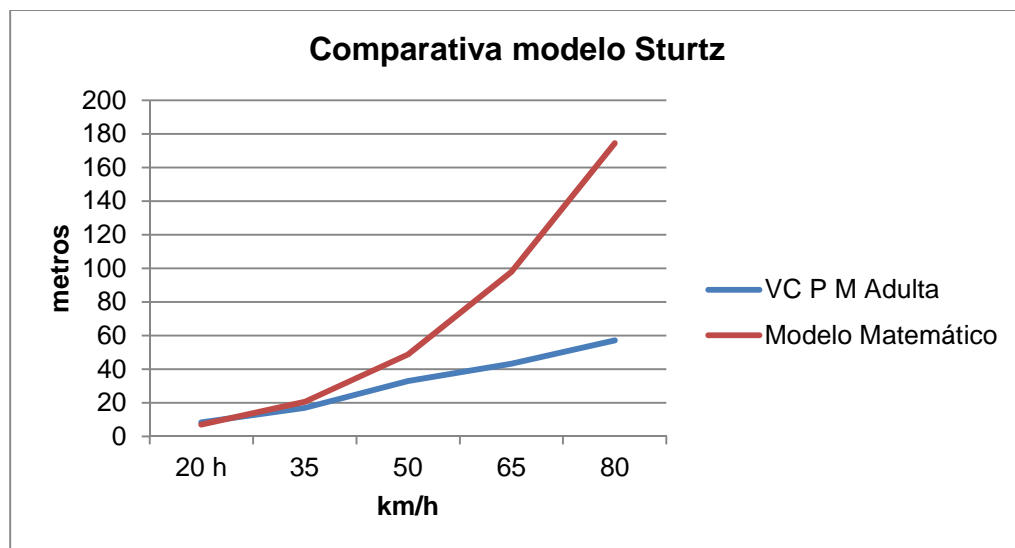


Figura núm. 7-199. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los datos aportados por el programa muestran resultados inferiores a los obtenidos con el modelo matemático, hallándose más próximos a velocidades bajas (20-35 km/h), si bien el modelo matemático, como se indicó durante su estudio, se estima que a velocidades altas no está bien desarrollado.

√ Geometrías.

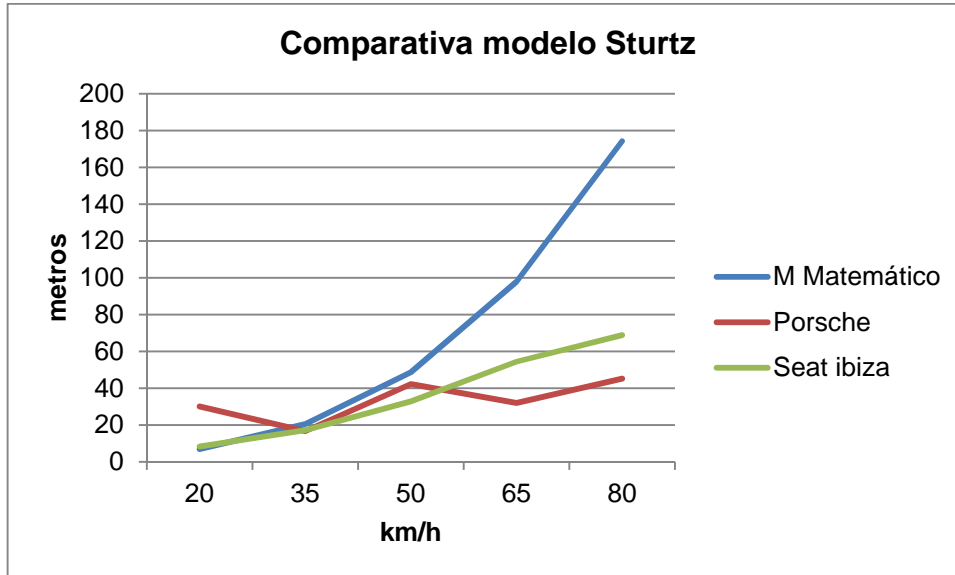


Figura núm. 7-200. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las dos geometrías utilizadas mantienen una tendencia similar entre ellas y pareja a la del modelo matemático hasta la velocidad de atropello de 50 km/h. A partir de dicha velocidad, el modelo matemático tiene una tendencia no acorde con resultados reales.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

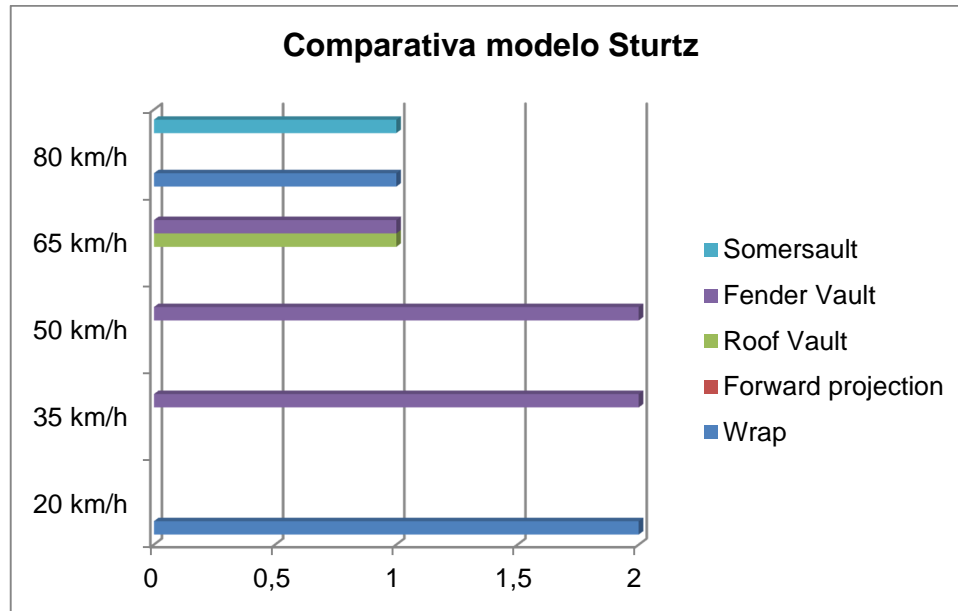


Figura núm. 7-201. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo, según el modelo de Sturtz.

Según lo expuesto gráficamente, predomina la trayectoria de volteo Fender Vault, frente al resto de trayectorias.

### 7.2.2.8. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,65$ . Frontal bajo

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,27 m	7,05 m	3,03
35 km/h	14,55 m	20,58 m	41,44
50 km/h	26,02 m	48,72 m	87,24
65 km/h	36,45 m	97,91 m	168,61
80 km/h	44,32 m	174,4 m	293,50

Tabla núm. 7-111. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo.

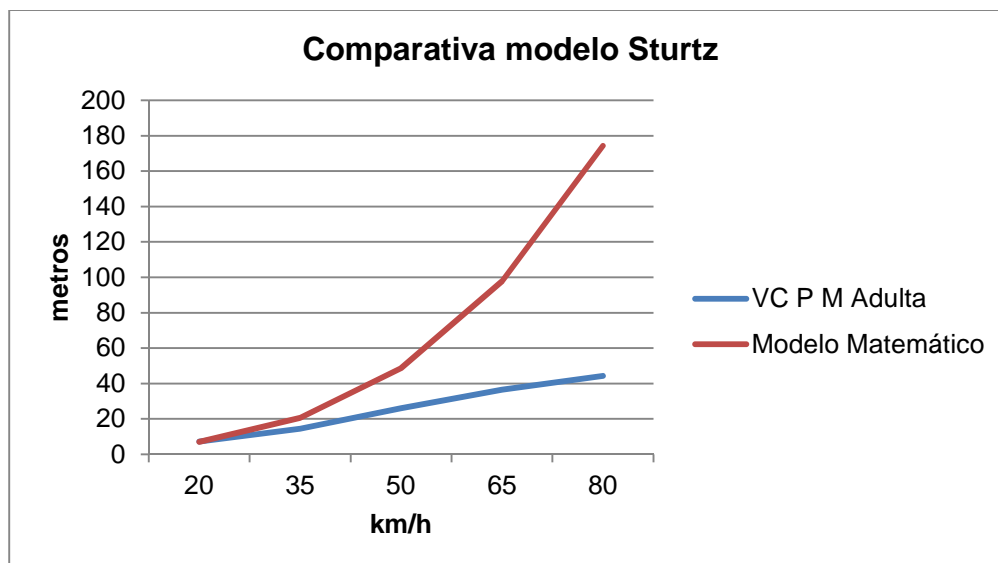


Figura núm. 7-202. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas  $\mu = 0,65$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los datos obtenidos en cuanto a distancias de proyección indican que los valores obtenidos con el programa Virtual Crash se hallan por debajo de los obtenidos con el modelo matemático, con resultados más próximos a velocidades bajas (20- 35 km/h).

√ Geometrías.

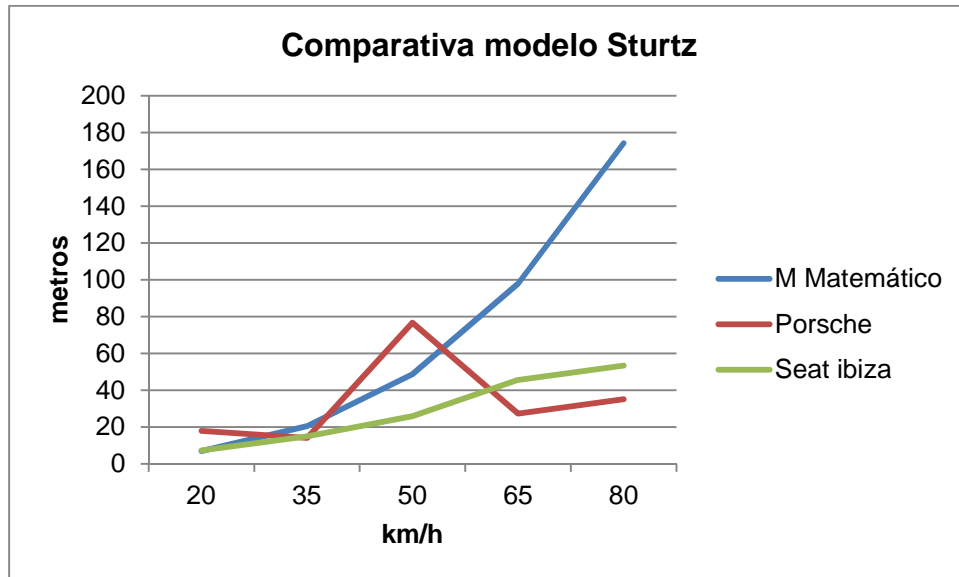


Figura núm. 7-203. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las dos geometrías utilizadas mantienen una tendencia similar entre ellas, salvo la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) que sufre una anomalía en la simulación a la velocidad de 50 km/h. Igual que en el caso anterior, a velocidades superiores a 50 km/h, el modelo matemático no sigue una tendencia real en cuanto a resultados.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

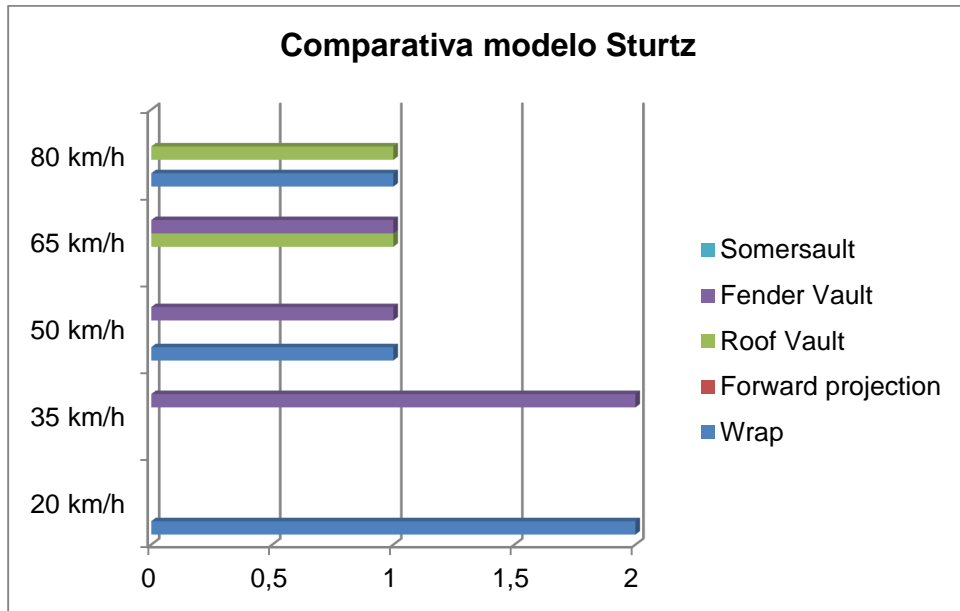


Figura núm. 7-204. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo, según el modelo de Sturtz.

Las dos trayectorias más comunes son Wrap y Fender Vault, siendo testimonial la presencia de otras trayectorias.

### 7.2.2.9. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,85$ . Frontal bajo

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	11,10 m	7,05 m	36,49
35 km/h	13,91 m	20,58 m	47,95
50 km/h	24,88 m	48,72 m	95,82
65 km/h	32,90 m	97,91 m	197,60
80 km/h	45,20 m	174,4 m	285,84

Tabla núm. 7-112. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo.

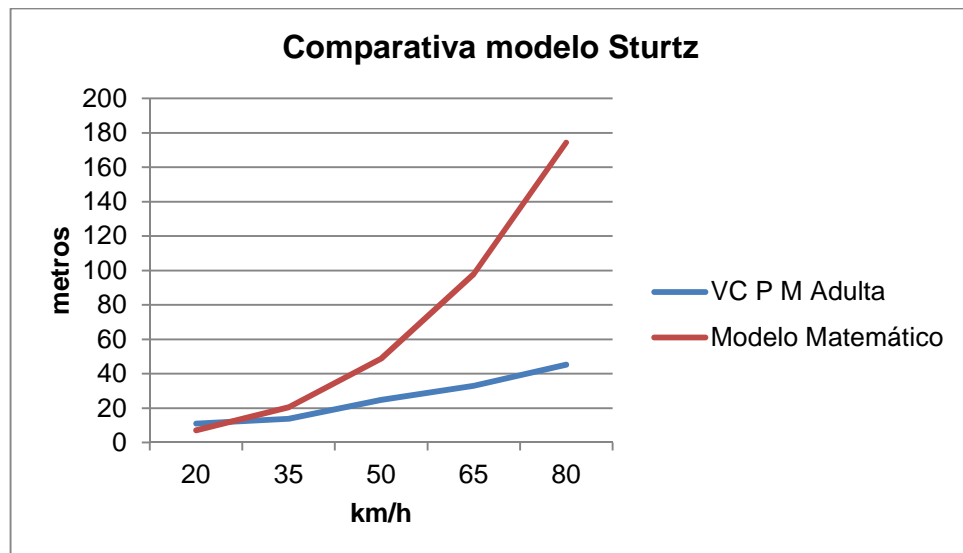


Figura núm. 7-205. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Como se aprecia gráficamente, los datos obtenidos con el programa Virtual Crash se encuentran por debajo de los obtenidos con el modelo matemático prácticamente en todas las simulaciones.

√ Geometrías.

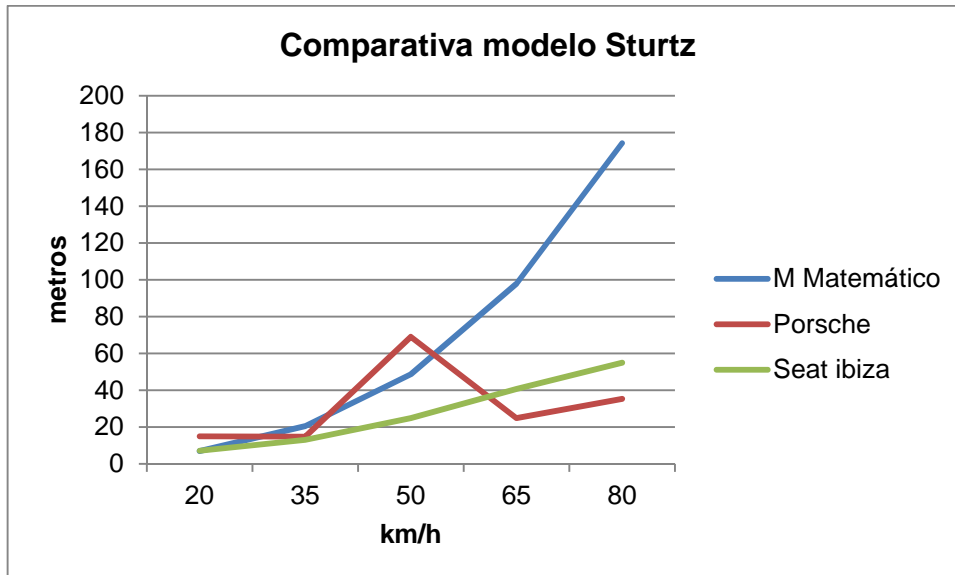


Figura núm. 7-206. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las dos geometrías utilizadas mantienen una tendencia similar entre ellas, salvo por la anomalía sufrida a velocidad de 50 km/h por la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera). Para velocidades de 65 y 80 km/h, el modelo matemático no sigue una tendencia real.



√ Tipos de trayectoria post-impacto.

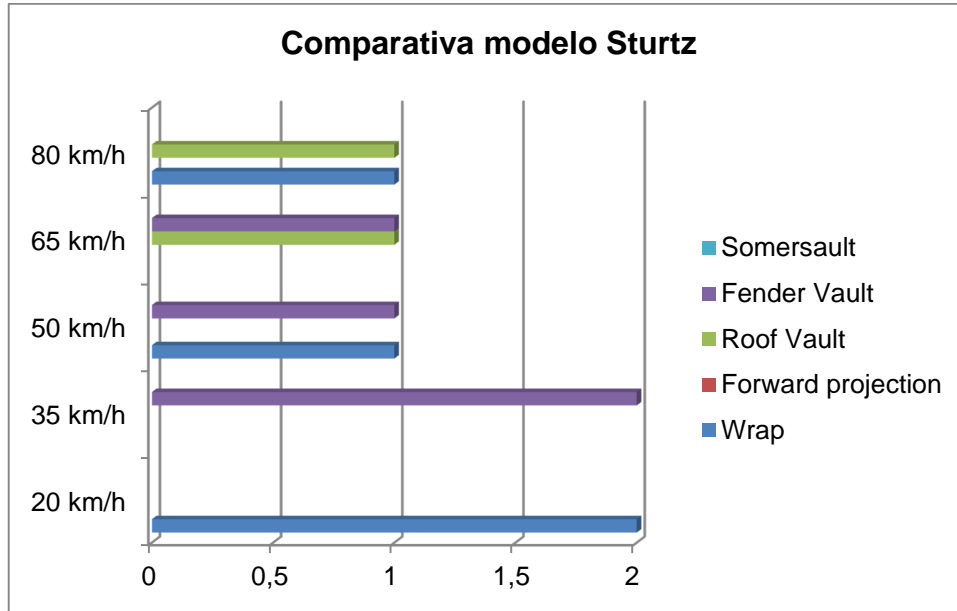


Figura núm. 7-207. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo, según el modelo de Sturtz.

Las dos trayectorias más comunes son Wrap y Fender Vault, siendo testimonial la presencia de la trayectoria Roof Vault.

### 7.2.2.10. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,45$ . Frontal bajo

Se muestran los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, tras la realización de las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,65 m	2,64 m	60,30
35 km/h	14,19 m	6,88 m	51,52
50 km/h	34,23 m	13,41 m	60,82
65 km/h	48,26 m	22,26 m	53,87
80 km/h	61,39 m	33,43 m	45,54

Tabla núm. 7-113. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo.

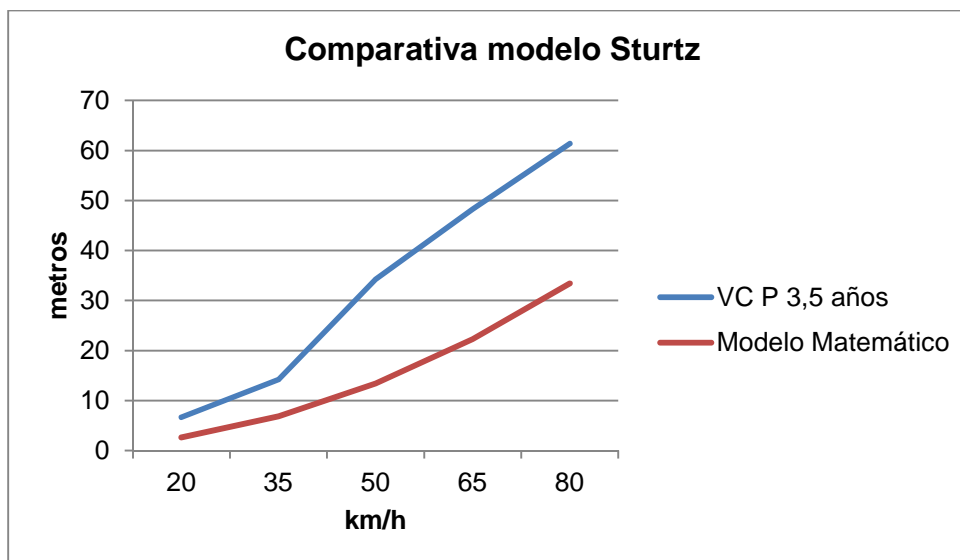


Figura núm. 7-208. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Como se muestra con los datos expuestos, los valores obtenidos con el programa Virtual Crash son muy superiores a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

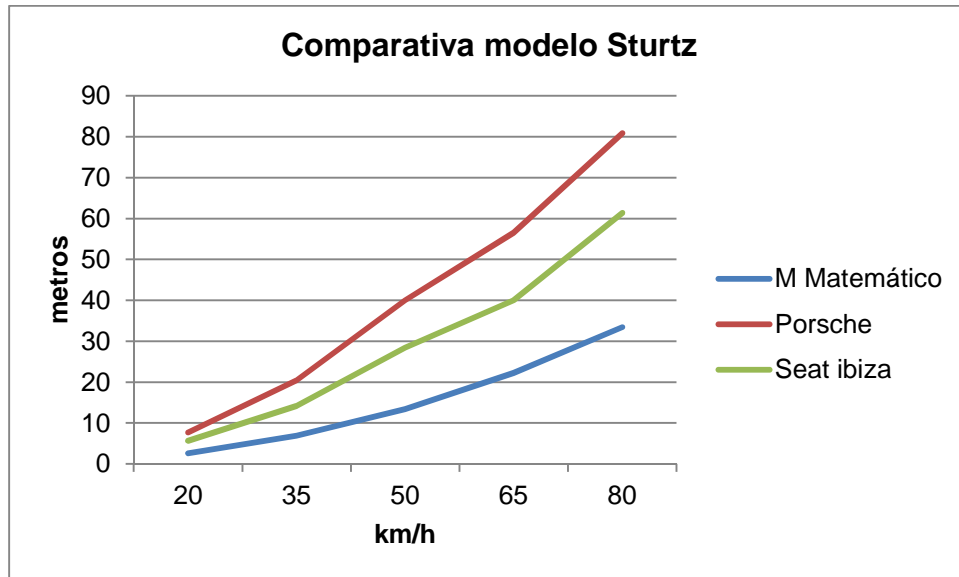


Figura núm. 7-209. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las dos geometrías utilizadas mantienen una tendencia lineal, con resultados superiores a los del modelo matemático, teniendo más influencia en relación a los resultados de distancia de proyección, la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) con respecto a la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0).

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

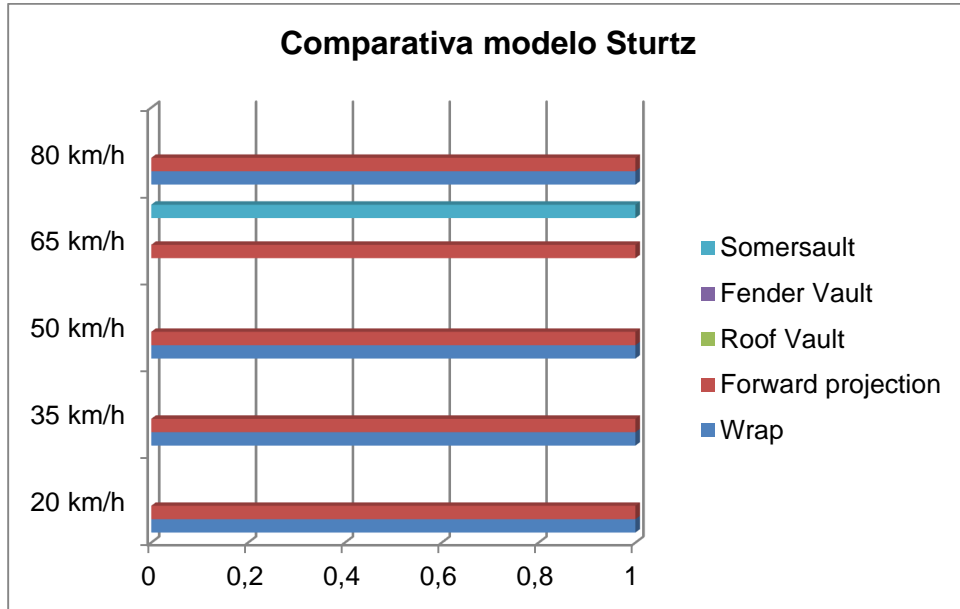


Figura núm. 7-210. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal bajo, según el modelo de Sturtz.

La trayectoria más común sería Forward Projection, junto con la trayectoria Wrap.

### 7.2.2.11. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,65$ . Frontal bajo

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,17 m	2,64 m	36,69
35 km/h	14,95 m	6,88 m	53,98
50 km/h	26,77 m	13,41 m	49,91
65 km/h	43,44 m	22,26 m	48,76
80 km/h	63,45 m	33,43 m	47,31

Tabla núm. 7-114. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo.

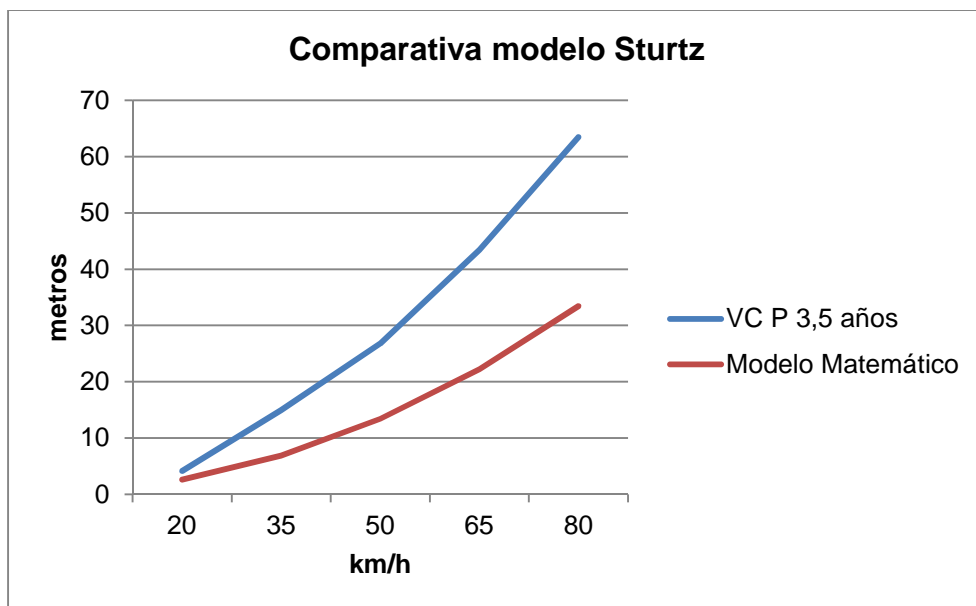


Figura núm. 7-211. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los resultados que se muestran ofrecen datos de distancias de proyección superiores para los atropellos simulados con el programa Virtual Crash que las distancias obtenidas con el modelo matemático.

√ Geometrías.

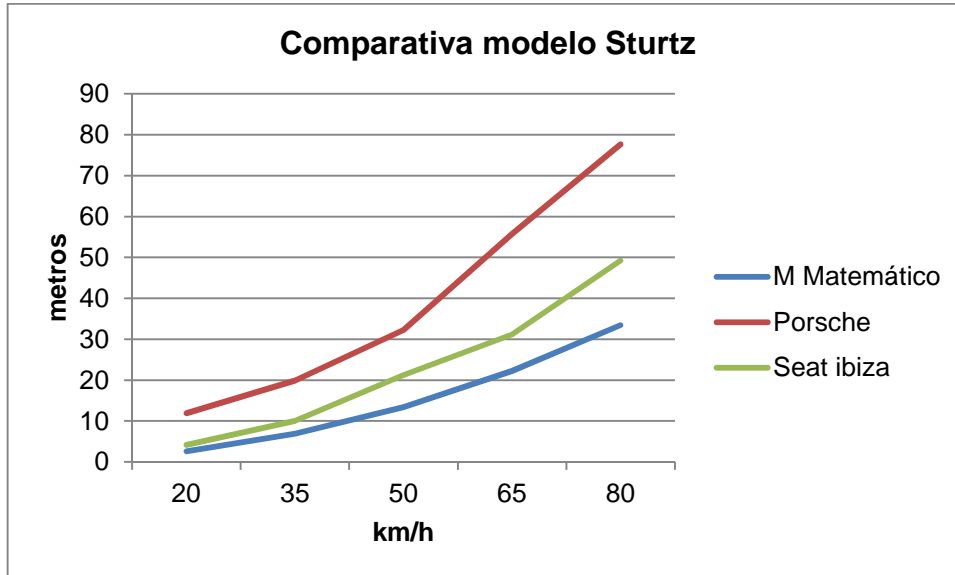


Figura núm. 7-212. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Aún mostrando resultados superiores en cuanto a distancias de proyección, la geometría Trapezoidal shape-elipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) ofrece resultados más similares a los del modelo matemático que la geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera), que tiene una mayor influencia respecto a esos resultados aumentando las distancias de proyección.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

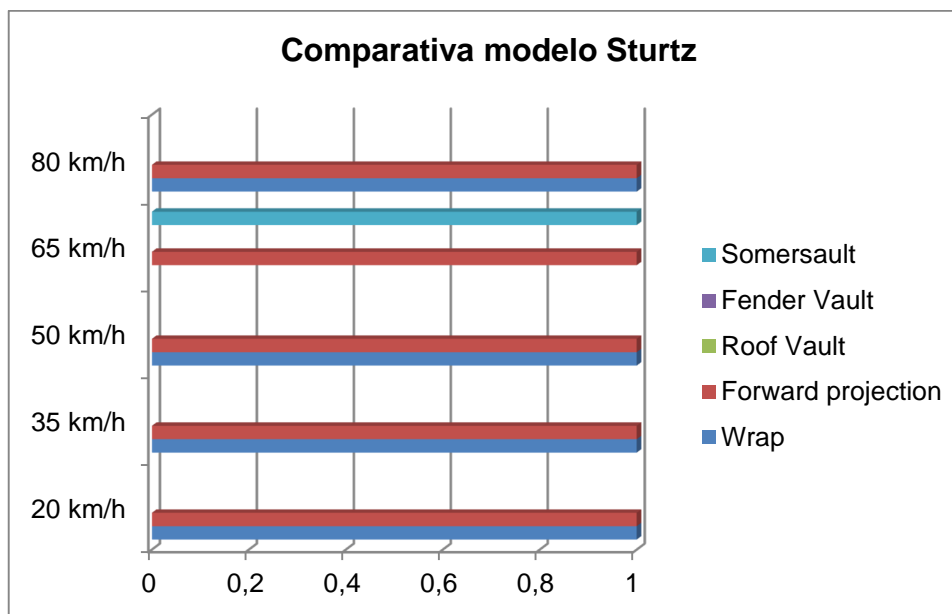


Figura núm. 7-213. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal bajo, según el modelo de Sturtz.

Al igual que en el apartado anterior, la trayectorias más comunes son Forward Projection y Wrap.

### 7.2.2.12. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,85$ . Frontal bajo

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,94 m	2,64 m	46,56
35 km/h	6,76 m	6,88 m	1,78
50 km/h	25,79 m	13,41 m	48,00
65 km/h	27,17 m	22,26 m	18,07
80 km/h	39,61 m	33,43 m	15,60

Tabla núm. 7-115. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo.

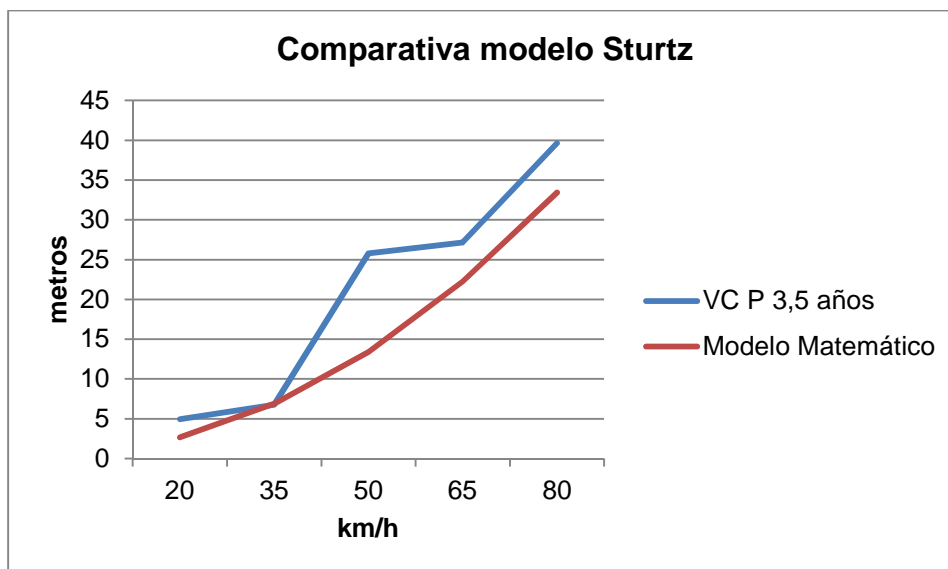


Figura núm. 7-214. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los datos aportados por el programa informático en cuanto a distancias de proyección están muy próximos a los del modelo matemático a velocidades de 35, 65 y 80 km/h.



√ Geometrías.

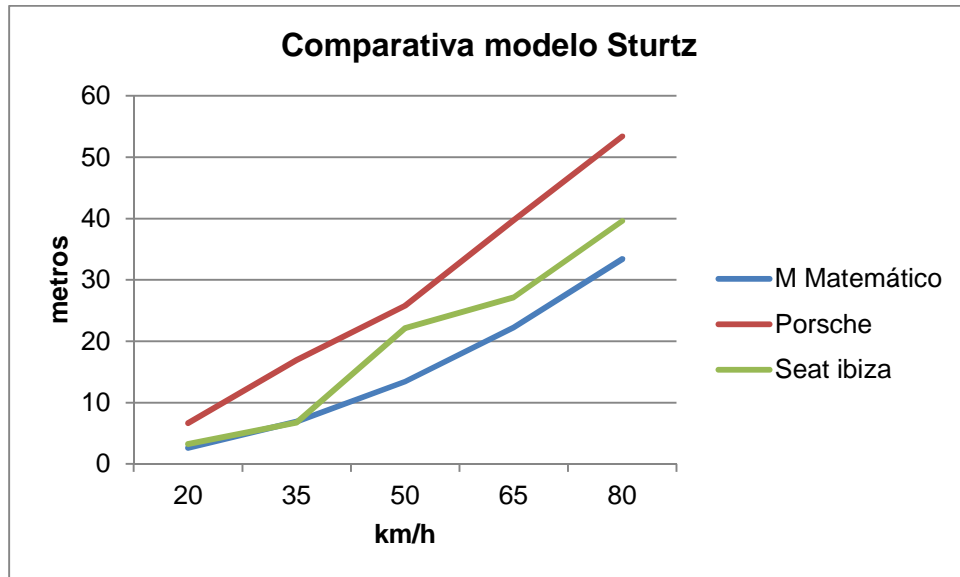


Figura núm. 7-215. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

La geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) ofrece resultados prácticamente iguales a los del modelo matemático a velocidades de 20 y 35 km/h, hallándose para el resto de velocidades próximos a dicho modelo. La geometría Wedge shape (Porsche 911 Carrera) muestra resultados bastante alejados tanto de la otra geometría vehicular como del modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

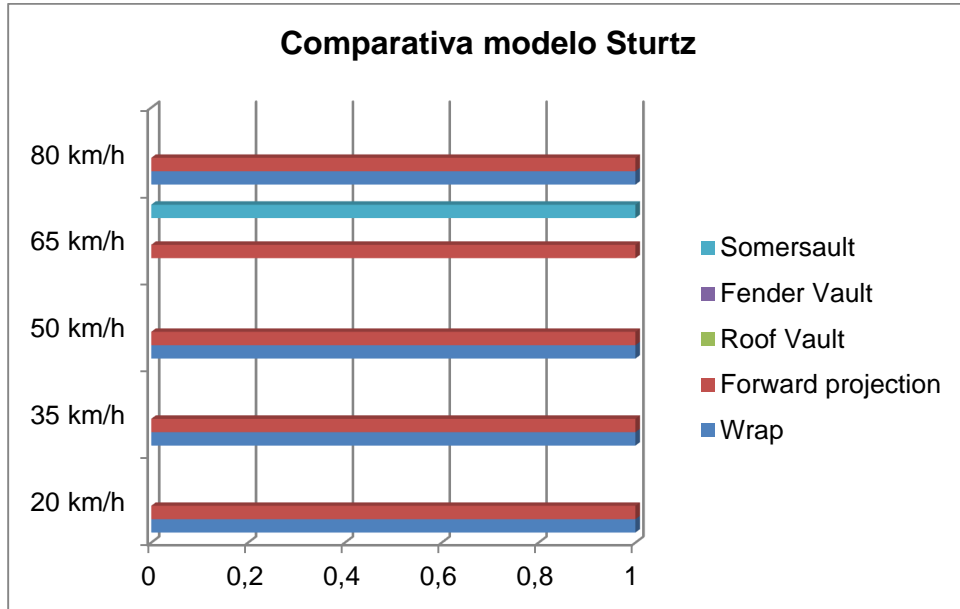


Figura núm. 7-216. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal bajo, según el modelo de Sturtz.

Las trayectorias más comunes son Forward Projection y Wrap.

### 7.2.2.13. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,45$ . Frontal tipo caja

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	7,44 m	5,32 m	28,49
35 km/h	17,69 m	8,57 m	51,55
50 km/h	30,77 m	11,81 m	61,62
65 km/h	60,82 m	15,06 m	75,24
80 km/h	67,55 m	18,30 m	72,91

Tabla núm. 7-116. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal tipo caja

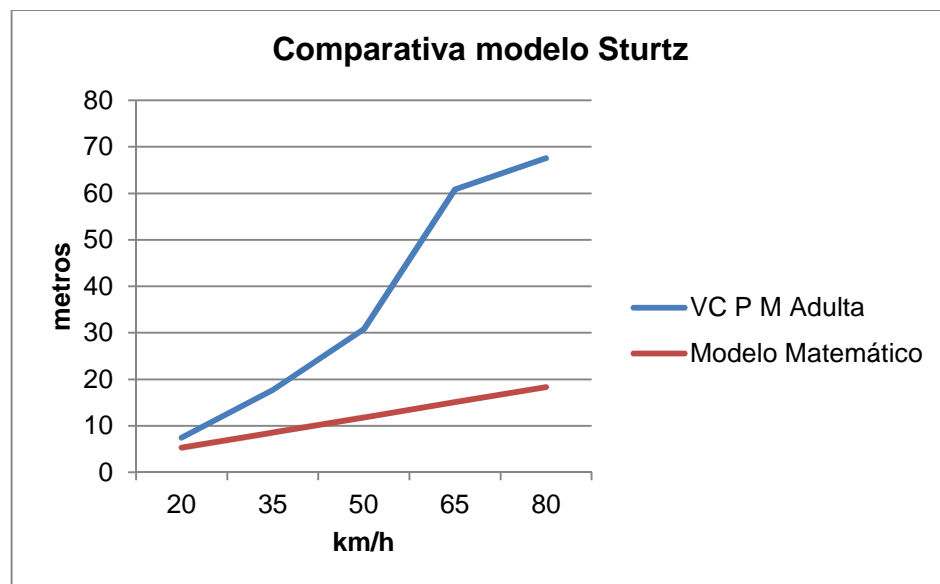


Figura núm. 7-217. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal tipo caja, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los datos aportados por el programa muestran resultados muy alejados de los obtenidos con el modelo matemático, salvo para velocidades de 20 km/h.

√ Geometrías.

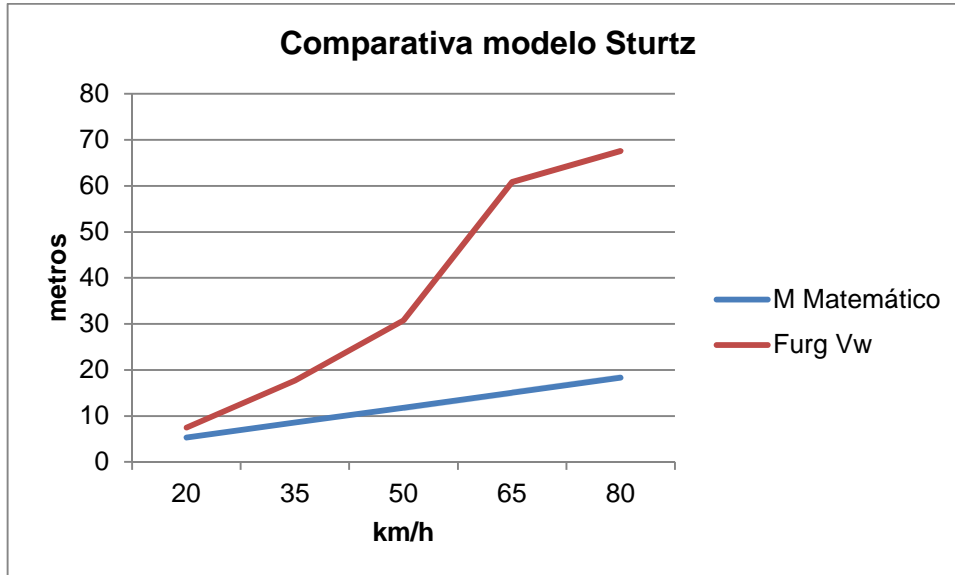


Figura núm. 7-218. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal tipo caja, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

La geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), salvo para velocidades de atropello de 20 km/h, ofrece unos resultados bastante distintos y superiores a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

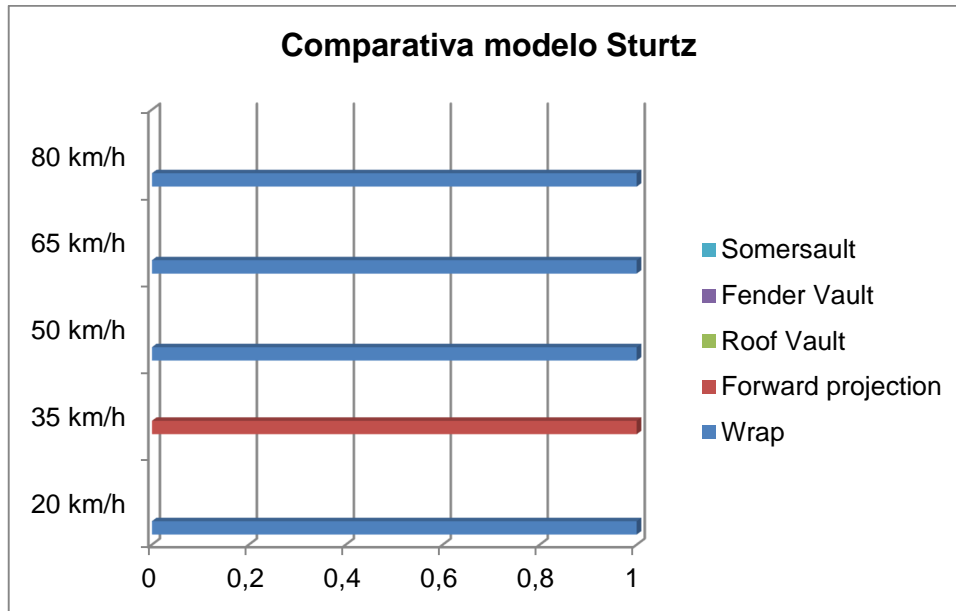


Figura núm. 7-219. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatonas mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal tipo caja, según el modelo de Sturtz.

Prácticamente la única trayectoria existente es Wrap, salvo para velocidad de atropello de 35 km/h que aparece la trayectoria Forward Projection.

### 7.2.2.14. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,65$ . Frontal tipo caja

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,29 m	5,32 m	15,42
35 km/h	11,37 m	8,57 m	24,63
50 km/h	23,92 m	11,81 m	50,63
65 km/h	51,30 m	15,06 m	70,64
80 km/h	51,29 m	18,30 m	64,32

Tabla núm. 7-117. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal tipo caja.

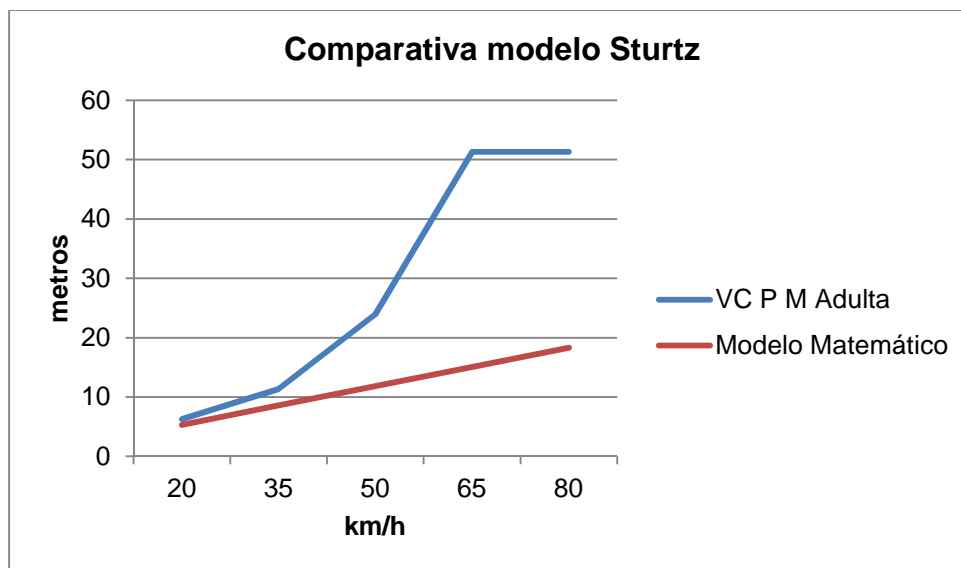


Figura núm. 7-220. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas  $\mu = 0,65$  Frontal tipo caja, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los datos obtenidos en cuanto a distancias de proyección, indican que a velocidades de atropello bajas (20-35 km/h) los resultados están bastante próximos; a partir de ahí existe gran diferencia.

√ Geometrías.

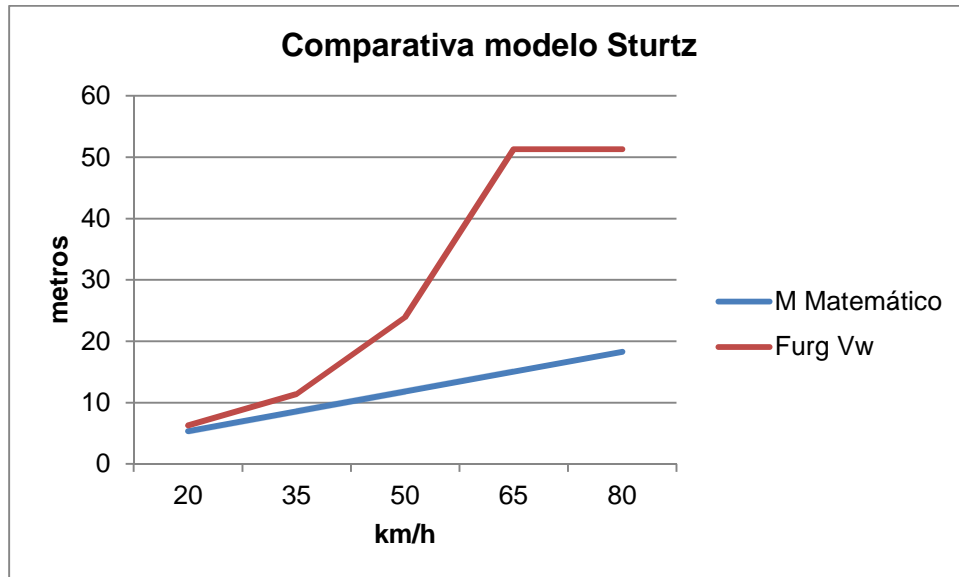


Figura núm. 7-221. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal tipo caja, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

La geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) únicamente ofrece resultados similares a los del modelo matemático a velocidades de atropello de 20 y 35 km/h.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

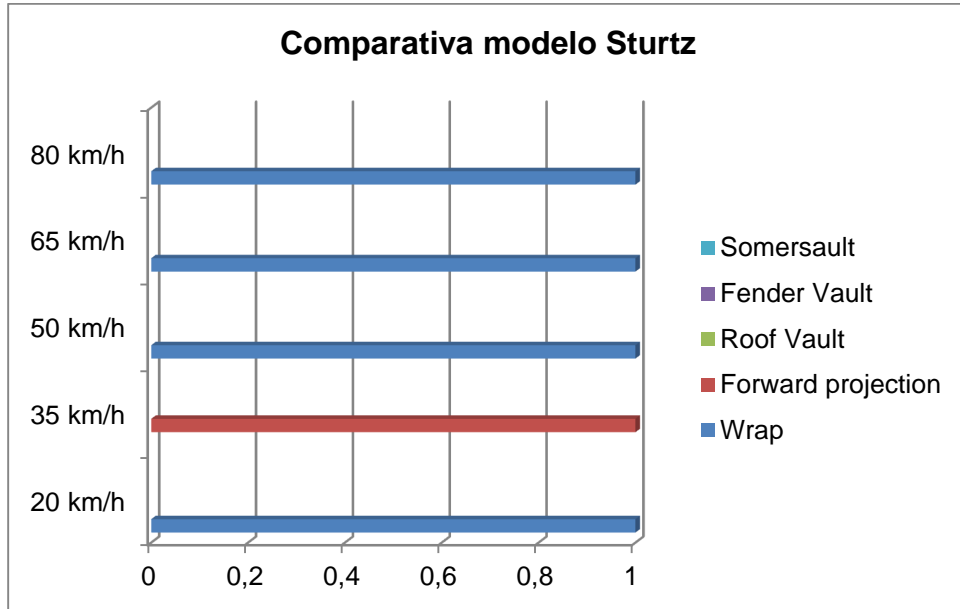


Figura núm. 7-222. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal tipo caja, según el modelo de Sturtz.

Salvo para velocidad de atropello de 35 km/h, la trayectoria más común es Wrap.



### 7.2.2.15. Peatón mujer adulta. $\mu = 0,85$ . Frontal tipo caja

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P M Adulta	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,71 m	5,32 m	20,72
35 km/h	9,99 m	8,57 m	14,21
50 km/h	25,97 m	11,81 m	54,52
65 km/h	42,23 m	15,06 m	64,34
80 km/h	43,05 m	18,30 m	57,49

Tabla núm. 7-118. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal tipo caja.

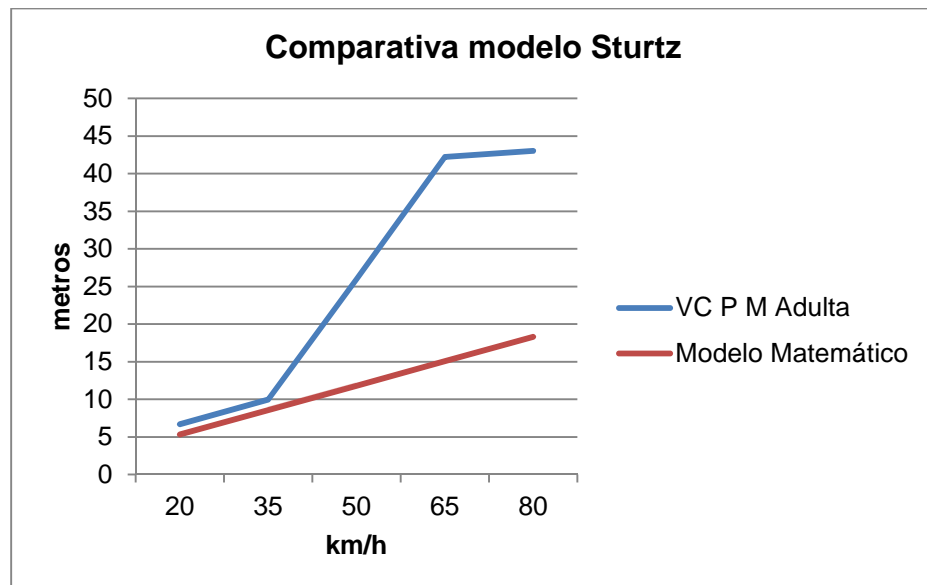


Figura núm. 7-223. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal tipo caja, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Como se aprecia gráficamente, los datos obtenidos con el programa Virtual Crash son superiores a los obtenidos con el modelo matemático, hallándose muy próximos a velocidades de 20-35 km/h.

√ Geometrías.

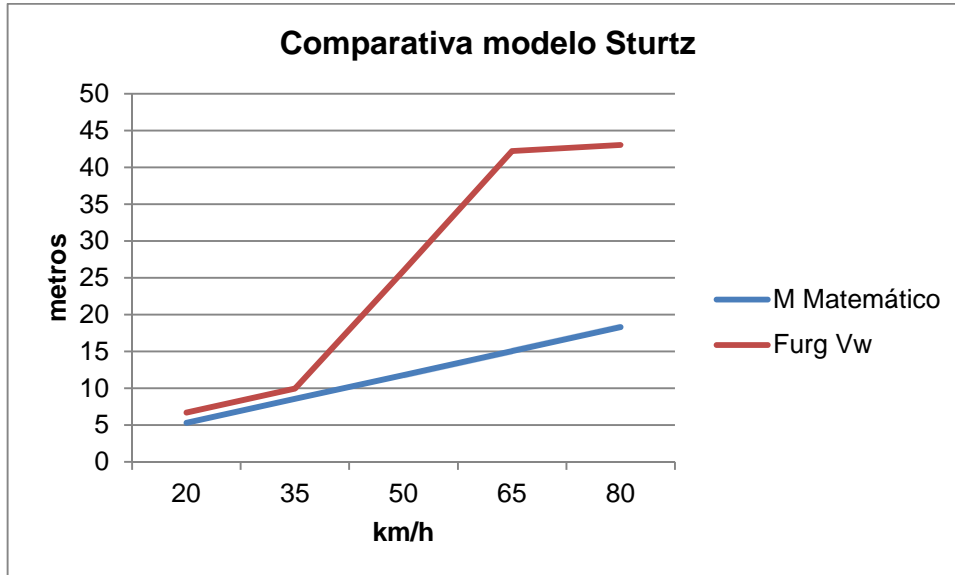


Figura núm. 7-224 Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal tipo caja, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

La geometría utilizada ofrece resultados similares a velocidades bajas (20-35 km/h) y muy superiores para el resto de velocidades de atropello.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

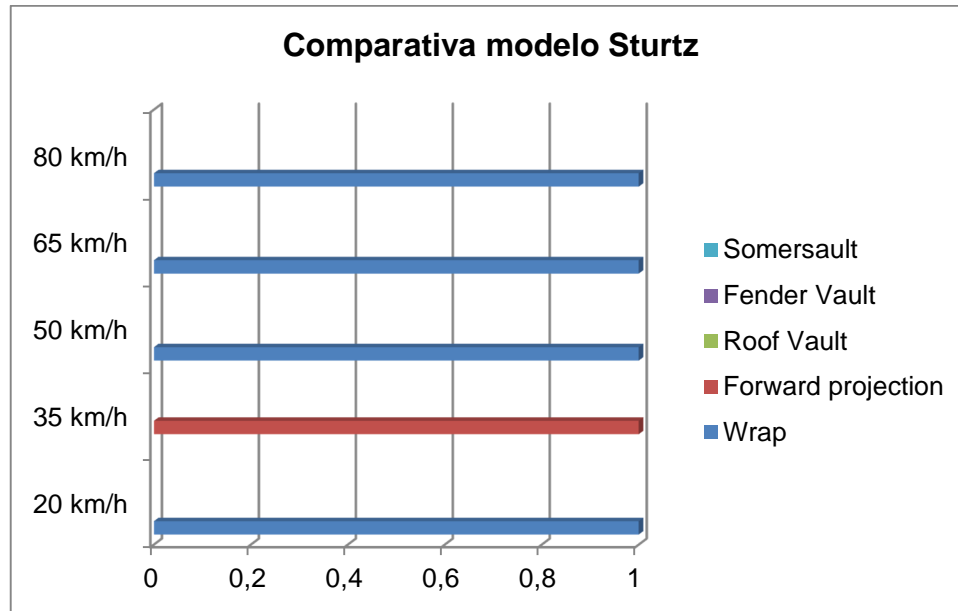


Figura núm. 7-225. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones mujeres adultas utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal tipo caja, según el modelo de Sturtz.

Al igual que en apartados anteriores, la trayectoria más común es Wrap, salvo para la velocidad de 35 km/h que la resultante es Forward Projection.

### 7.2.2.16. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,45$ . Frontal tipo caja

Se muestran los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, tras la realización de las simulaciones.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	5,06 m	4,92 m	2,77
35 km/h	13,3 m	8,17 m	38,57
50 km/h	25,3 m	11,41 m	54,90
65 km/h	44,53 m	14,66 m	67,08
80 km/h	63,07 m	17,90 m	71,62

Tabla núm. 7-119. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal tipo caja

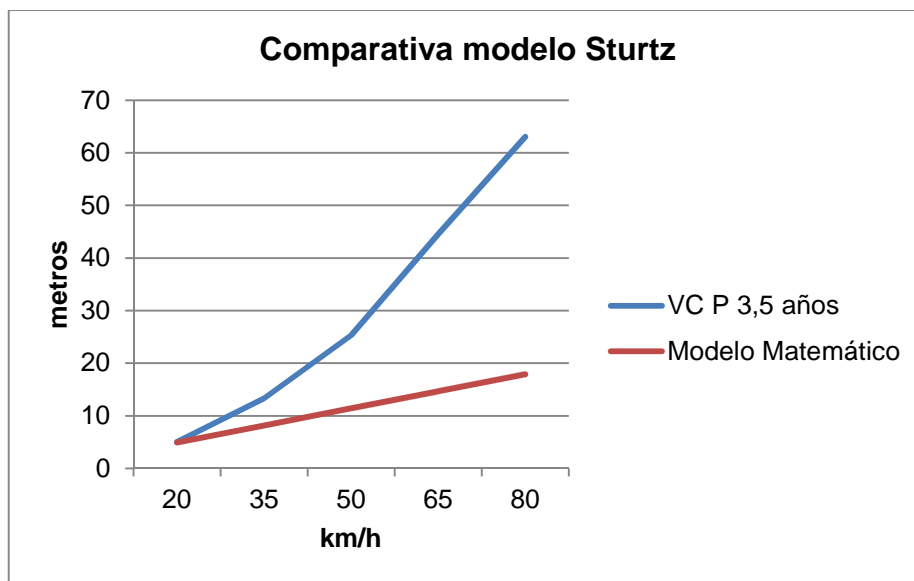


Figura núm. 7-226. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal tipo caja, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los valores obtenidos con el programa Virtual Crash son muy superiores a los obtenidos con el modelo matemático, salvo para velocidades de atropello de 20 km/h.

√ Geometrías.

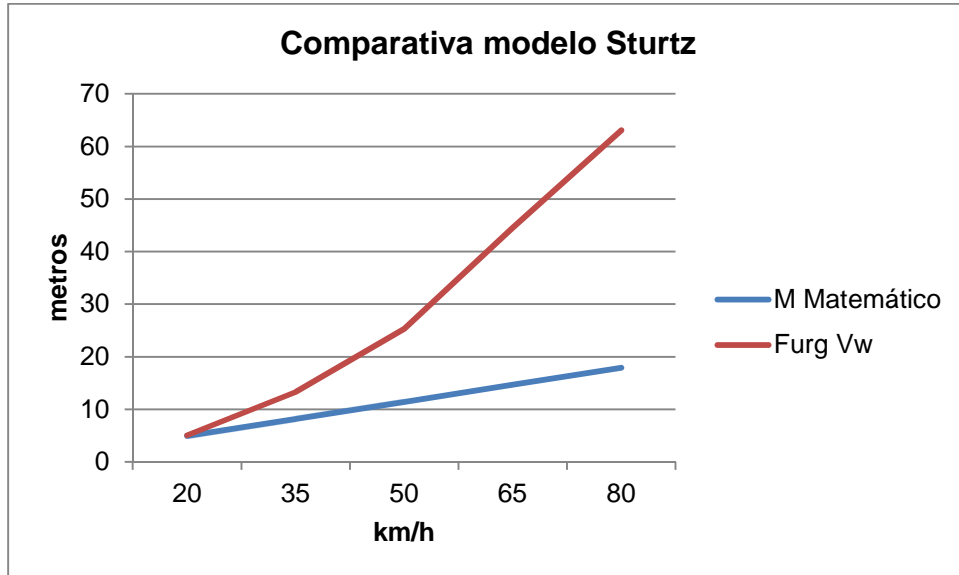


Figura núm. 7-227. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal tipo caja, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

Las geometría utilizada, Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3), ofrece resultados muy superiores a los del modelo matemático, salvo para la velocidad de atropello de 20 km/h que son coincidentes.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

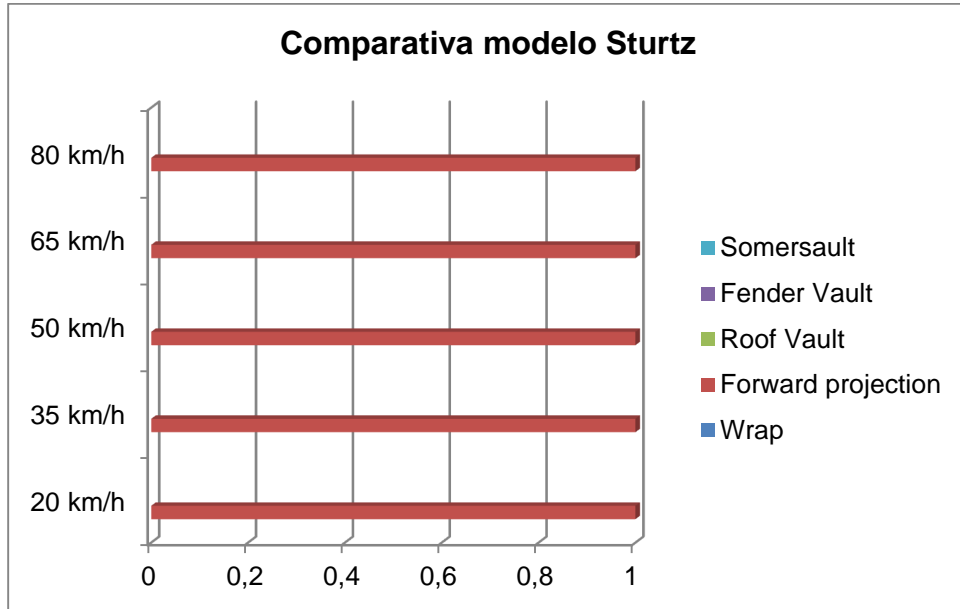


Figura núm. 7-228. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal tipo caja, según el modelo de Sturtz.

La única trayectoria presente en todos los atropellos es Forward Projection.

### 7.2.2.17. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,65$ . Frontal tipo caja

Se exponen los resultados y gráficos obtenidos tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,66 m	4,92 m	34,43
35 km/h	9,58 m	8,17 m	14,72
50 km/h	20,13 m	11,41 m	43,32
65 km/h	32,24 m	14,66 m	54,53
80 km/h	44,34 m	17,90 m	59,63

Tabla núm. 7-120. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal tipo caja.

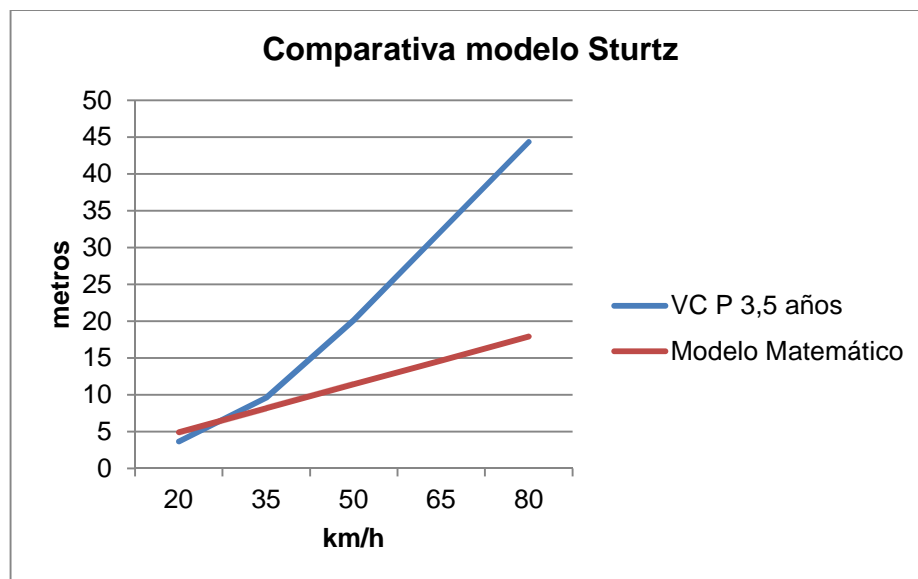


Figura núm. 7-229. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal tipo caja, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los resultados obtenidos para simulaciones realizadas con velocidades de atropello de 20 y 35 km/h son muy similares a los obtenidos con el modelo matemático.

√ Geometrías.

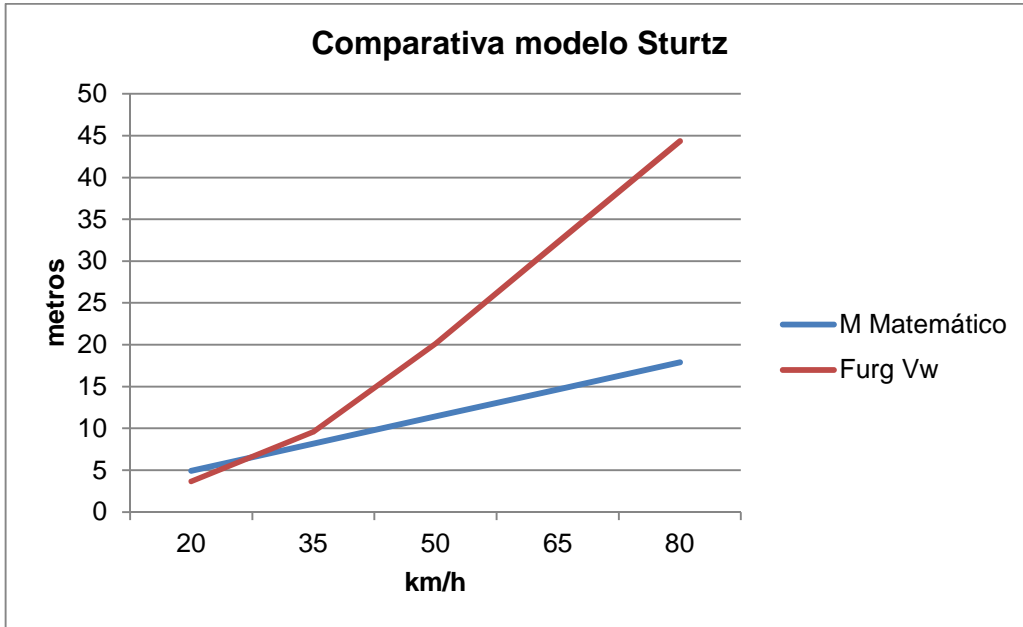


Figura núm. 7-230. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,65$  Frontal tipo caja, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

A velocidades de 20 y 35 km/h, la geometría utilizada ofrece resultados similares a los del modelo matemático. A partir de dicha velocidad los resultados son muy superiores.



√ Tipos de trayectoria post-impacto.

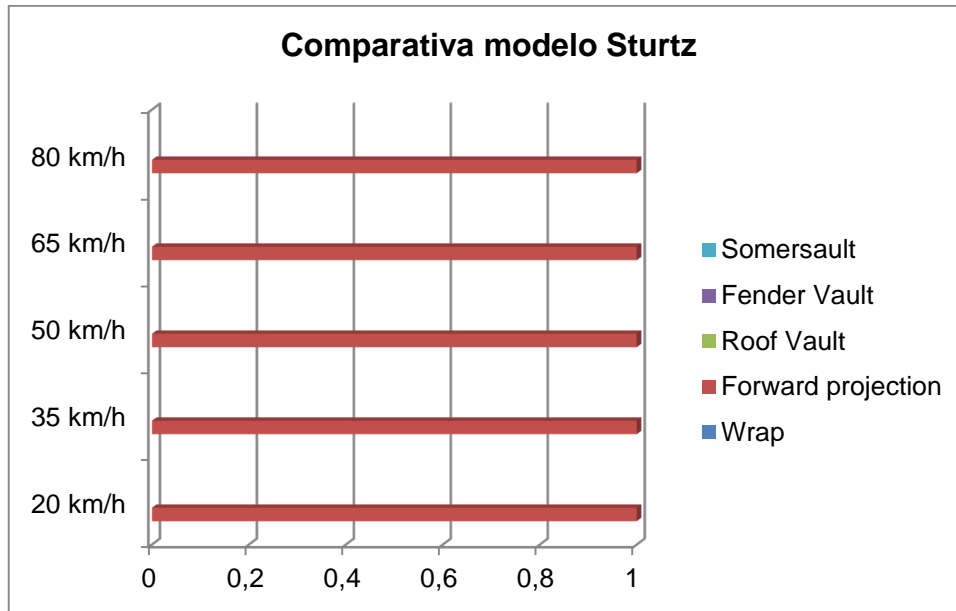


Figura núm. 7-231. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,45$  Frontal tipo caja, según el modelo de Sturtz.

La trayectoria Forward Projection está presente en todos los atropellos.

### 7.2.2.18. Peatón 3 años y 6 meses. $\mu = 0,85$ . Frontal tipo caja

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	3,39 m	4,92 m	45,13
35 km/h	8,75 m	8,17 m	6,63
50 km/h	16,24 m	11,41 m	29,74
65 km/h	28,28 m	14,66 m	48,16
80 km/h	37,46 m	17,90 m	52,22

Tabla núm. 7-121. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Sturtz para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal tipo caja.

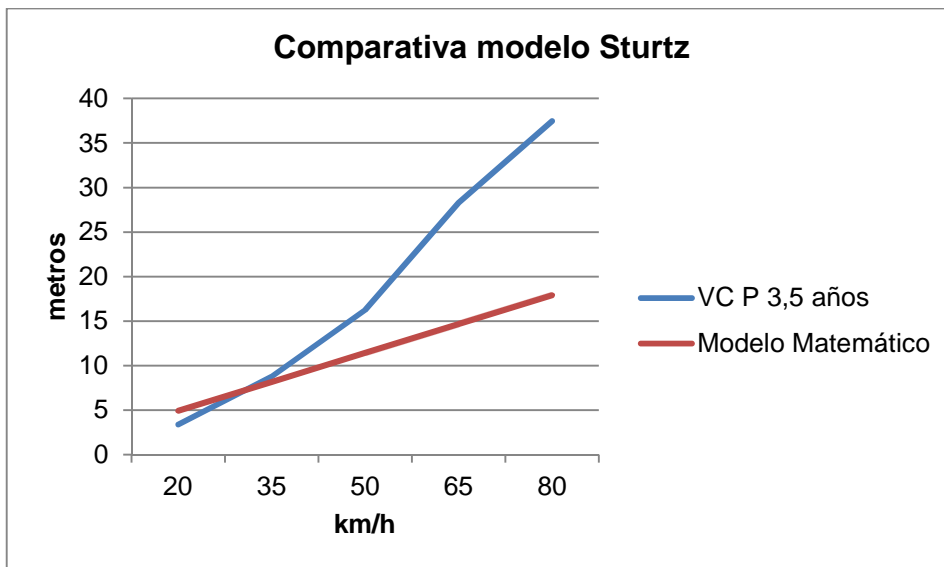


Figura núm. 7-232. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal tipo caja, comparando los datos del modelo físico-matemático de Sturtz y del programa Virtual Crash.

Los datos aportados por el programa informático en cuanto a distancias de proyección están muy próximos a los del modelo matemático a velocidades de 35 y 50 km/h.

√ Geometrías.

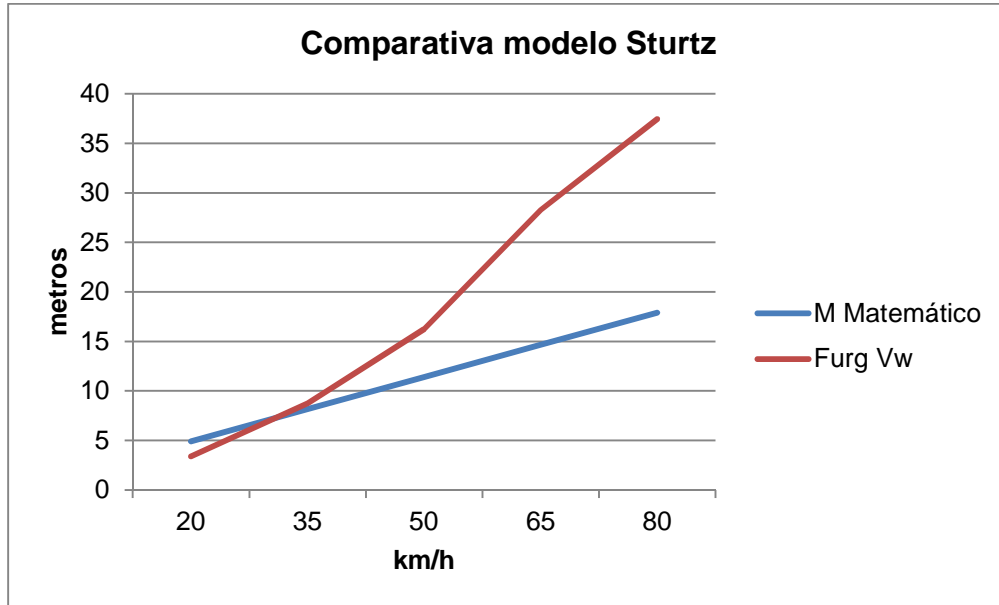


Figura núm. 7-233. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de los vehículos con las que se han obtenido para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal tipo caja, tomando como referencia los datos del modelo físico-matemático de Sturtz.

La geometría Box shape (Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3) ofrece resultados parecidos a los del modelo matemático a velocidades de 20 y 35 km/h, pero sin embargo, a velocidades superiores los resultados ofrecidos son bastantes superiores a los de dicho modelo.

√ Tipos de trayectoria post-impacto.

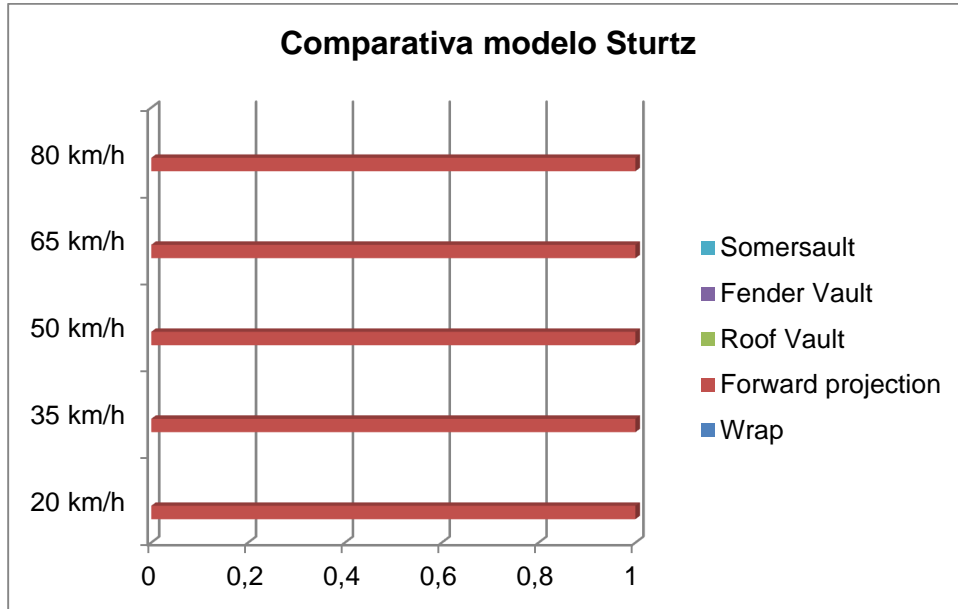


Figura núm. 7-234. Gráfico en el que se muestran los distintos tipos de trayectoria post-impacto en función de las velocidades a las que han sido producidas para peatones de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,85$  Frontal tipo caja, según el modelo de Sturtz.

La trayectoria Forward Projection es la única presente en todas las simulaciones.

#### 7.2.2.19. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Sturtz.

Del estudio realizado respecto a distancias de proyección, según los dos modelos de peatones utilizados en función de su edad, se concluye que para frontales altos los peatones mujeres obtienen en general un grado de fiabilidad bajo en función del error porcentual calculado, mientras que los peatones niños de 6 años obtienen un grado de fiabilidad medio. En cuanto a los resultados obtenidos con geometría de frontal bajo, las peatones mujeres obtienen un grado medio-bajo y los niños bajo. Para geometrías de vehículos tipo caja, tanto peatones mujeres como niños de 3 años y 6 meses obtienen un grado de fiabilidad medio-bajo.

Las geometrías utilizadas, por lo general, elevan los resultados con respecto al modelo matemático, no obstante, tanto la geometría Trapezoidal shape-steep bonnet (Renault Scenic 1.9 dCi) en atropellos a la peatón adulta, como la geometría Trapezoidal shape-ellipsoidal front (Seat Ibiza 1.0) para peatones niños, ofrecen resultados bastante aproximados a los del modelo matemático.

La trayectoria post-impacto más común para atropellos de peatones mujeres adultas es Wrap y Fender Vault, correspondiendo la trayectoria Forward Projection como la más usual para los atropellos de peatones niños.

Dado el resultado obtenido, el uso del modelo debería hacerse con muchas reservas en función de las siguientes circunstancias:

- Vehículo geometría Frontal alto: Peatones niños y velocidades estimadas superiores a 50 km/h.
- Vehículo geometría Frontal bajo: Peatones adultos y velocidades estimadas bajas (20-35 km/h).
- Vehículo geometría Frontal tipo caja: Sin distinción del tamaño del peatón y a velocidades estimadas bajas (20-35 km/h).

### 7.2.3. MODELO DE WOOD

En el modelo se hizo uso de una única variable para obtener la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello, obteniéndose los resultados que se indican:

√ Velocidades de atropello: 20, 35, 50, 65 y 80 km/h.

Velocidad / trayectoria	Forward projection	Wrap
20 km/h	3,6 m	3,62 m
35 km/h	9,19 m	8,22 m
50 km/h	17,27 m	15,74 m
65 km/h	27,91 m	26,30 m
80 km/h	41,09 m	40,02 m

Tabla núm. 7-122. Resultados de la distancia de proyección para peatones utilizando el modelo de Wood.

En este caso concreto, y dado que el modelo únicamente está destinado a atropellos en los que la trayectoria post-atropello sea Forward Projection o Wrap, se van a estudiar los datos obtenidos hasta ahora con el fin de encontrar resultados del resto de modelos que cumplan ese requisito y que en el transcurso del atropello no hayan sufrido ninguna anomalía.

Como resultado de ese estudio, se deben descartar los datos obtenidos con trayectoria post-atropello únicamente Wrap, dado que la muestra en relación al tipo de peatones que obtuvieron esa trayectoria sin ningún tipo de anomalía no es representativa, considerando además que el no contar con esos datos no influye en el resultado de la comparativa al ser los obtenidos por una u otra trayectoria similares.

Los datos obtenidos de diferentes modelos utilizando el programa Virtual Crash comprendieron las siguientes variables:

#### Variables comunes:

- Velocidades de atropello (20, 35, 50, 65 y 80 km/h).
- Coeficiente de rozamiento neumático-calzada, 0,75.
- Peatón dotado de velocidad (dependiendo de su edad (Eubanks et al, 2004)), postura caminando, atropellado a la altura del centro del vehículo y ofreciendo su costado izquierdo al mismo (90°).

#### Otras variables:

- Tipo de vehículo (1 tipo de vehículo, Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3).
- Coeficiente de rozamiento peatón-calzada, 0,8 - 0,9.
- Edad peatón (4 distintos, 1 hombre adulto, 1 niño de 10 años, 1 niño de 6 años y 1 niño de 3 años y 6 meses).

El análisis de la distancia de proyección vendrá determinado por los modelos que se ajustan a las variables citadas anteriormente, sin que haya existido ninguna anomalía en los resultados obtenidos; además se establecerá el error porcentual entre dichos resultados.

### 7.2.3.1. Peatón hombre adulto. $\mu = 0,9$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle.

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P H Adulto	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,08 m	3,60 m	40,79
35 km/h	12,68 m	9,19 m	27,52
50 km/h	22,26 m	17,27 m	22,42
65 km/h	37,42 m	27,91 m	25,41
80 km/h	47,22 m	41,09 m	12,98

Tabla núm. 7-123. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,9$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle

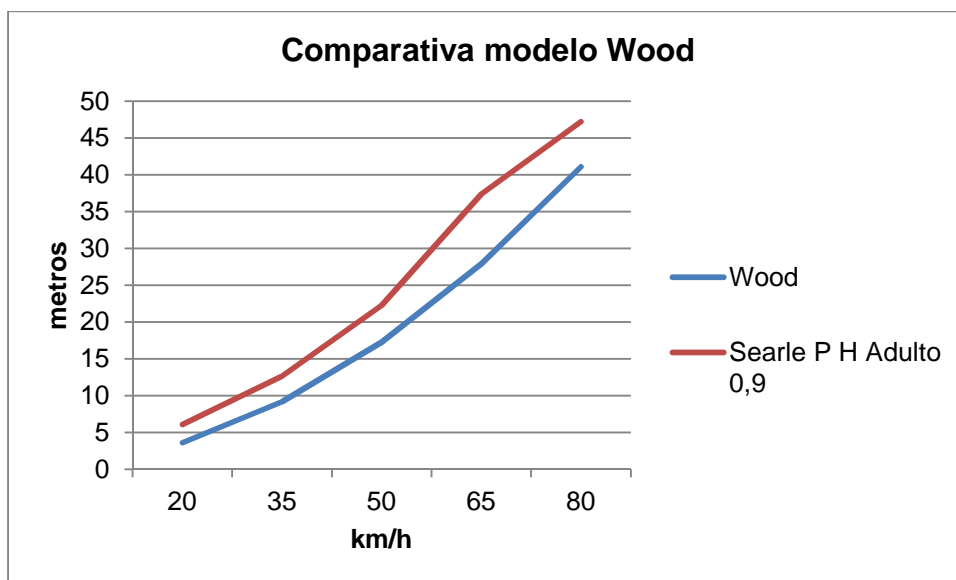


Figura núm. 7-235. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones hombres adultos utilizando  $\mu = 0,9$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle, comparando los datos del modelo físico-matemático de Wood v del programa Virtual Crash.

Los datos aportados por el programa muestran resultados superiores a los obtenidos con el modelo matemático.

### 7.2.3.2. Peatón niño 10 años. $\mu = 0,8$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins.

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,94 m	3,60 m	27,13
35 km/h	11,93 m	9,19 m	22,97
50 km/h	17,27 m	17,27 m	0,00
65 km/h	28,83 m	27,91 m	3,19
80 km/h	36,69 m	41,09 m	11,99

Tabla núm. 7-124. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones niños de 10 años utilizando  $\mu = 0,8$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins

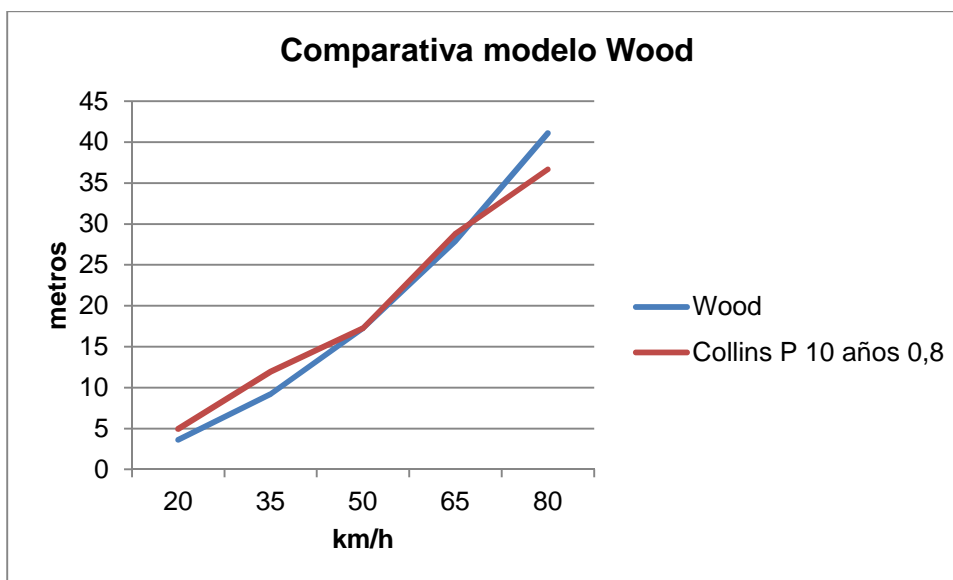


Figura núm. 7-236. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones niños de 10 años utilizando  $\mu = 0,8$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins, comparando los datos del modelo físico-matemático de Wood y del programa Virtual Crash.

Los resultados obtenidos con el programa informático son muy similares a los obtenidos con el modelo matemático.



### 7.2.3.3. Peatón niño 6 años. $\mu = 0,9$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle.

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 10 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	4,32 m	3,60 m	16,67
35 km/h	11,85 m	9,19 m	22,45
50 km/h	14,00 m	17,27 m	23,36
65 km/h	26,32 m	27,91 m	6,04
80 km/h	39,05 m	41,09 m	5,22

Tabla núm. 7-125. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones niños de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle.

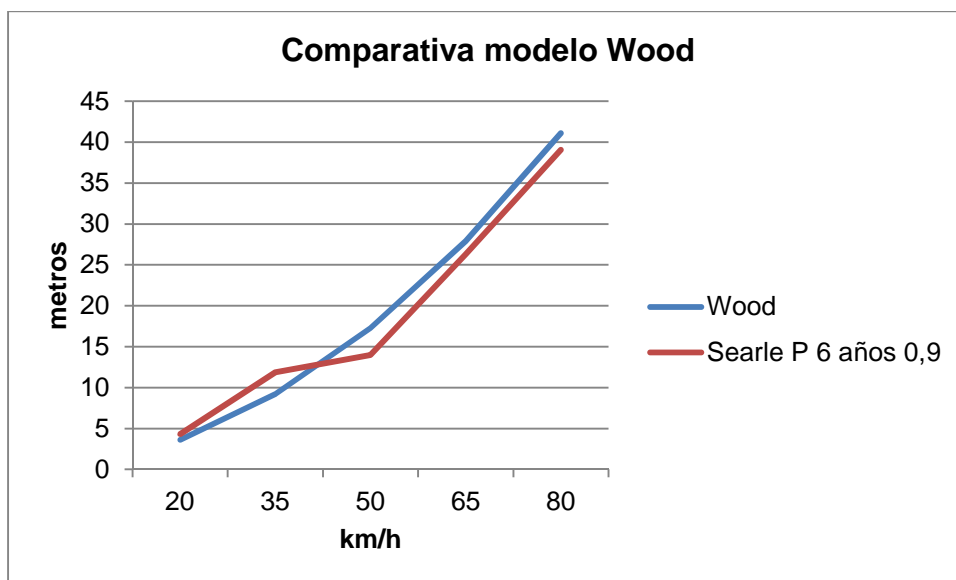


Figura núm. 7-237. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones niños de 6 años utilizando  $\mu = 0,9$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Searle, comparando los datos del modelo físico-matemático de Wood y del programa Virtual Crash.

Como en el caso anterior, el gráfico muestra mucha similitud entre los resultados obtenidos con el programa Virtual Crash y el modelo matemático.

### 7.2.3.4. Peatón niño 3 años y 6 meses. $\mu = 0,8$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins.

Los resultados y gráficos obtenidos con el programa Virtual Crash, una vez realizadas las simulaciones de los atropellos, son las que se muestran a continuación.

√ Distancias de proyección.

Velocidad	VC P 3,5 años	Modelo Matemático	Error porcentual
20 km/h	6,35 m	3,60 m	43,31
35 km/h	8,01 m	9,19 m	14,73
50 km/h	17,74 m	17,27 m	2,65
65 km/h	29,11 m	27,91 m	4,12
80 km/h	37,98 m	41,09 m	8,19

Tabla núm. 7-126. Resultados de la distancia de proyección utilizando el programa Virtual Crash y el modelo físico-matemático de Wood para peatones niños de 3 años y 6 meses utilizando  $\mu = 0,8$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins.

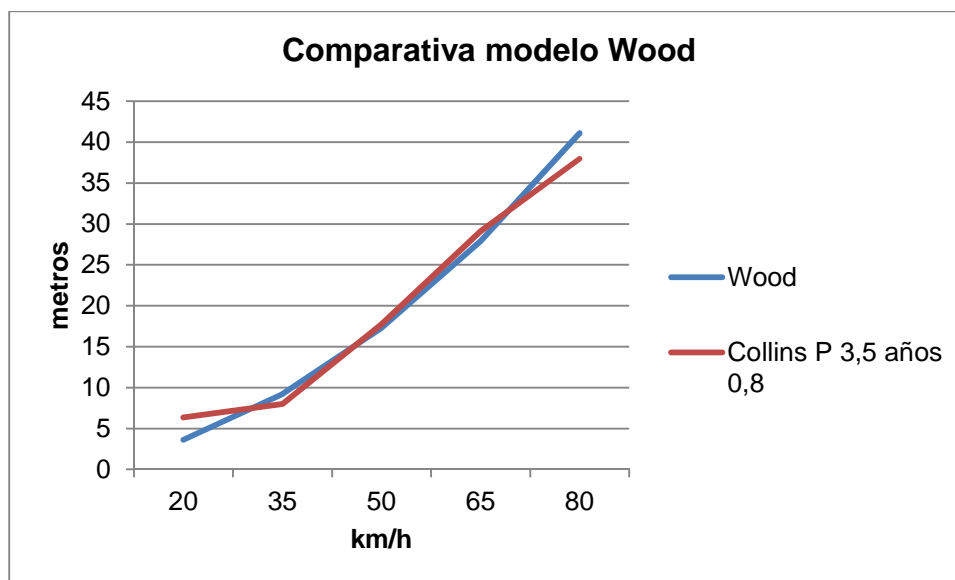


Figura núm. 7-238. Gráfico en el que se muestra la distancia de proyección en función de las velocidades de atropello para peatones niños de 3 años y 6 meses  $\mu = 0,8$ . Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. Modelo de Collins, comparando los datos del modelo físico-matemático de Wood y del programa Virtual Crash.

Como en los casos anteriores, los resultados entre los datos obtenidos con el programa informático y el método matemático son muy similares.

### **7.2.3.5. Conclusiones al estudio comparativo en el modelo de Wood.**

Los resultados obtenidos muestran un grado de fiabilidad alto en función del error porcentual calculado para peatones niños de 10 y 3 años y 6 meses; para peatones adultos se puede considerar en general un grado de fiabilidad medio.

Es de destacar el hecho de que se hayan utilizado por las razones expuestas al principio de este apartado, atropellos con coeficientes de fricción peatón-suelo con valores medios altos (0,8-0,9), que en el caso de que fueran menores contribuirían a aumentar las distancias de proyección y por tanto la divergencia de resultados.

Como conclusión, se determina que el modelo físico-matemático se debería utilizar para peatones menores, con coeficientes de fricción altos y trayectoria post-impacto Forward Projection como aconseja el autor.



### 7.3. MODELO A PARTIR DE LOS DESPERFECTOS EN EL VEHÍCULO. MODELO DE HAPPER.

A la hora de analizar este modelo se va a tener en cuenta el gráfico siguiente que representa la relación entre el punto de impacto de la cabeza del peatón y la velocidad del vehículo:

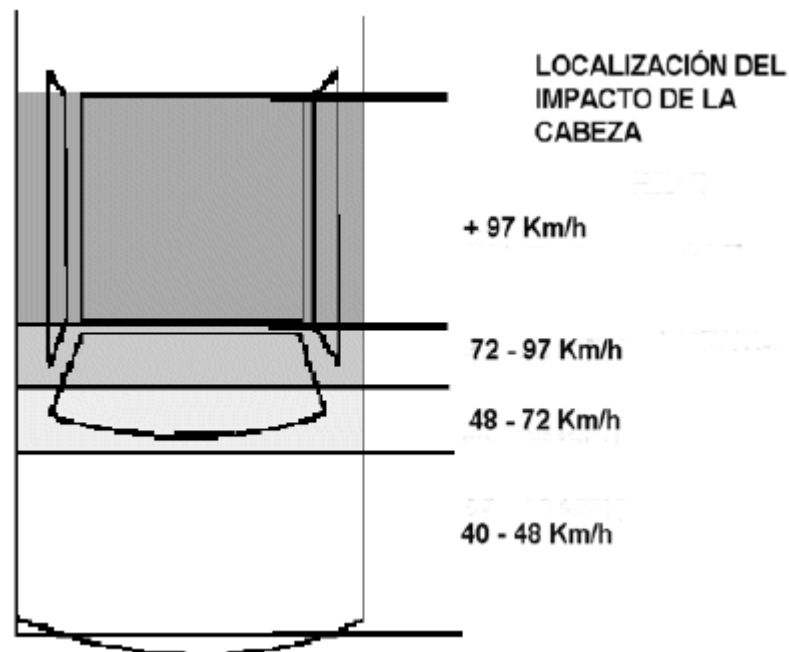


Figura núm. 7-239. Relación entre la altura de impacto de la cabeza del peatón y la velocidad de atropello del vehículo. Fuente: Campón, 2005.

Para ello, se dividieron (de una forma imaginaria) los seis vehículos empleados para realizar las simulaciones con el programa Virtual Crash en las cuatro zonas marcadas en el gráfico anterior. Realizada esta división, mientras se estaban realizando las simulaciones de los atropellos, se determinaba, entre otros datos, el punto de impacto de la cabeza del multibody con cada una de las zonas de los vehículos empleados en este estudio.

Obtenidos esos datos, a continuación se van a mostrar los resultados en función de la edad del peatón y del vehículo interviniente. Los datos se mostrarán porcentualmente (sobre la silueta del vehículo) y gráficamente en función de la zona de impacto de la cabeza del multibody.

### 7.3.1. PEATÓN NIÑO 3 AÑOS Y 6 MESES

#### 7.3.1.1. Peatón niño 3 años y 6 meses. Porsche 911 Carrera

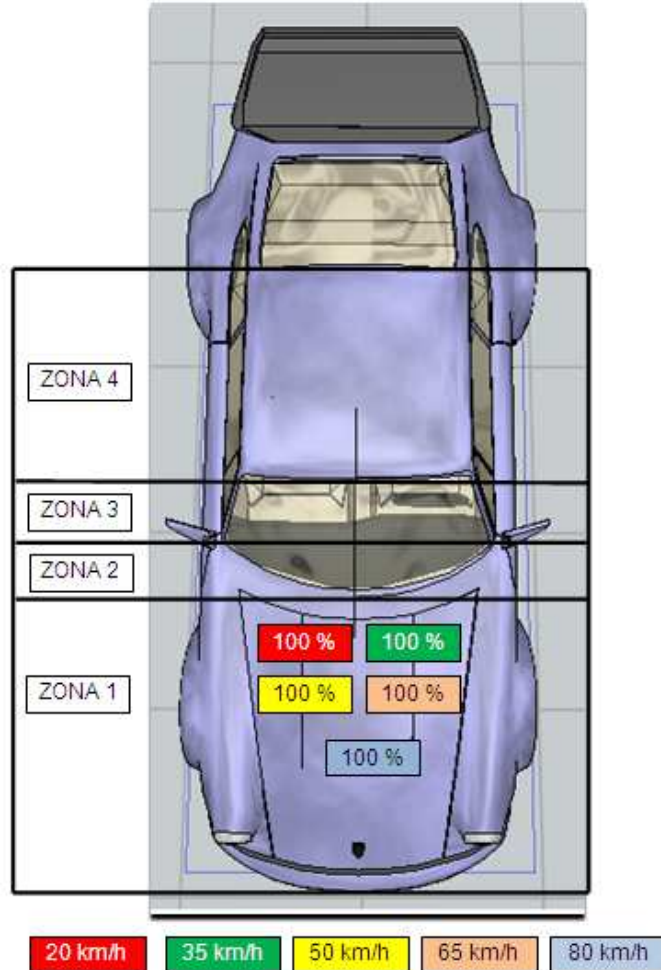


Figura núm. 7-240. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

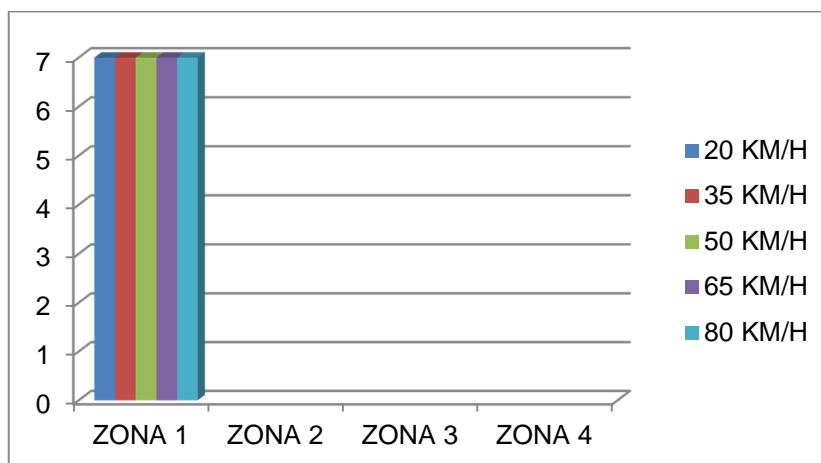


Figura núm. 7-241. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

7.3.1.2. Peatón niño 3 años y 6 meses. Mercedes Benz CL5 350

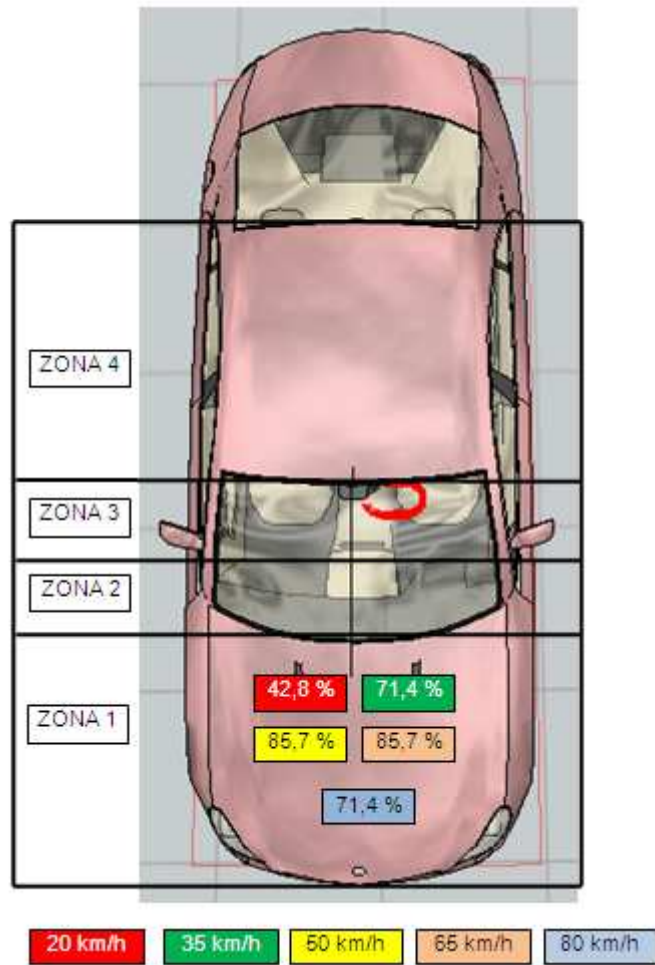


Figura núm. 7-242. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

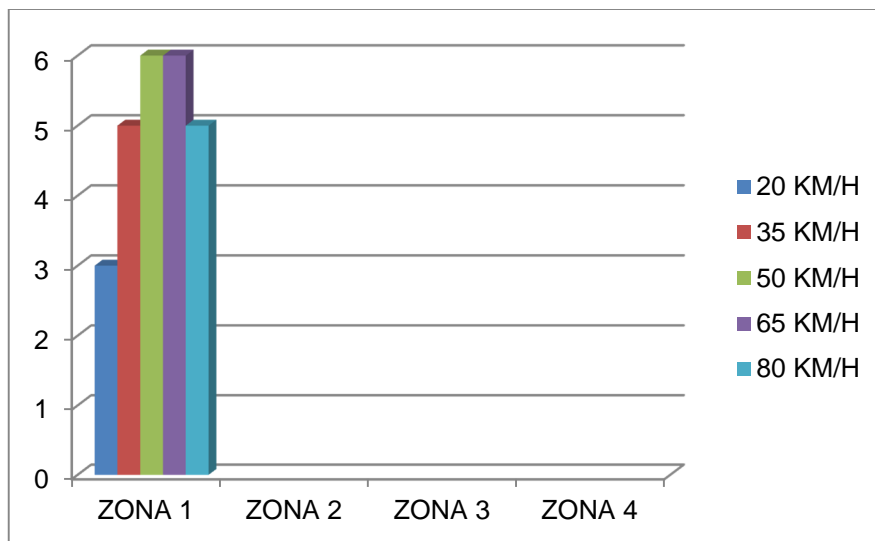


Figura núm. 7-243. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

7.3.1.3. Peatón niño 3 años y 6 meses. Renault Scenic 1.9 dCi

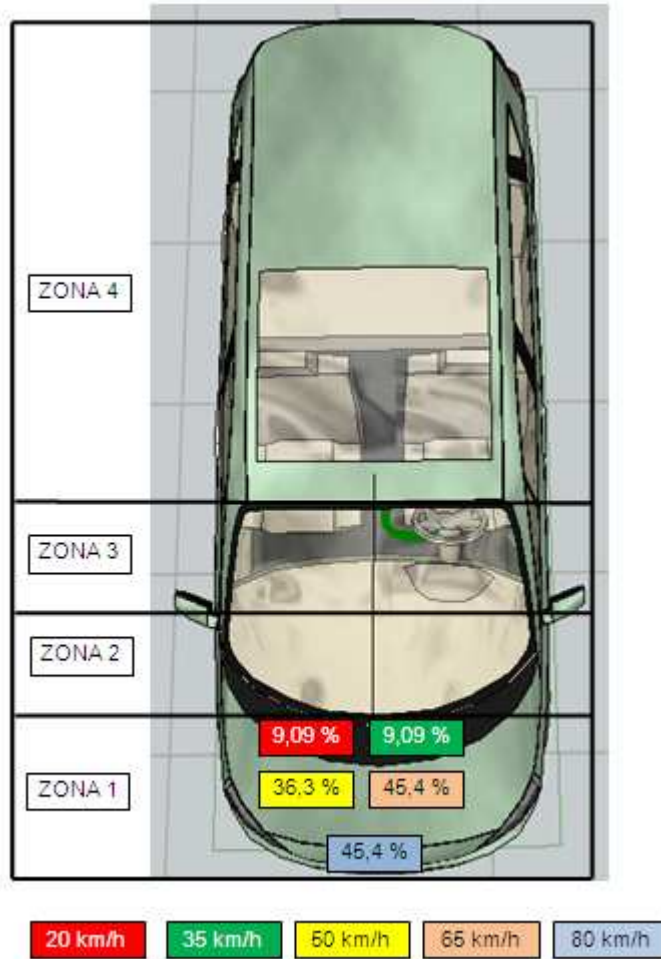


Figura núm. 7-244. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.

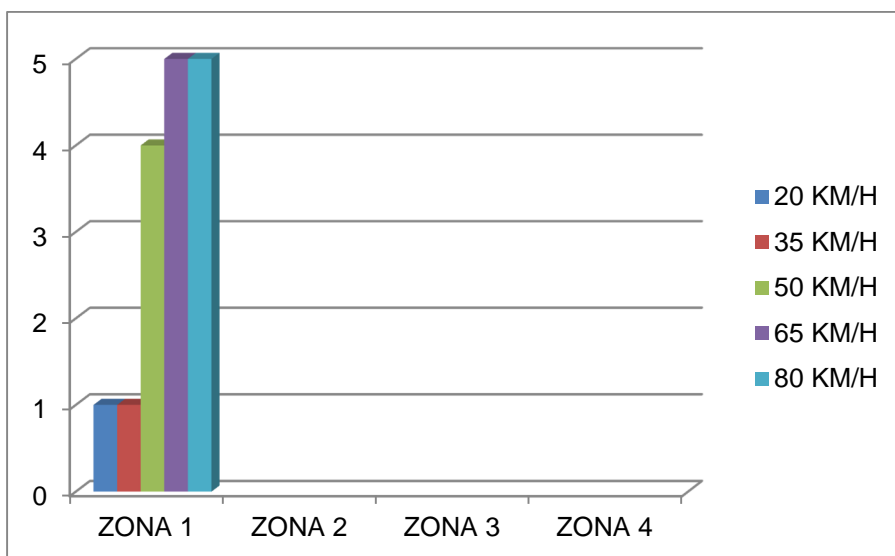


Figura núm. 7-245. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3,5 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.



7.3.1.4. Peatón niño 3 años y 6 meses. Seat Ibiza 1.0

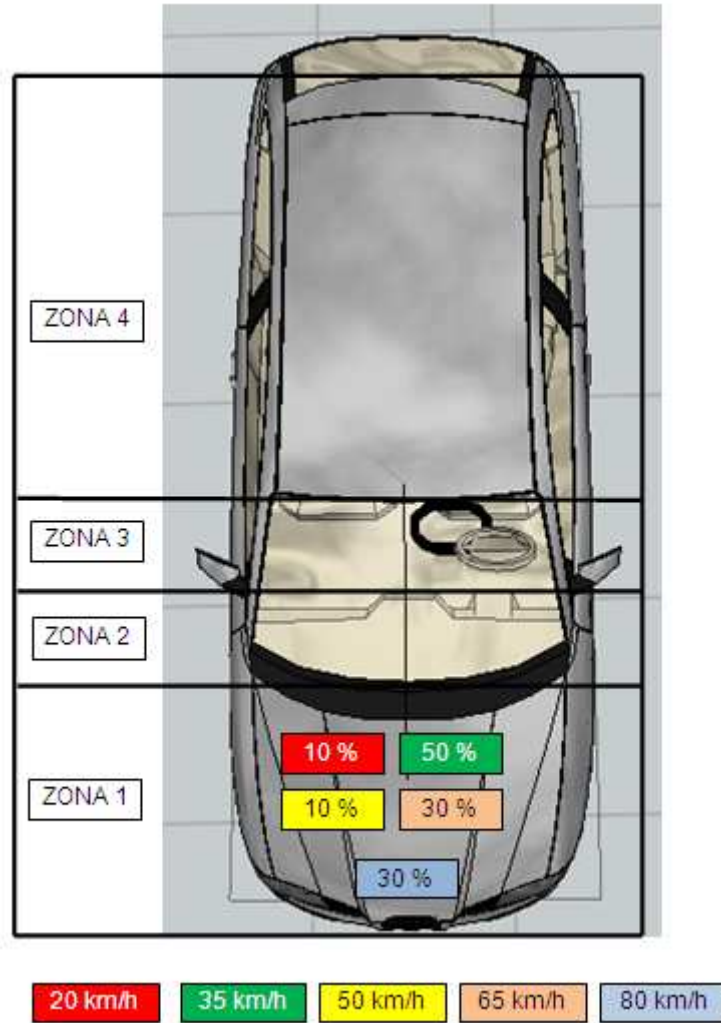


Figura núm. 7-246. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.

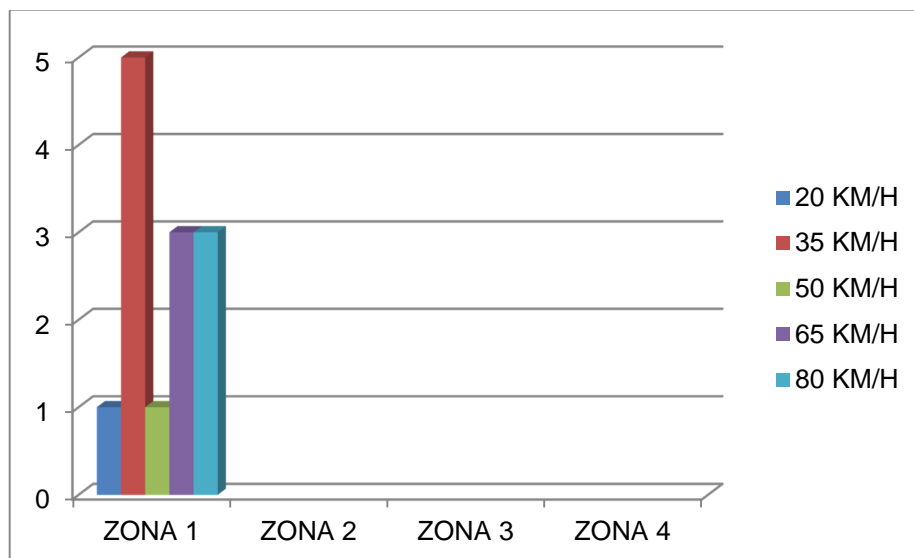


Figura núm. 7-247. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.1.5. Peatón niño 3 años y 6 meses. Volvo 460 1.8

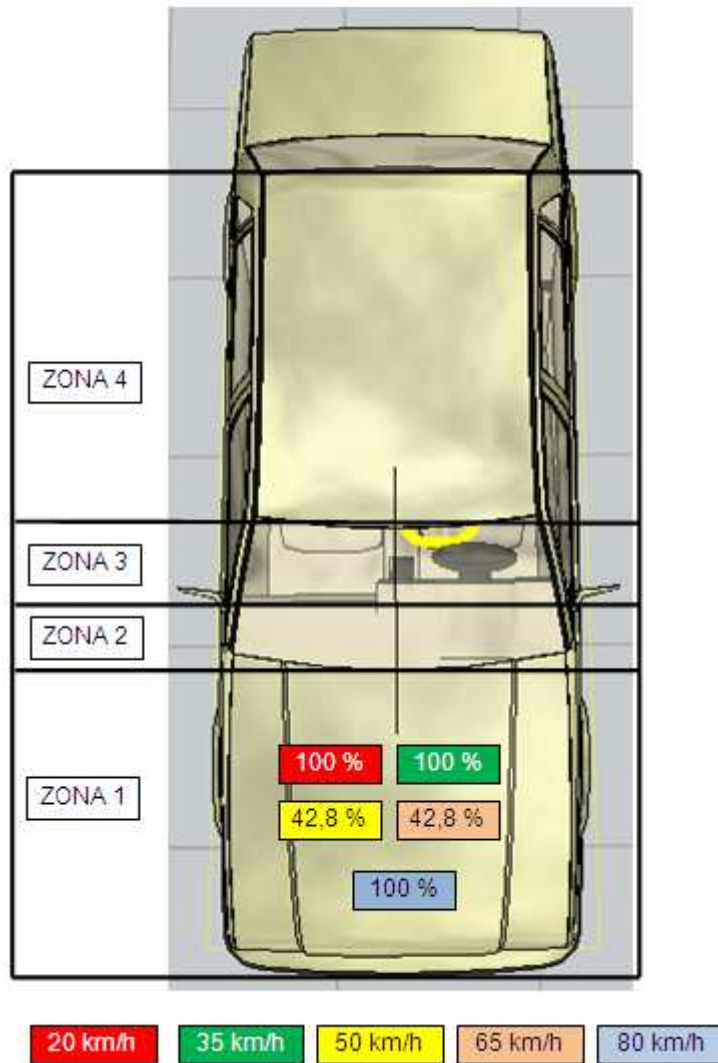


Figura núm. 7-248. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.

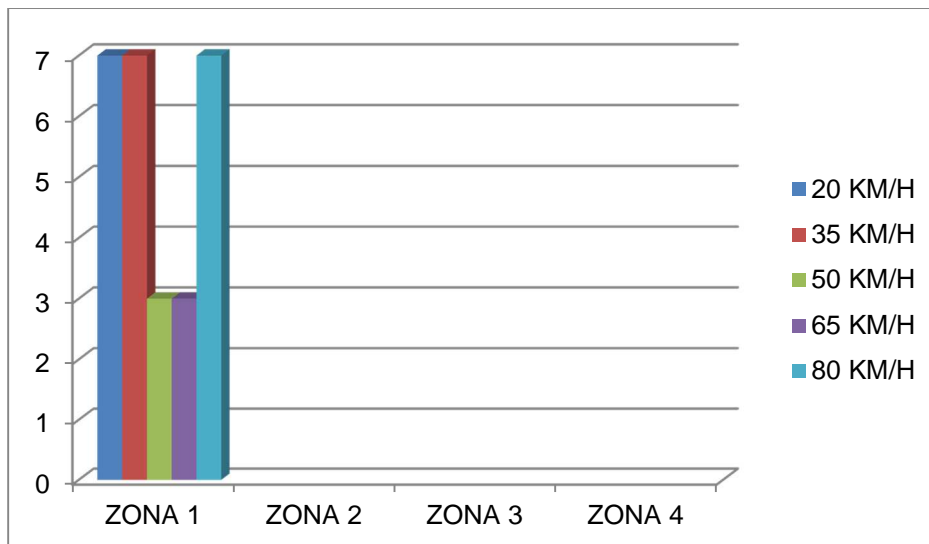


Figura núm. 7-249. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3,5 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.

7.3.1.6. Peatón niño 3 años y 6 meses. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3

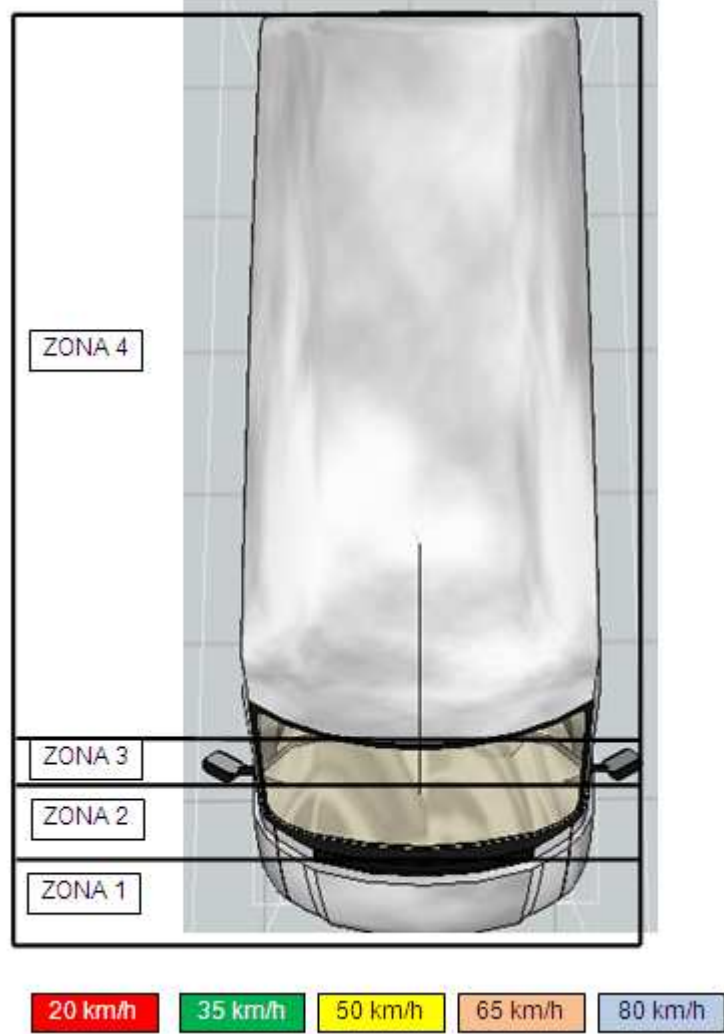


Figura núm. 7-250. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.

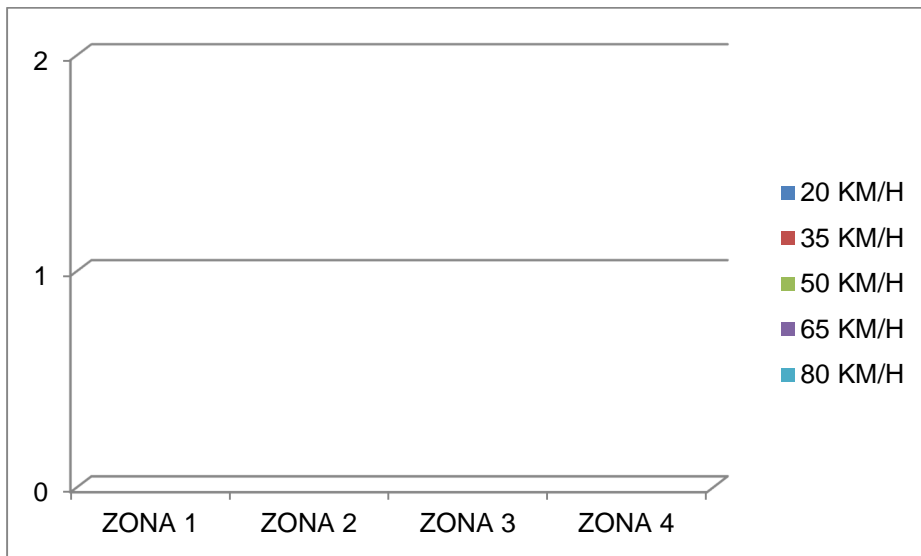


Figura núm. 7-251. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 3 años y 6 meses y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.

### **7.3.1.7. Conclusiones al estudio comparativo del impacto de la cabeza del peatón niño 3 años y 6 meses.**

La zona 1, ha sido la única zona de impacto determinada de la cabeza del multibody con los vehículos utilizados.

No se puede establecer una relación entre la geometría del frontal, velocidad de atropello, tipo de trayectoria post-impacto llevada por el multibody y el impacto de la cabeza de éste sobre el vehículo, dada la variabilidad de datos existentes entre esas combinaciones.

### 7.3.2. PEATÓN NIÑO 6 AÑOS

#### 7.3.2.1. Peatón niño 6 años. Porsche 911 Carrera

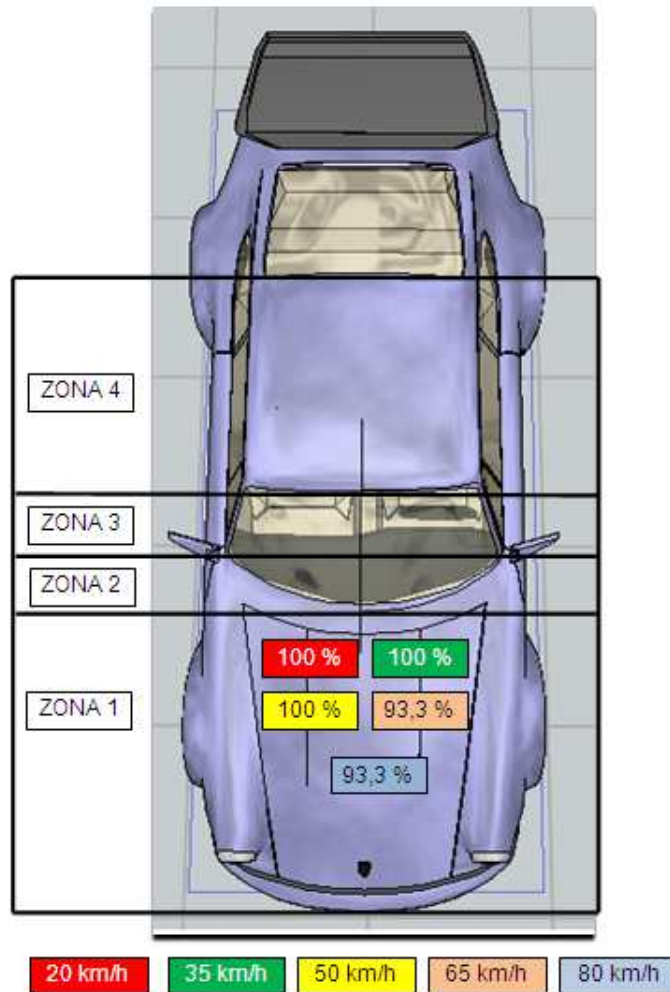


Figura núm. 7-252. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

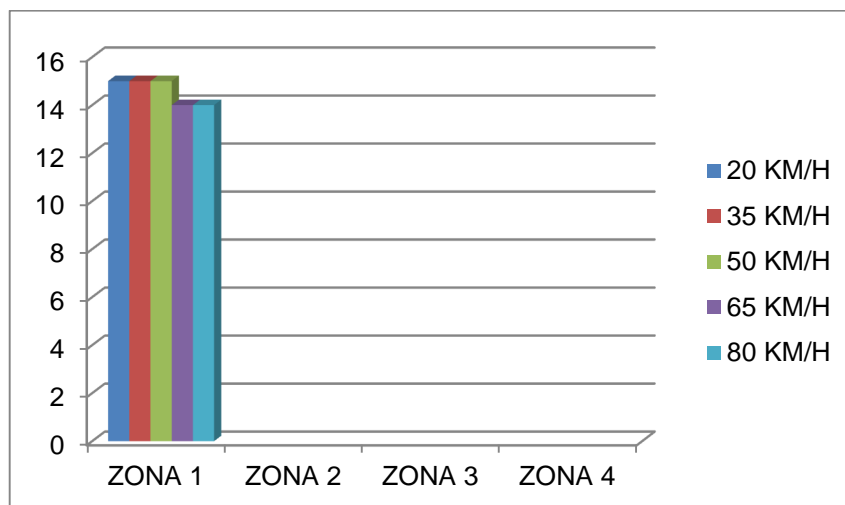


Figura núm. 7-253. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.2.2. Peatón niño 6 años. Mercedes Benz CL5 350

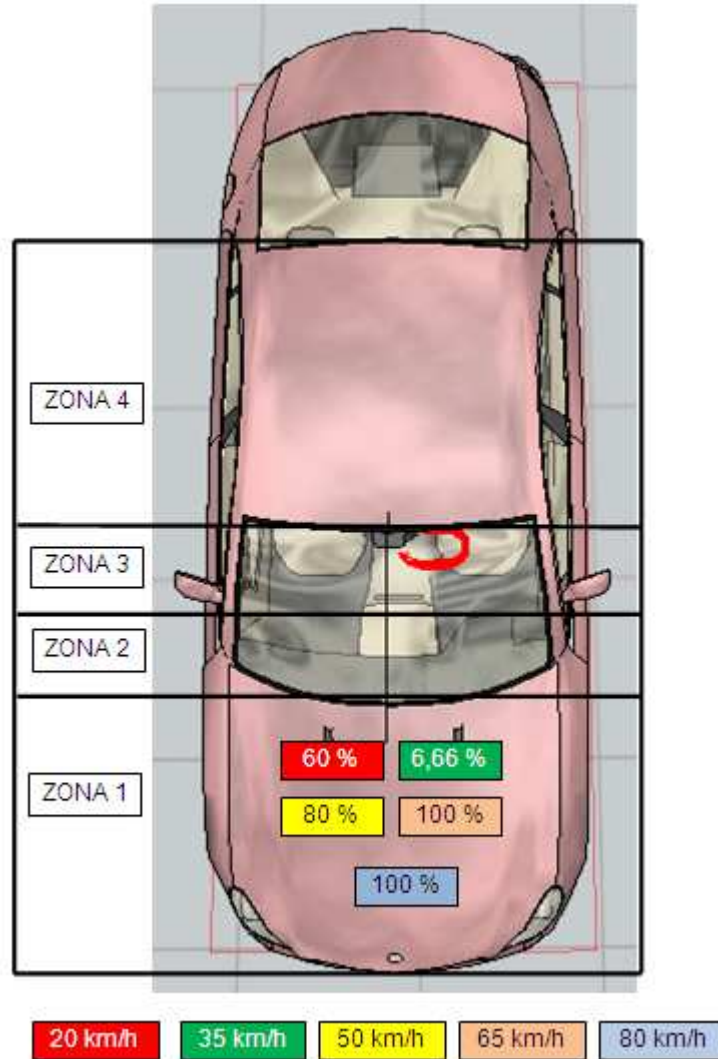


Figura núm. 7-254. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

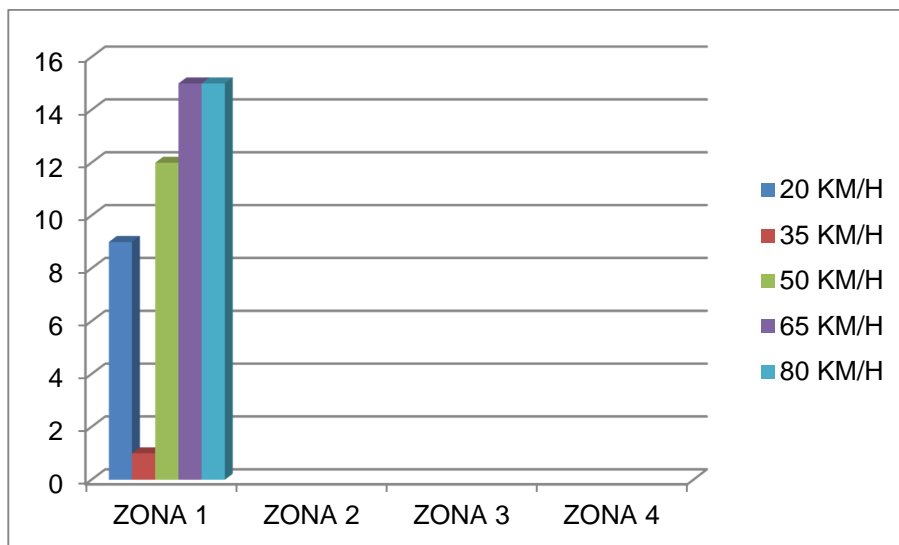


Figura núm. 7-255. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

**7.3.2.3. Peatón niño 6 años. Renault Scenic 1.9 dCi**

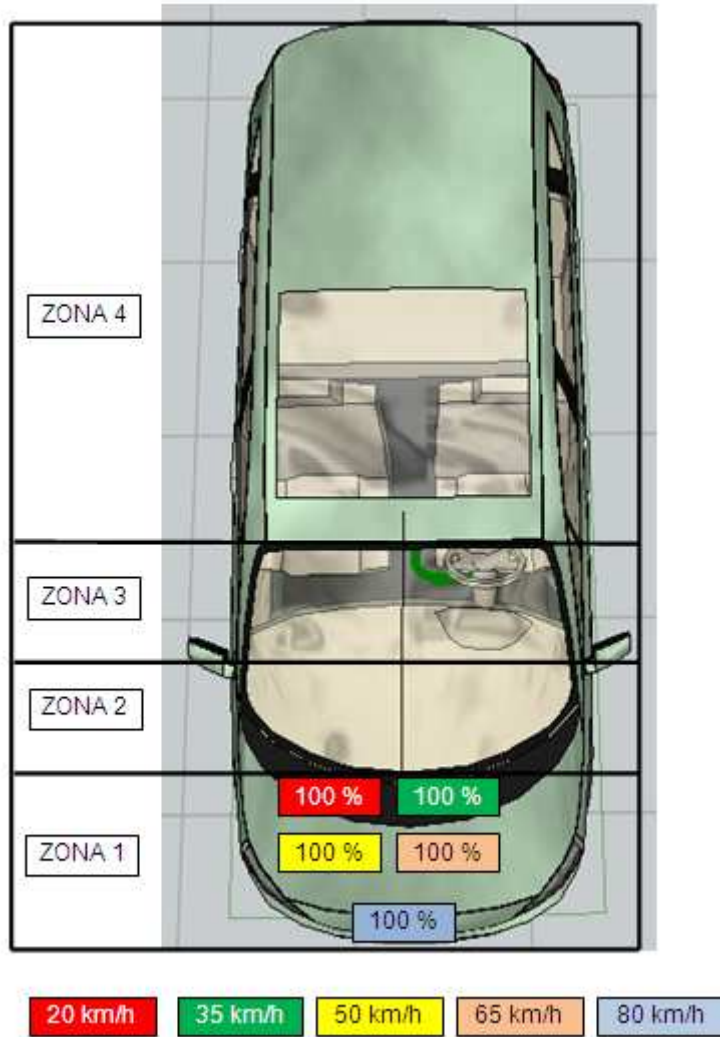


Figura núm. 7-256. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.

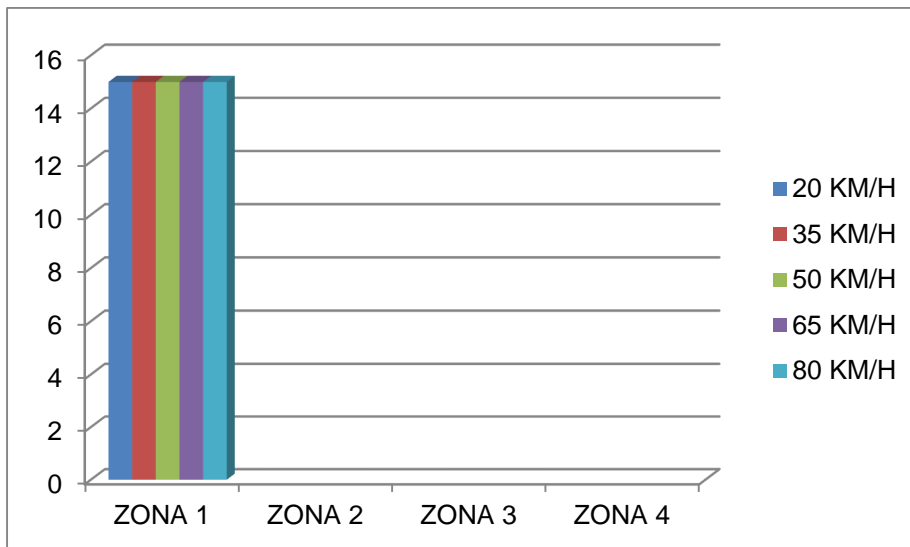


Figura núm. 7-257. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.2.4. Peatón niño 6 años. Seat Ibiza 1.0

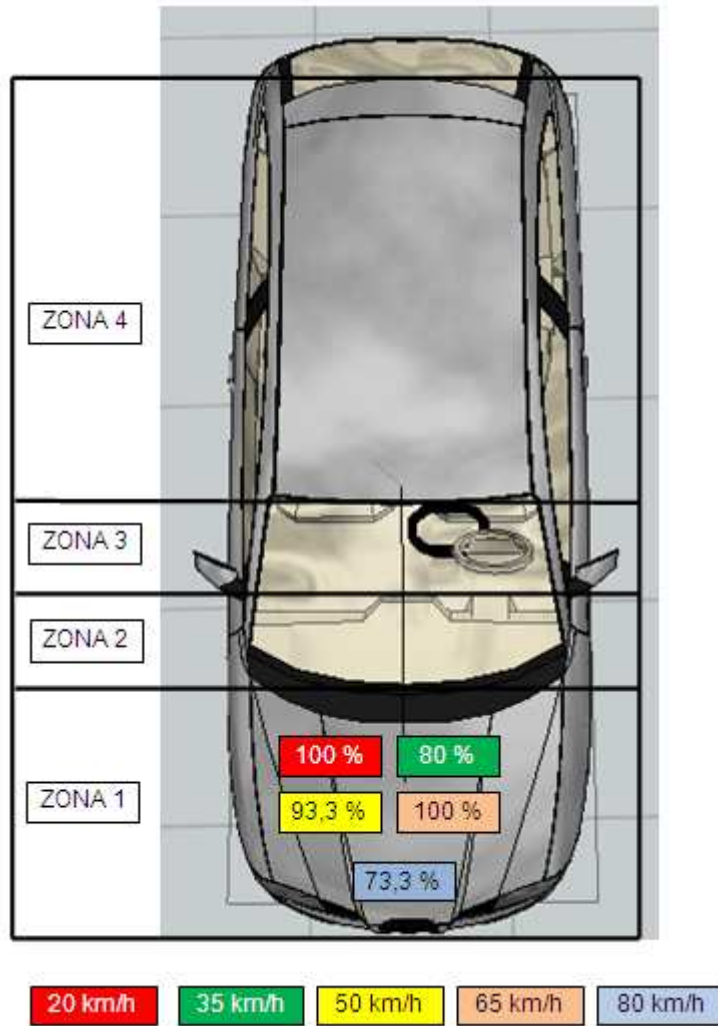


Figura núm. 7-258. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.

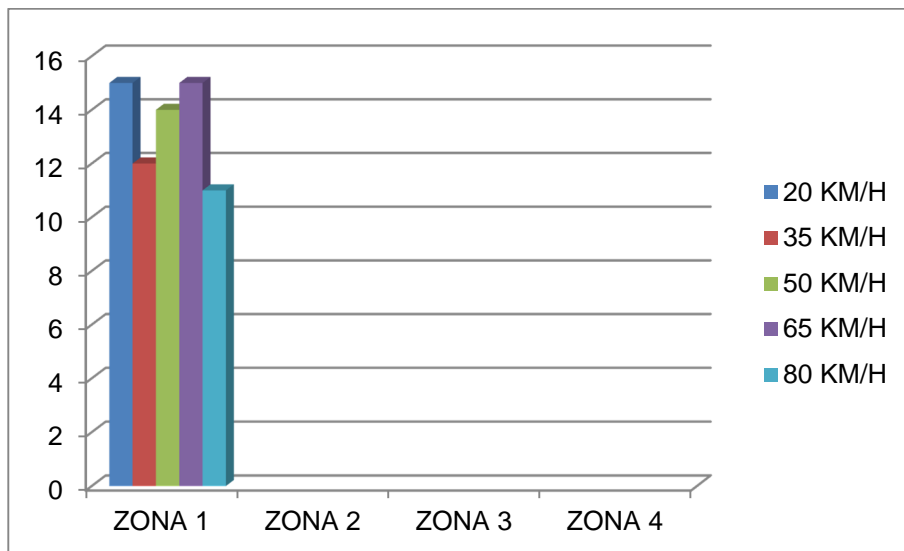


Figura núm. 7-259. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.



7.3.2.5. Peatón niño 6 años. Volvo 460 1.8

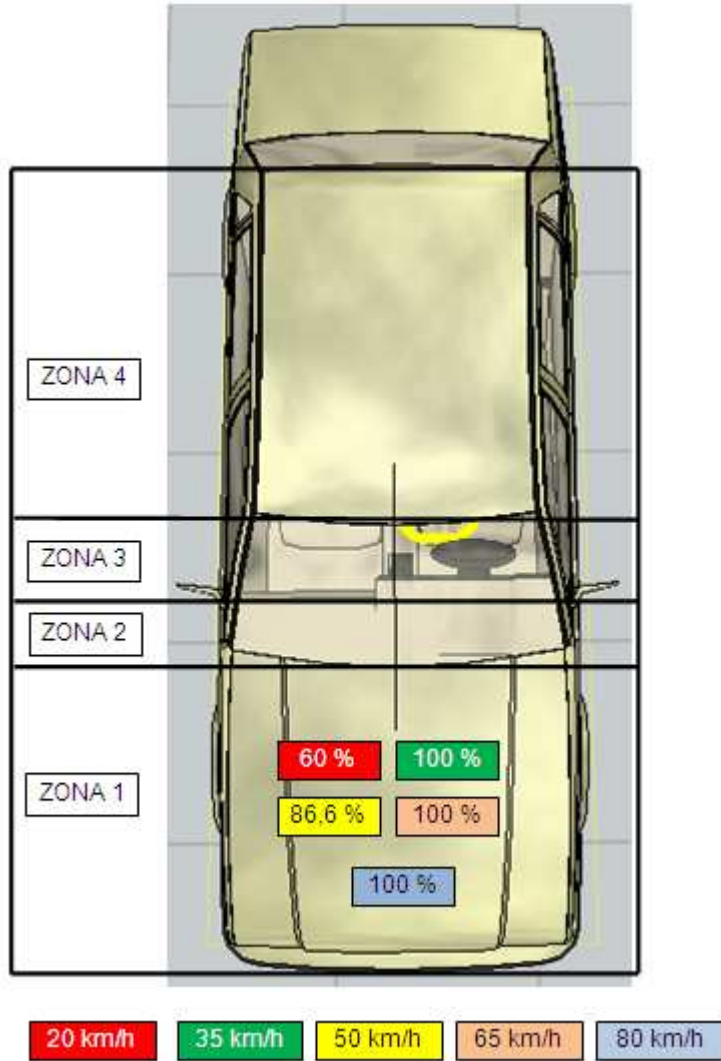


Figura núm. 7-260. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.

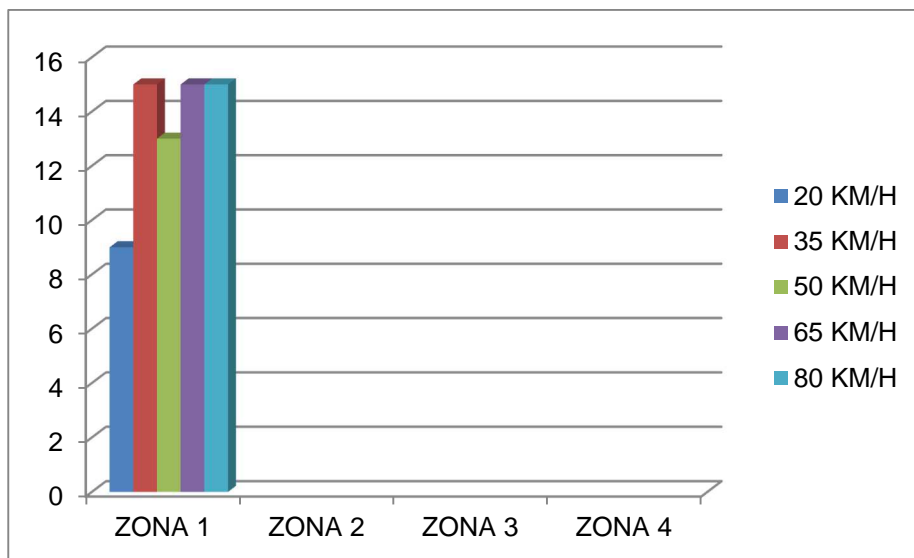


Figura núm. 7-261. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.2.6. Peatón niño 6 años. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3

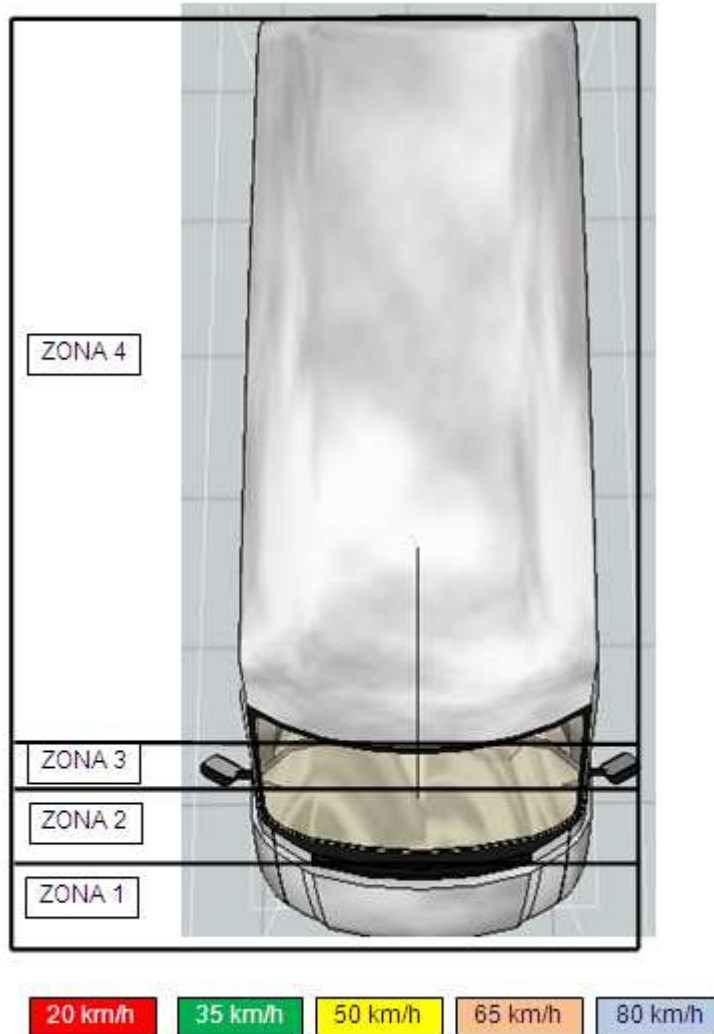


Figura núm. 7-262. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.

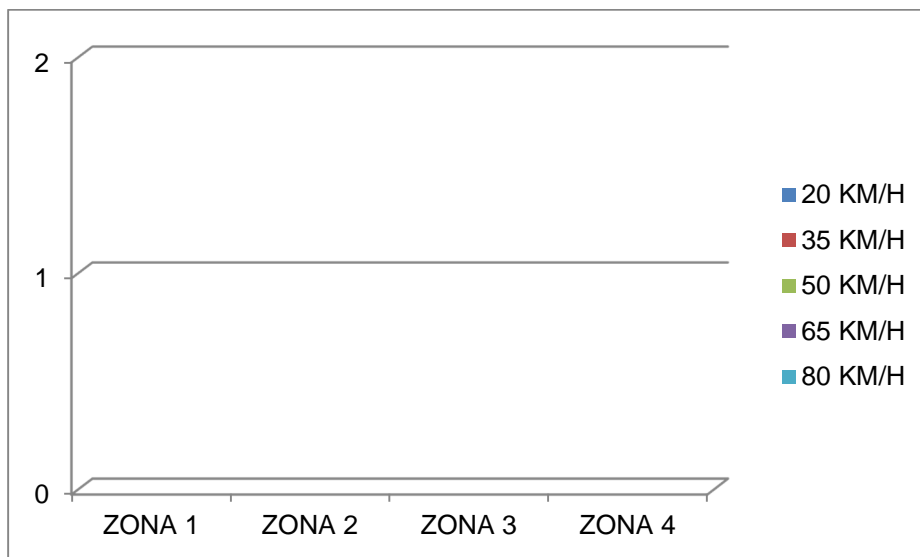


Figura núm. 7-263. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 6 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.

#### **7.3.2.7. Conclusiones al estudio comparativo del impacto de la cabeza del peatón niño 6 años.**

Al igual que para el peatón anterior, la zona 1 ha sido la única zona de impacto determinada de la cabeza del multibody con los vehículos utilizados.

En general se puede determinar que la ausencia de impacto de la cabeza del multibody con los vehículos está relacionada con una trayectoria post-impacto Forward Projection, independientemente del tipo de geometría del frontal del vehículo, llamando la atención el escaso número de impactos de la cabeza a una velocidad de 35 km/h para el vehículo Mercedes Benz CL5 350, en comparación con otros resultados para el mismo vehículo.

### 7.3.3. PEATÓN NIÑO 10 AÑOS

#### 7.3.3.1. Peatón niño 10 años. Porsche 911 Carrera

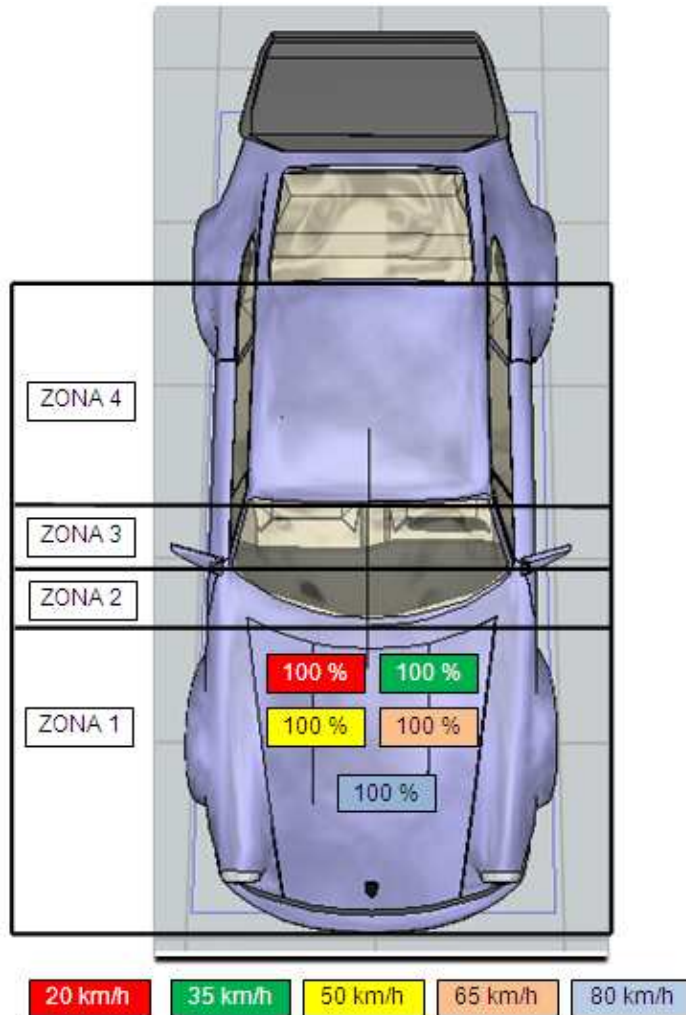


Figura núm. 7-264. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

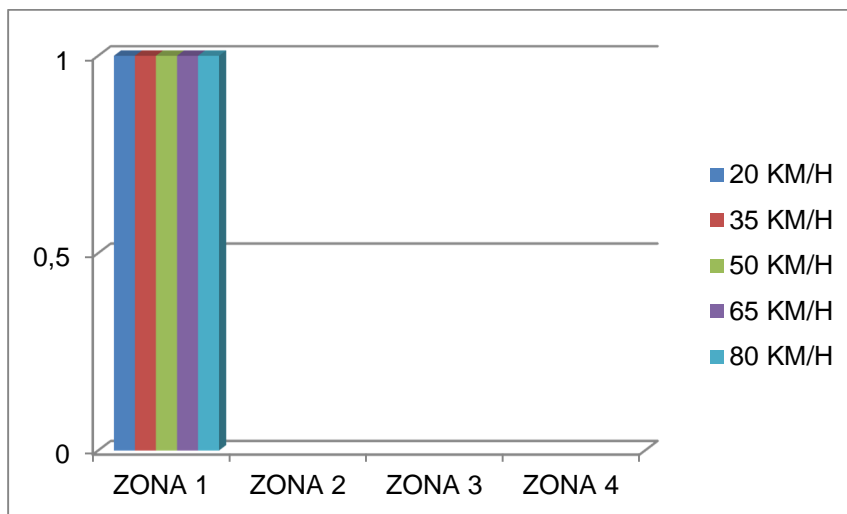


Figura núm. 7-265. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

**7.3.3.2. Peatón niño 10 años. Mercedes Benz CL5 350**

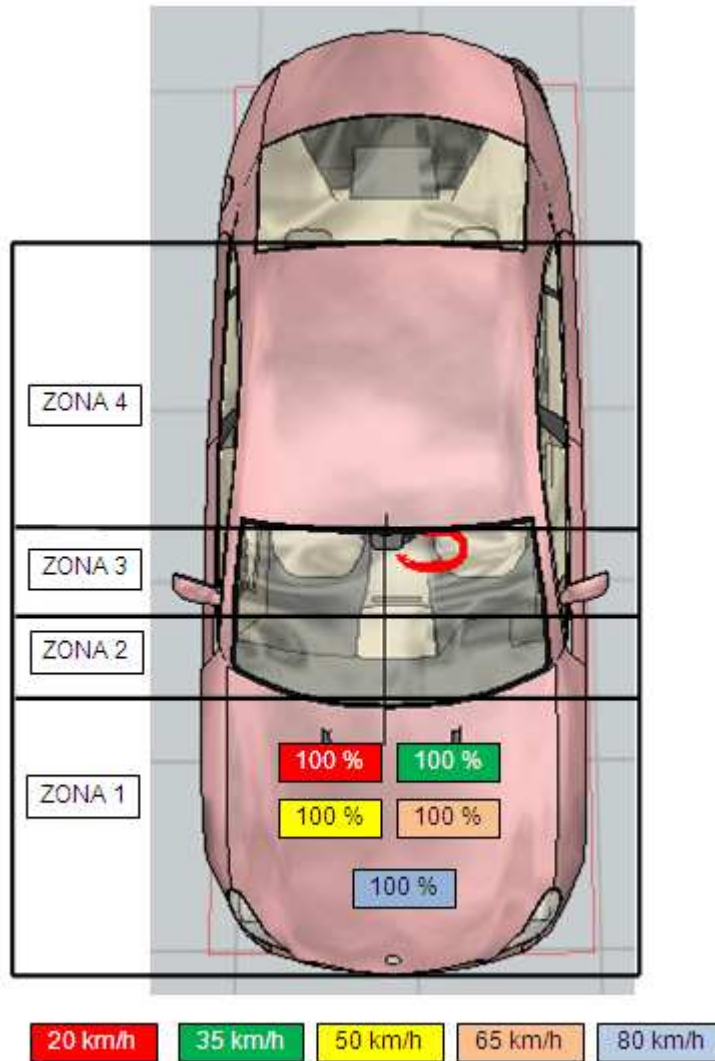


Figura núm. 7-266. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

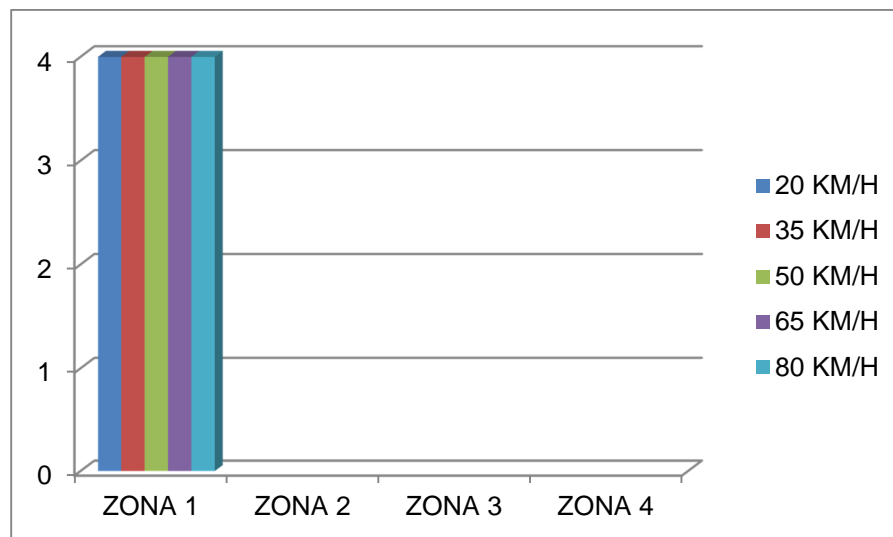


Figura núm. 7-267. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.3.3. Peatón niño 10 años. Renault Scenic 1.9 dCi

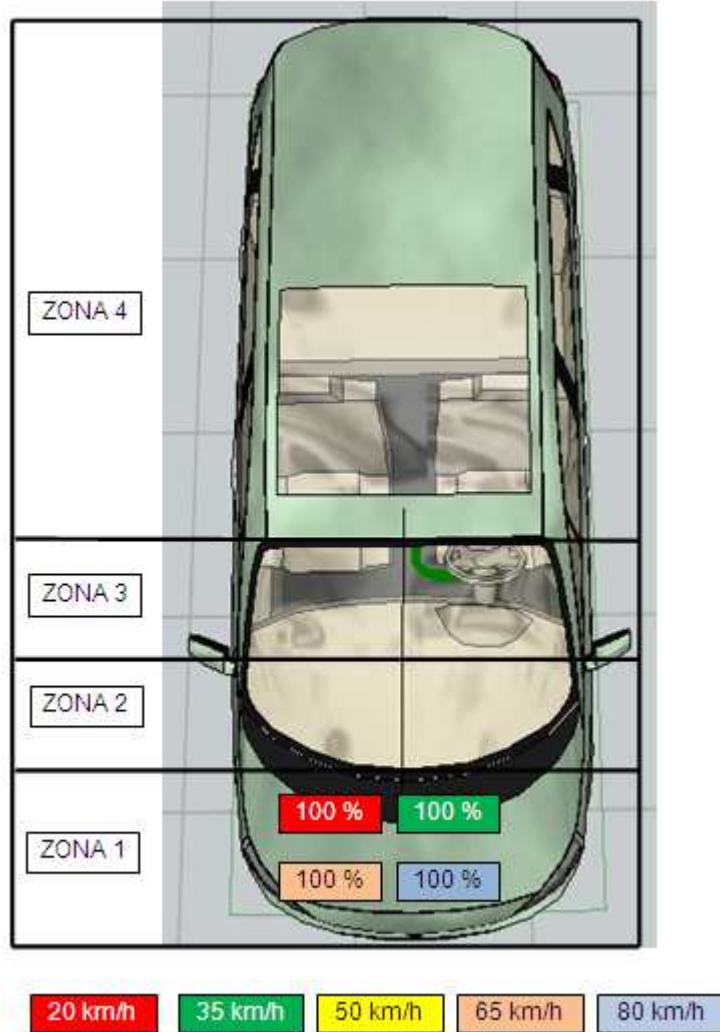


Figura núm. 7-268. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.

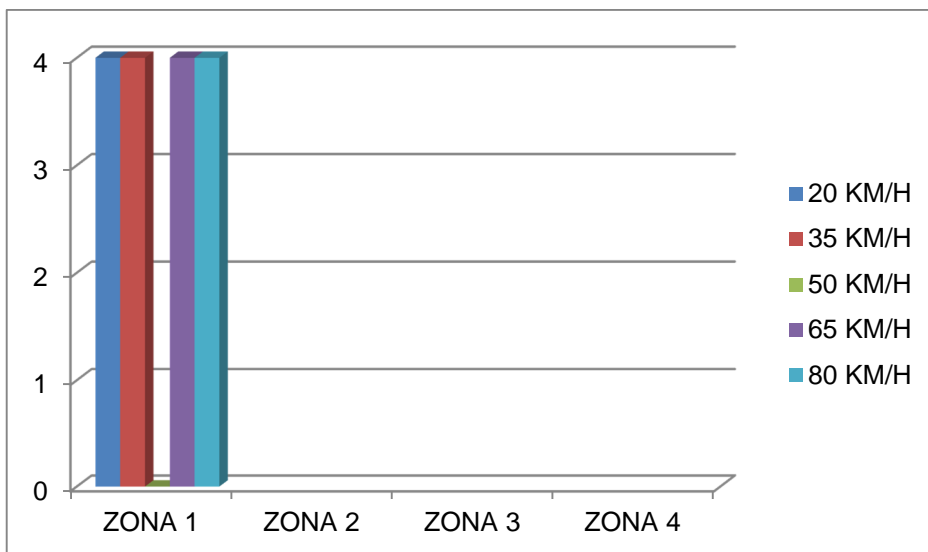


Figura núm. 7-269. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.

**7.3.3.4. Peatón niño 10 años. Seat Ibiza 1.0**

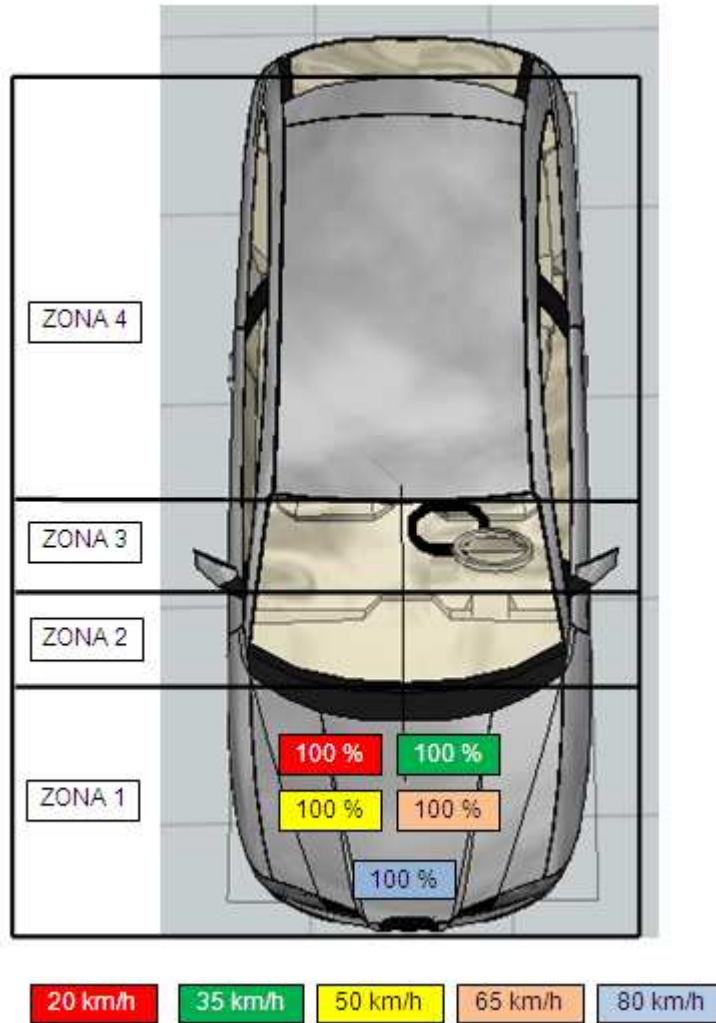


Figura núm. 7-270. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.

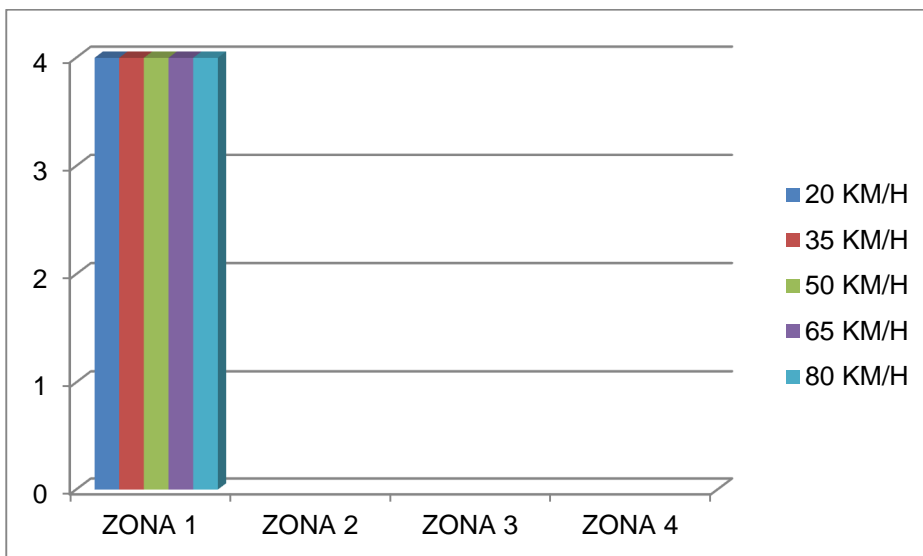


Figura núm. 7-271. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.3.5. Peatón niño 10 años. Volvo 460 1.8

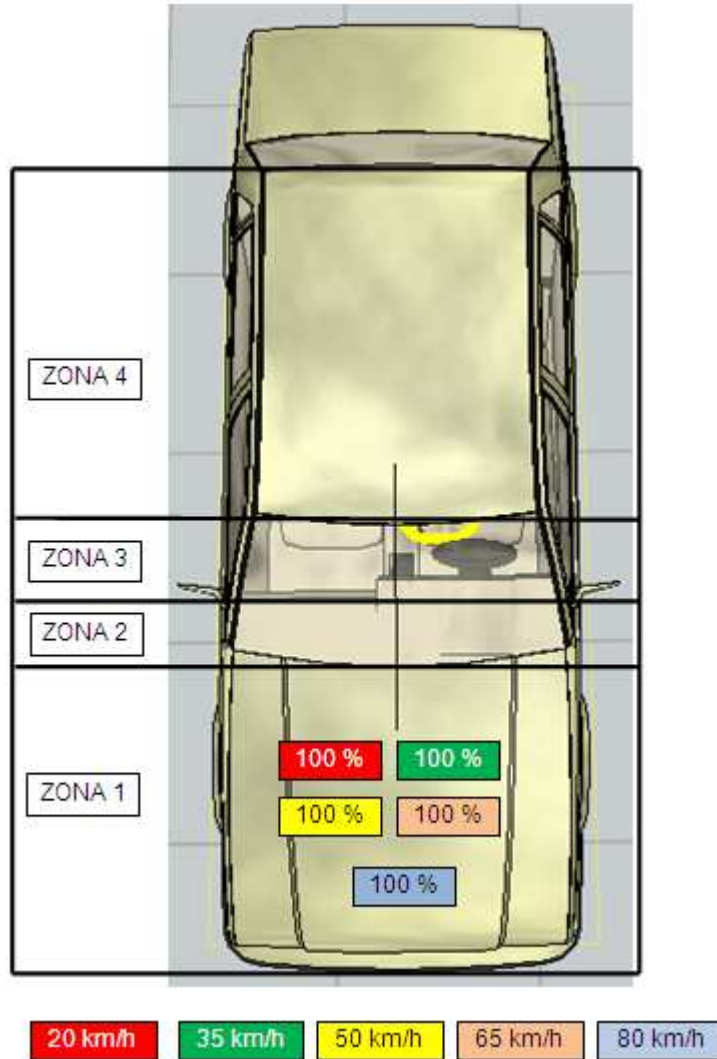


Figura núm. 7-272. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.

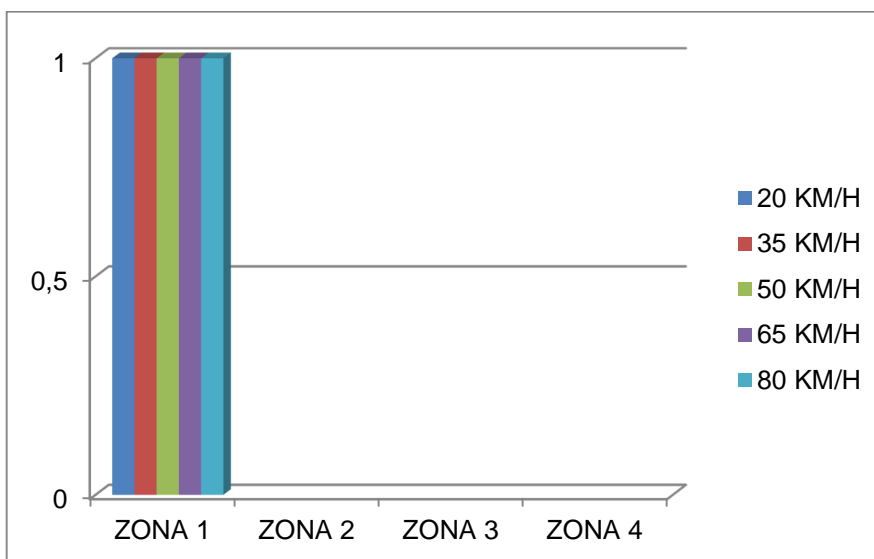


Figura núm. 7-273. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.



**7.3.3.6. Peatón niño 10 años. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3**

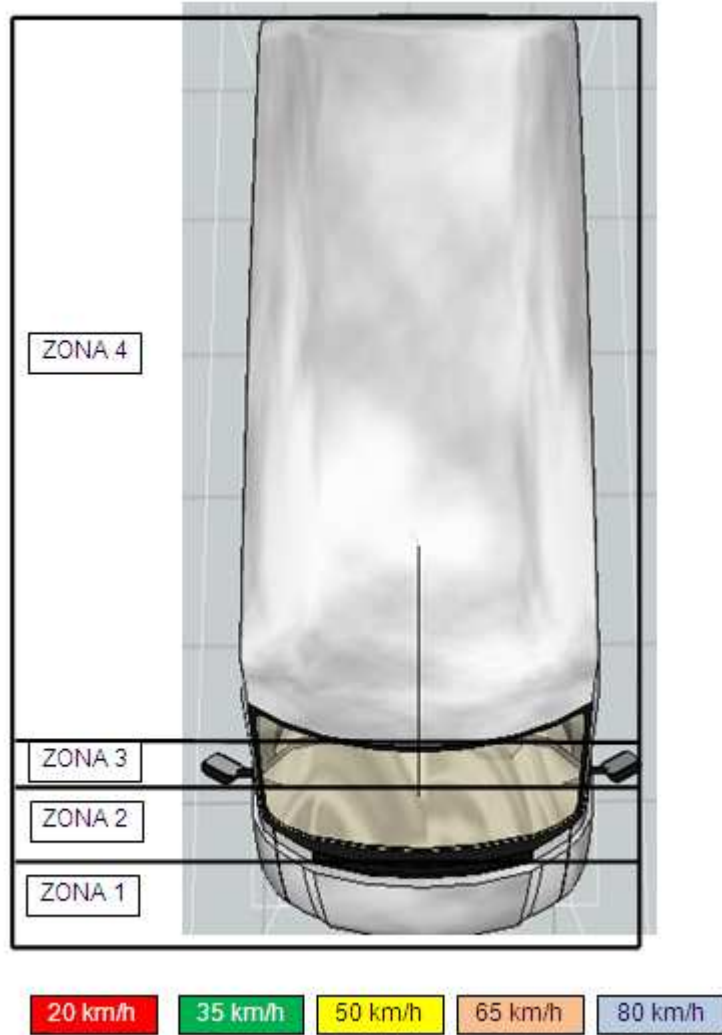


Figura núm. 7-274. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.

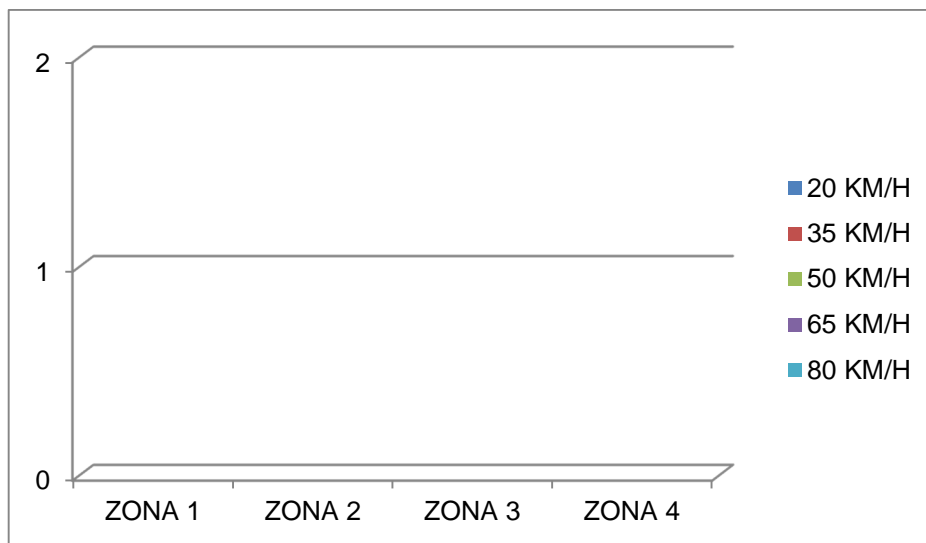


Figura núm. 7-275. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody de 10 años y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.

### **7.3.3.7. Conclusiones al estudio comparativo del impacto de la cabeza del peatón niño 10 años.**

Todos los impactos de la cabeza del multibody se han producido en la zona 1 de los vehículos.

Se observa una estrecha relación entre la altura del multibody y la trayectoria post-atropello seguida por éste, al estar íntimamente relacionada la ausencia de impacto con la trayectoria Forward Projection como ocurre con el vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a velocidades de 50 km/h y con la Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3. en todos los casos.

### 7.3.4. PEATÓN MUJER ADULTA

#### 7.3.4.1. Peatón mujer adulta. Porsche 911 Carrera

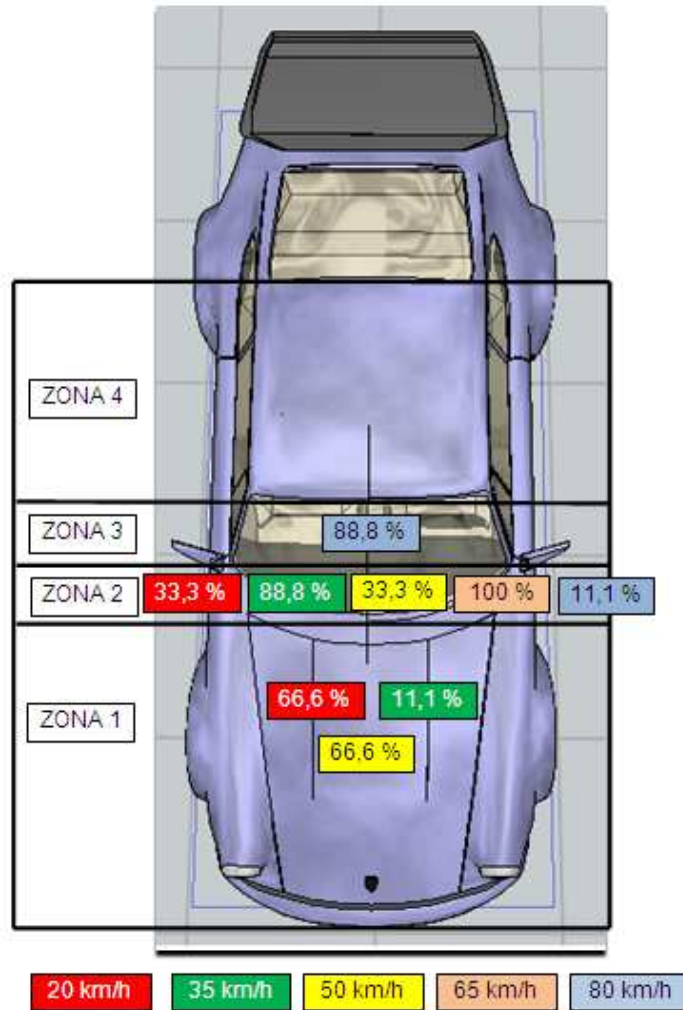


Figura núm. 7-276. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

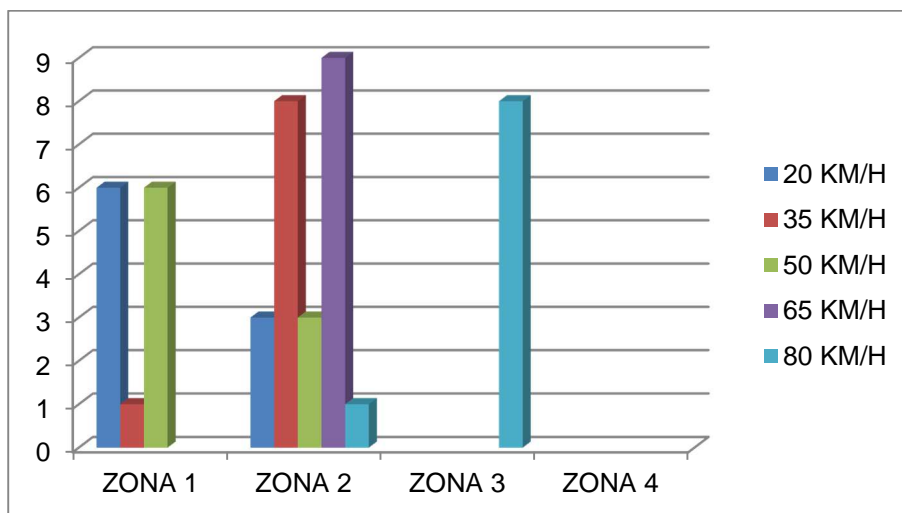


Figura núm. 7-277. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.4.2. Peatón mujer adulta. Mercedes Benz CL5 350

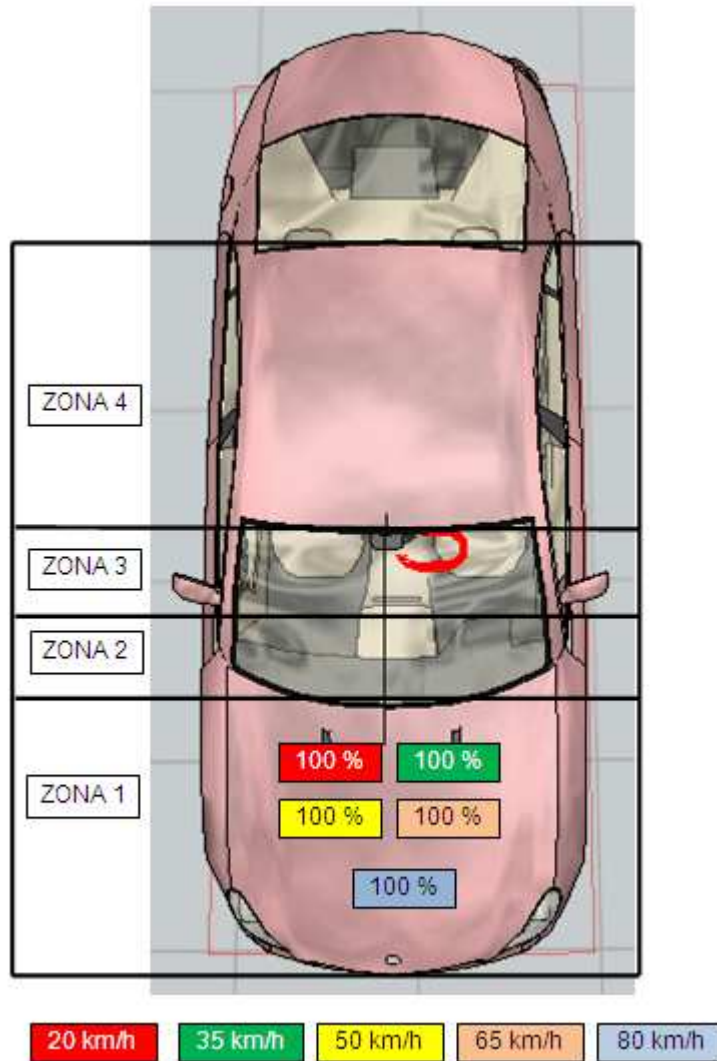


Figura núm. 7-278. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

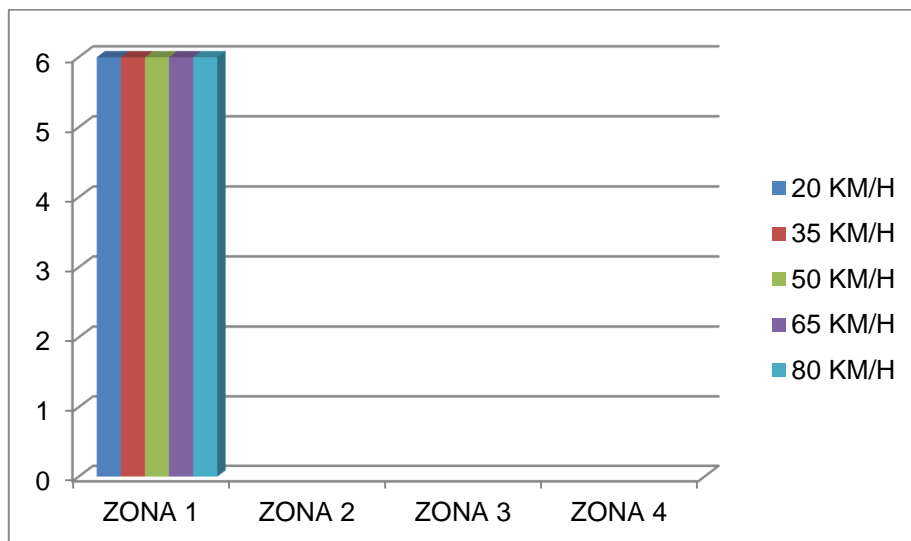


Figura núm. 7-279. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

**7.3.4.3. Peatón mujer adulta. Renault Scenic 1.9 dCi**

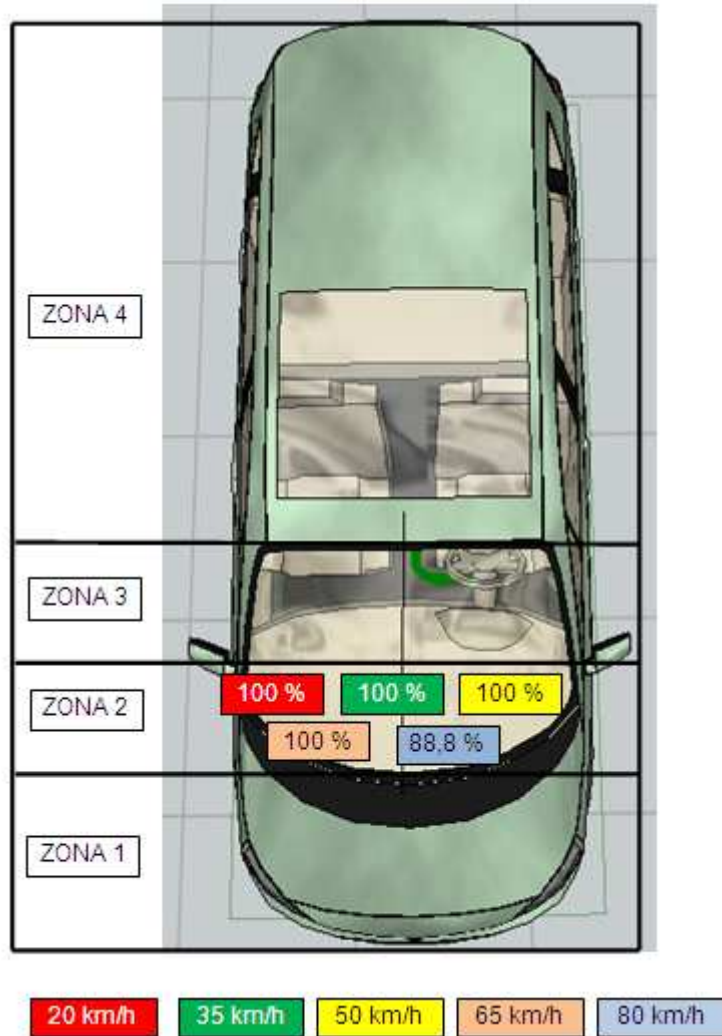


Figura núm. 7-280. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.

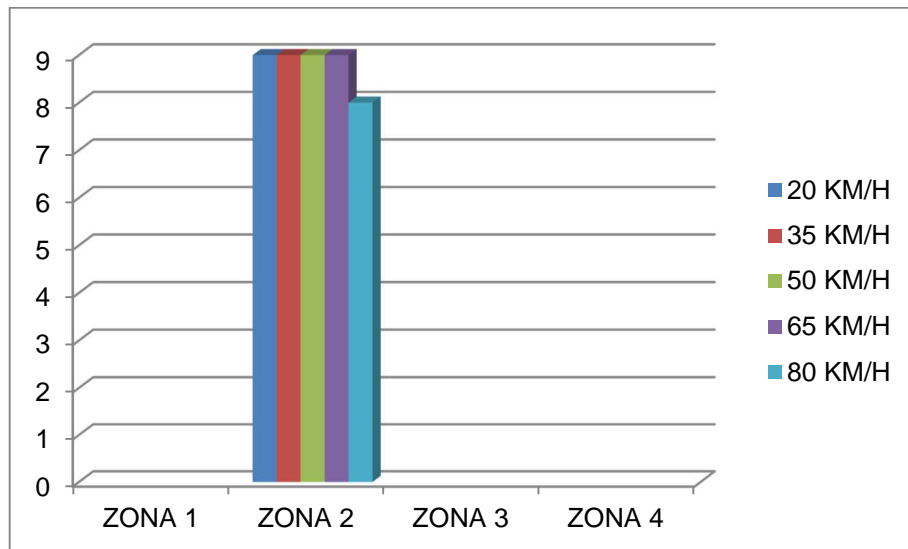


Figura núm. 7-281. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.4.4. Peatón mujer adulta. Seat Ibiza 1.0

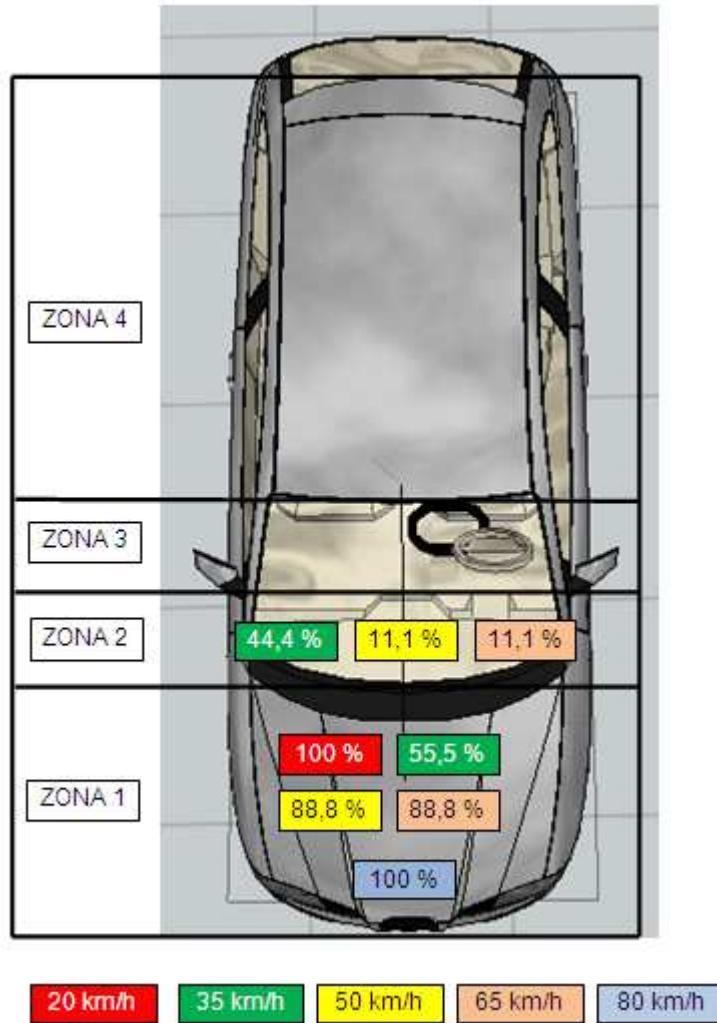


Figura núm. 7-282. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.

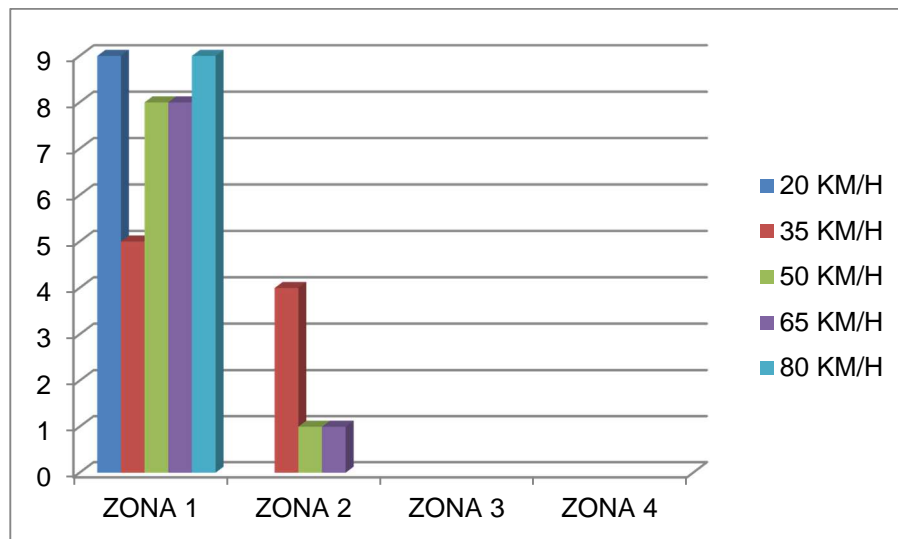


Figura núm. 7-283. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.

7.3.4.5. Peatón mujer adulta. Volvo 460 1.8

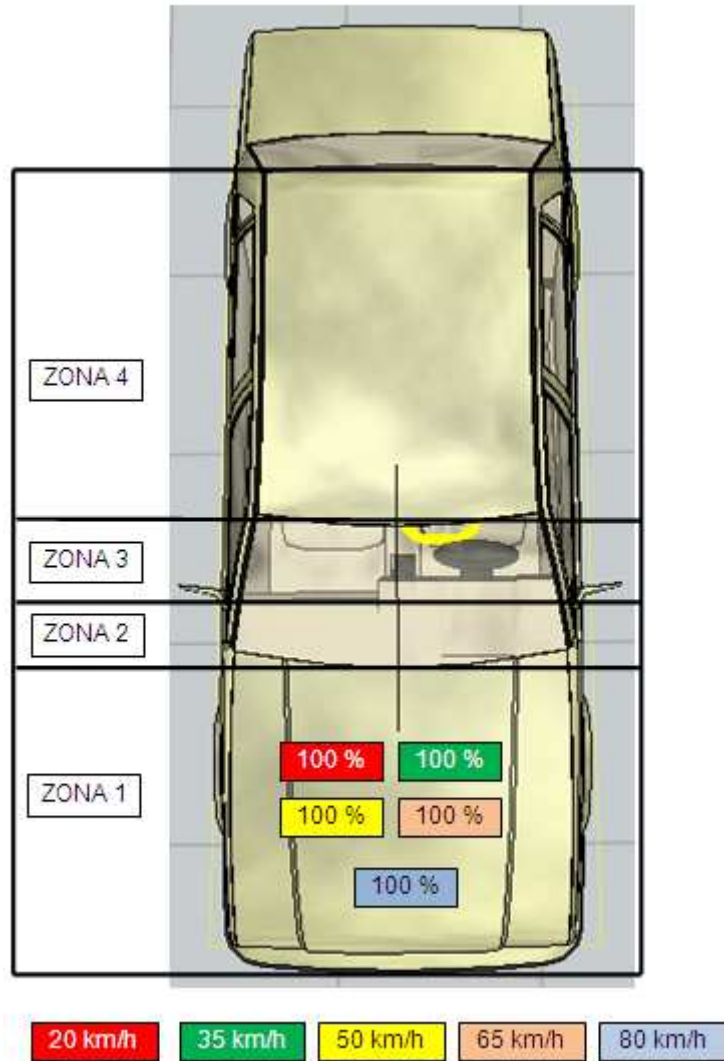


Figura núm. 7-284. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody peatón adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.

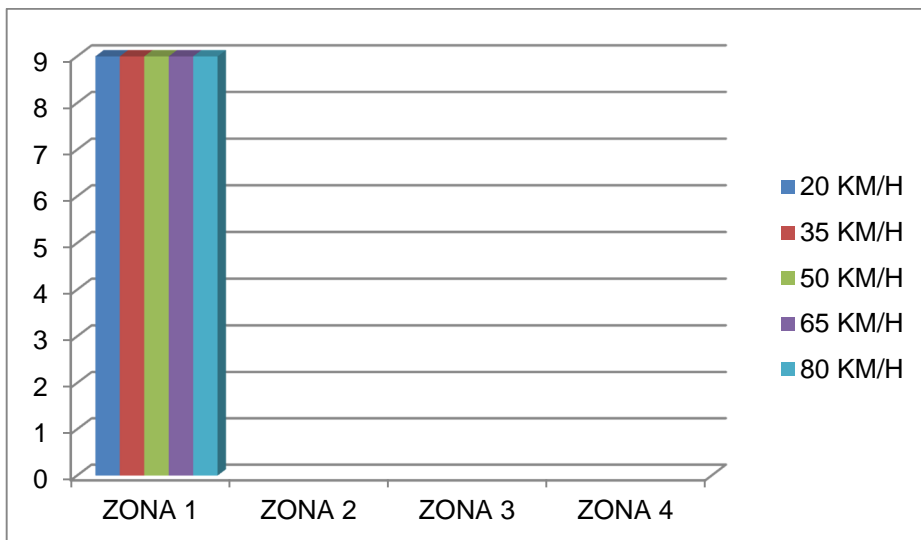


Figura núm. 7-285. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody peatón adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.4.6. Peatón mujer adulta. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3

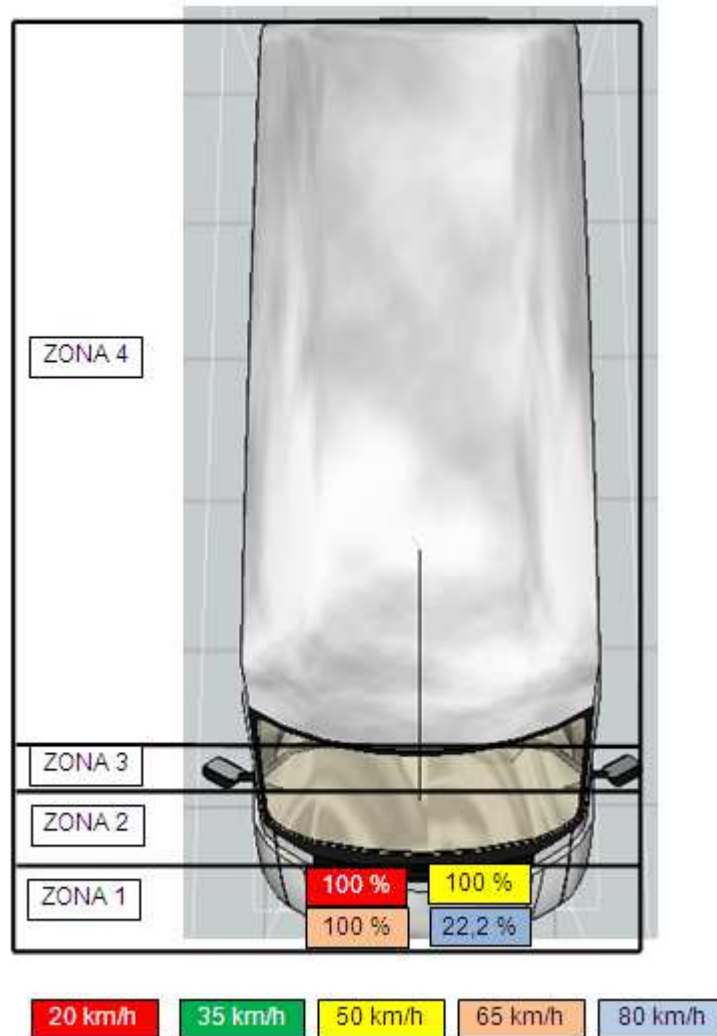


Figura núm. 7-286. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.

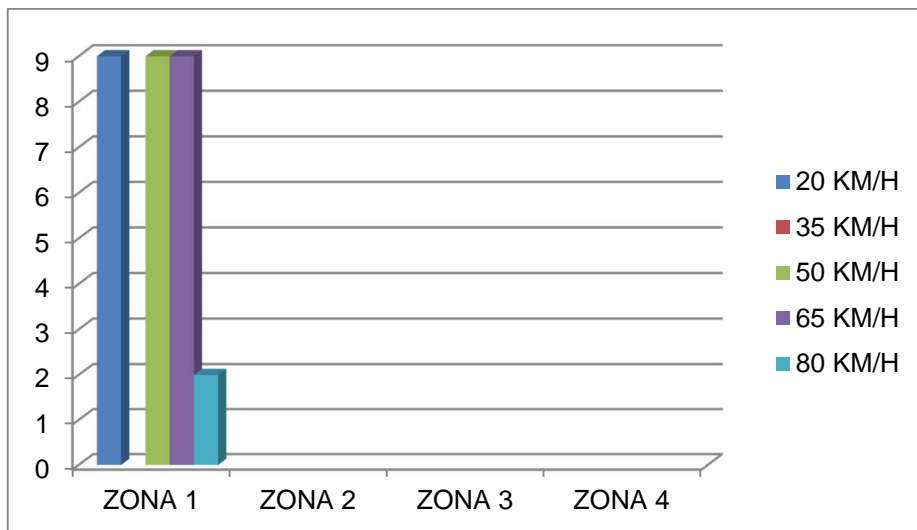


Figura núm. 7-287. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody mujer adulta y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.



#### **7.3.4.7. Conclusiones al estudio comparativo del impacto de la cabeza del peatón mujer adulta.**

La cabeza del multibody ha impactado en todos los vehículos en la zona 1, en el turismo Seat Ibiza 1.0 y Porsche 911 Carrera en la zona 2, y en éste último además en la zona 3.

La geometría del frontal del vehículo tiene una importancia decisiva para que la cabeza del multibody impacte en las zonas 2 y 3 (Seat Ibiza 1.0 y Porsche 911 Carrera), y como viene siendo habitual, la ausencia de impacto viene generalmente condicionada por una trayectoria post-atropello Forward Projection. La velocidad de atropello no tiene relación con el lugar de impacto en las zonas 2 y 3 dada la variabilidad de resultados.

### 7.3.5. PEATÓN HOMBRE ADULTO

#### 7.3.5.1. Peatón hombre adulto. Porsche 911 Carrera

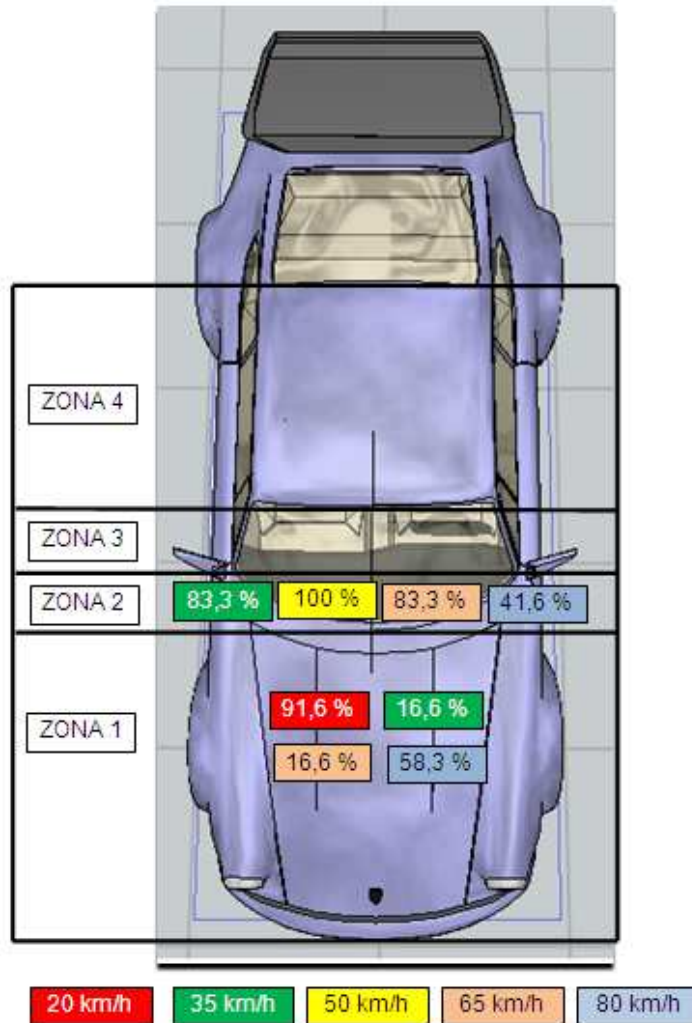


Figura núm. 7-288. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

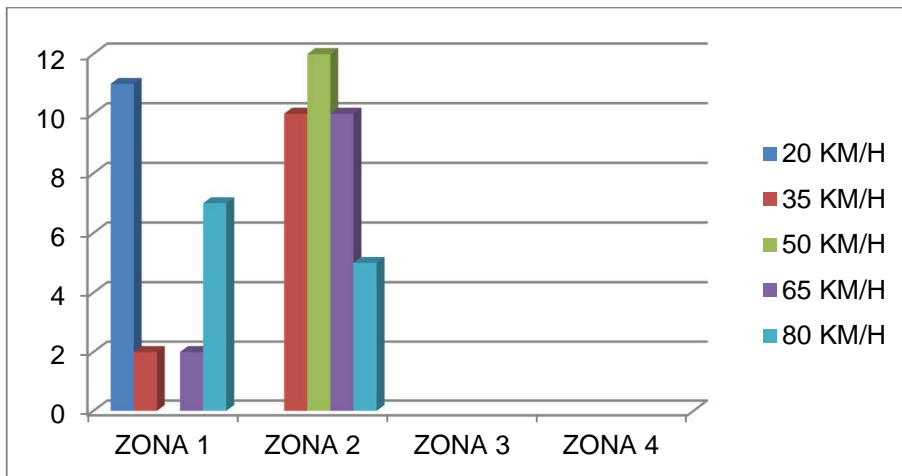


Figura núm. 7-289. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Porsche 911 Carrera a distintas velocidades de atropello.

**7.3.5.2. Peatón hombre adulto. Mercedes Benz CL5 350**

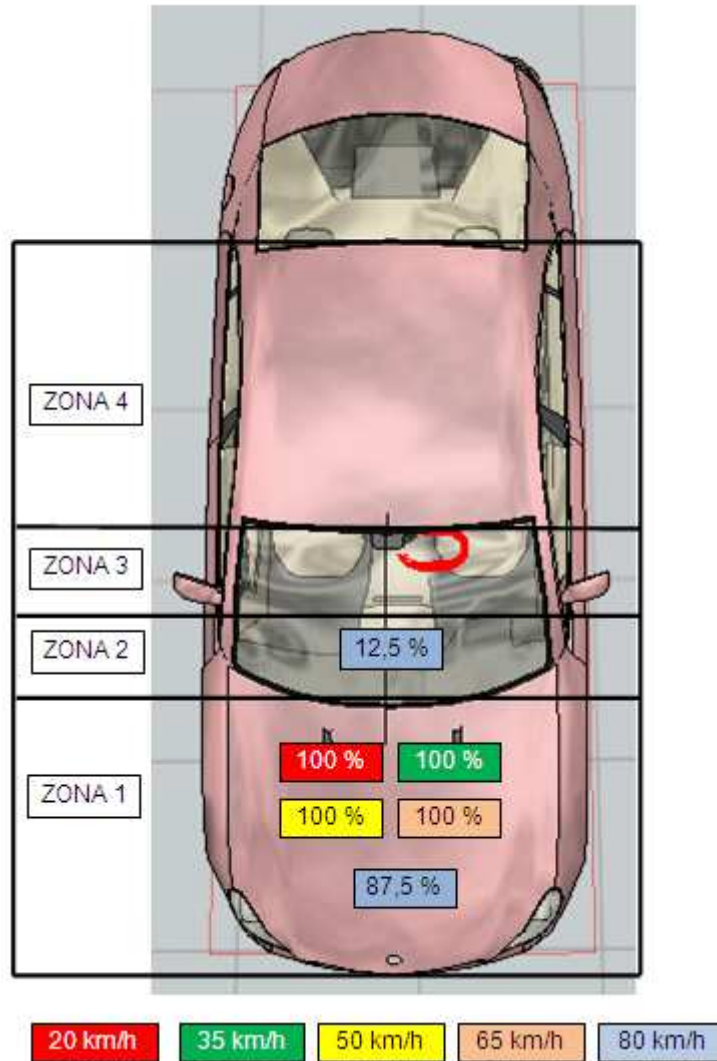


Figura núm. 7-290. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

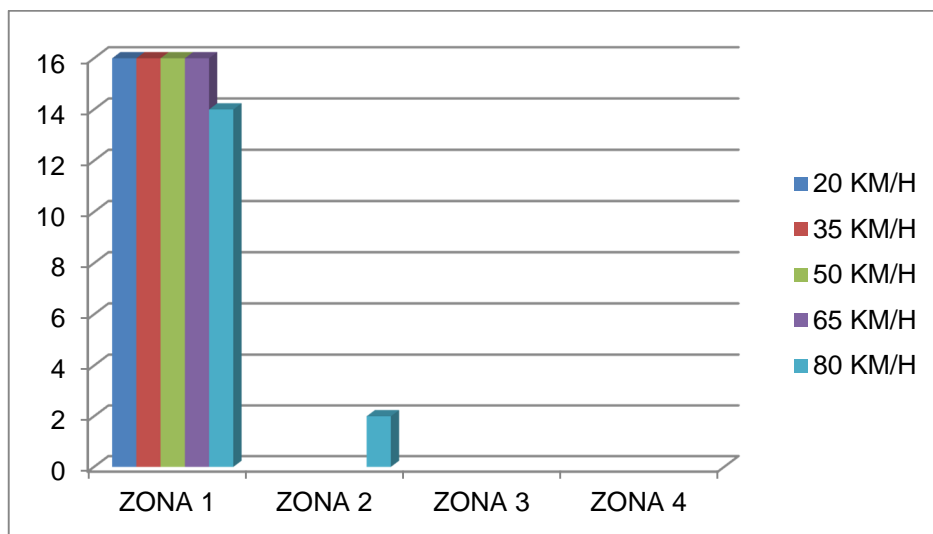


Figura núm. 7-291. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Mercedes Benz CL35 350 a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.5.3. Peatón hombre adulto. Renault Scenic 1.9 dCi

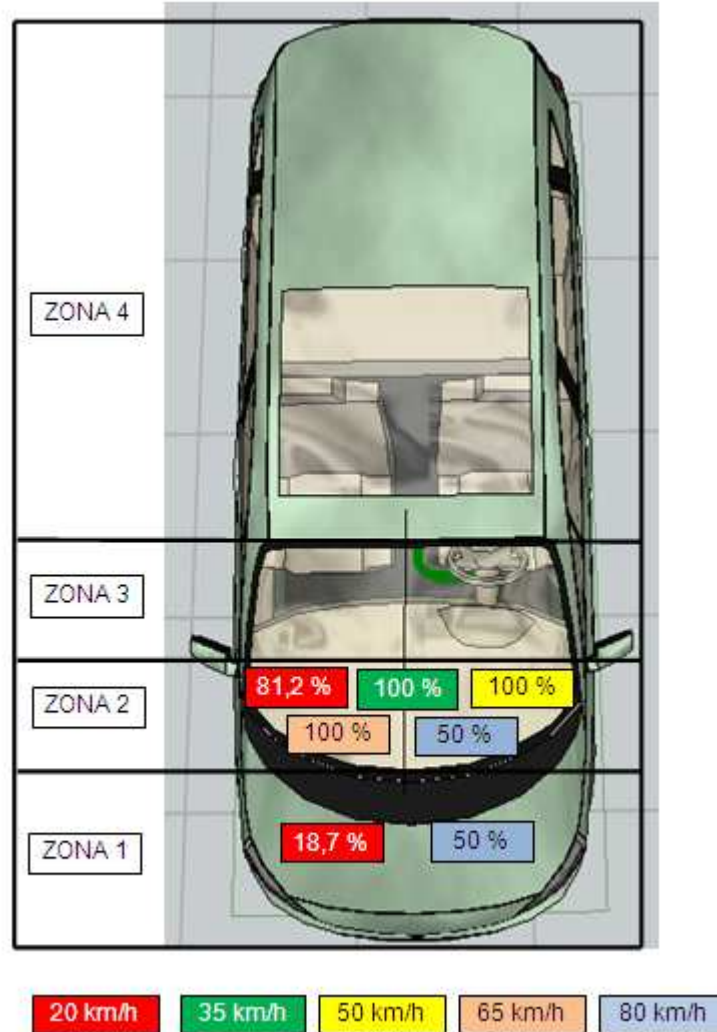


Figura núm. 7-292. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.

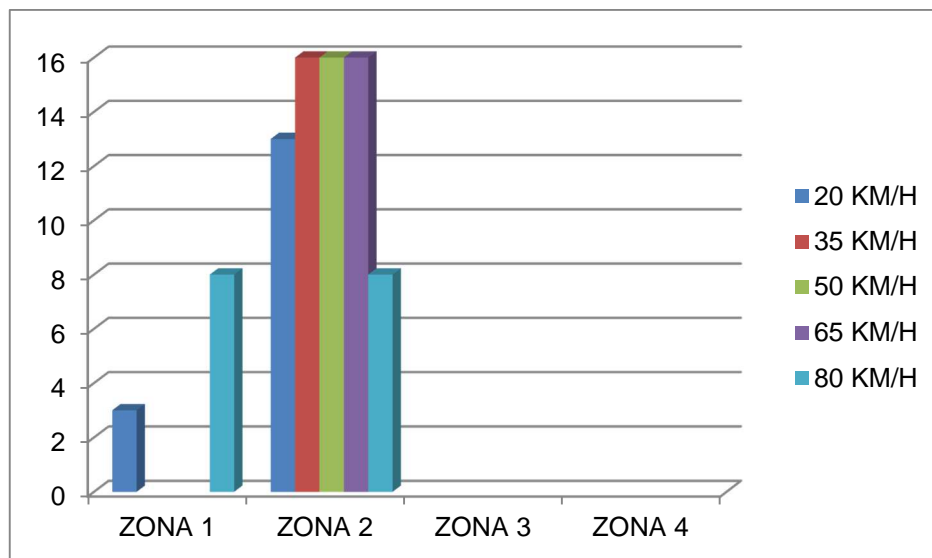


Figura núm. 7-293. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Renault Scenic 1.9 dCi a distintas velocidades de atropello.

7.3.5.4. Peatón hombre adulto. Seat Ibiza 1.0

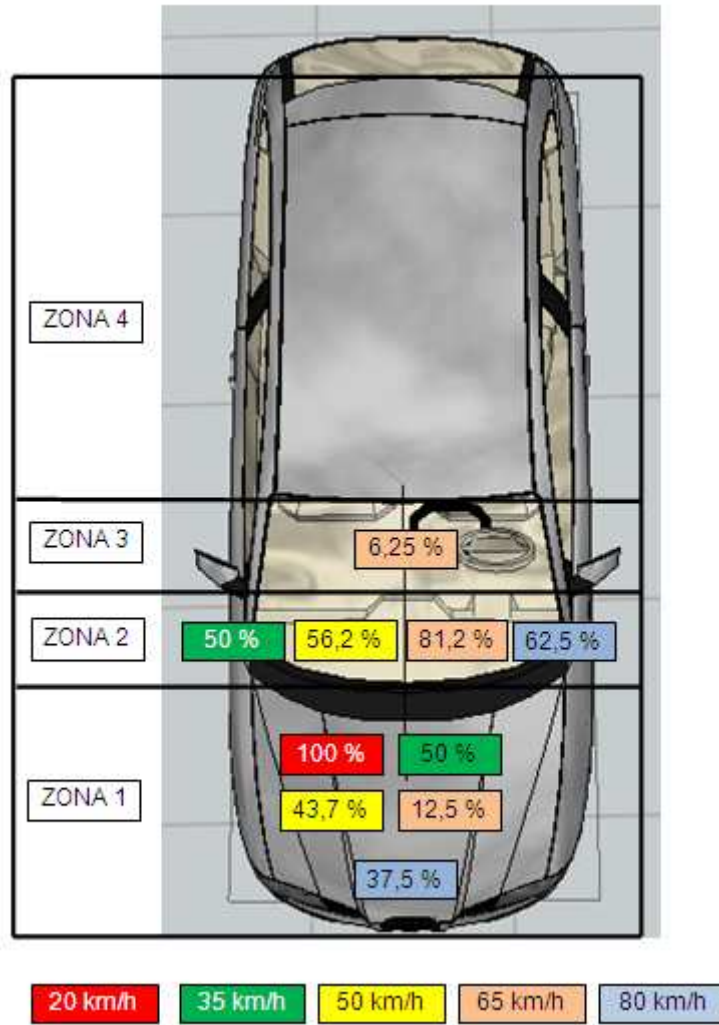


Figura núm. 7-294. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.

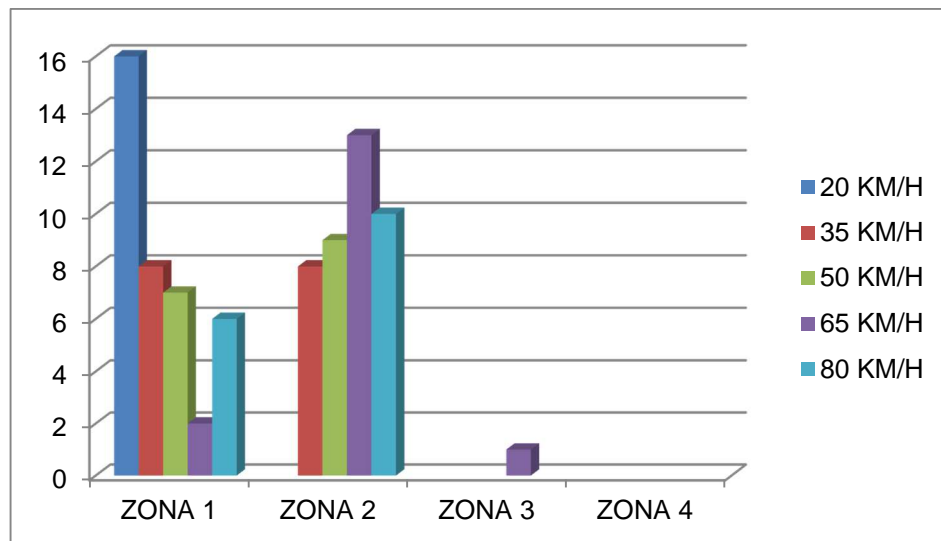


Figura núm. 7-295. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Seat Ibiza 1.0 a distintas velocidades de atropello.

### 7.3.5.5. Peatón hombre adulto. Volvo 460 1.8

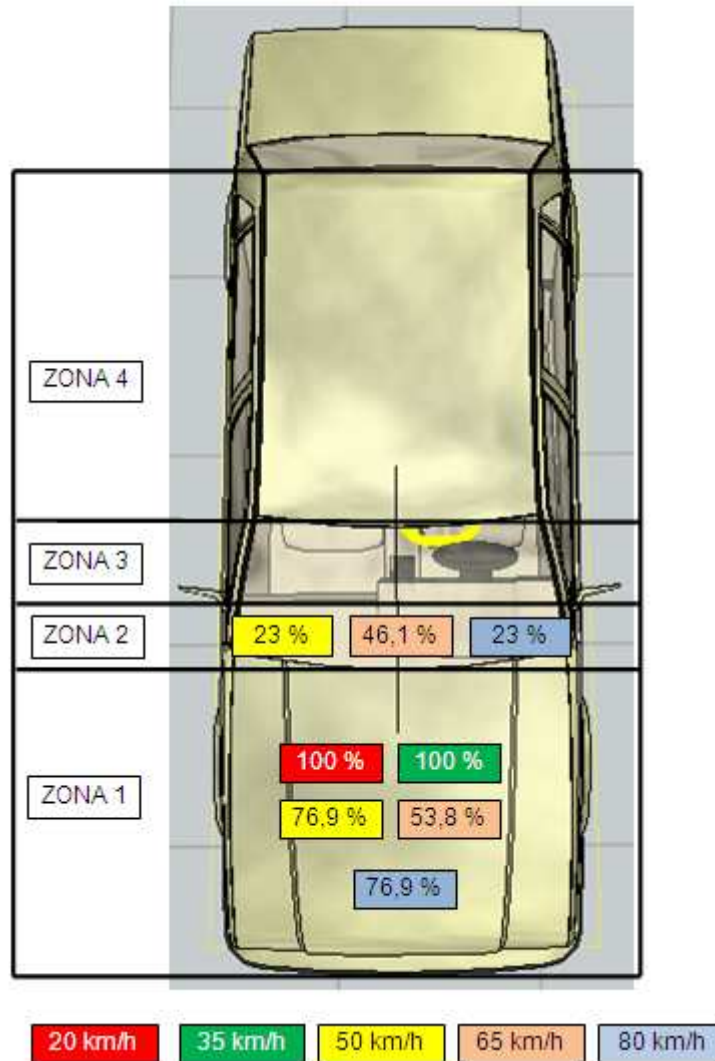


Figura núm. 7-296. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.

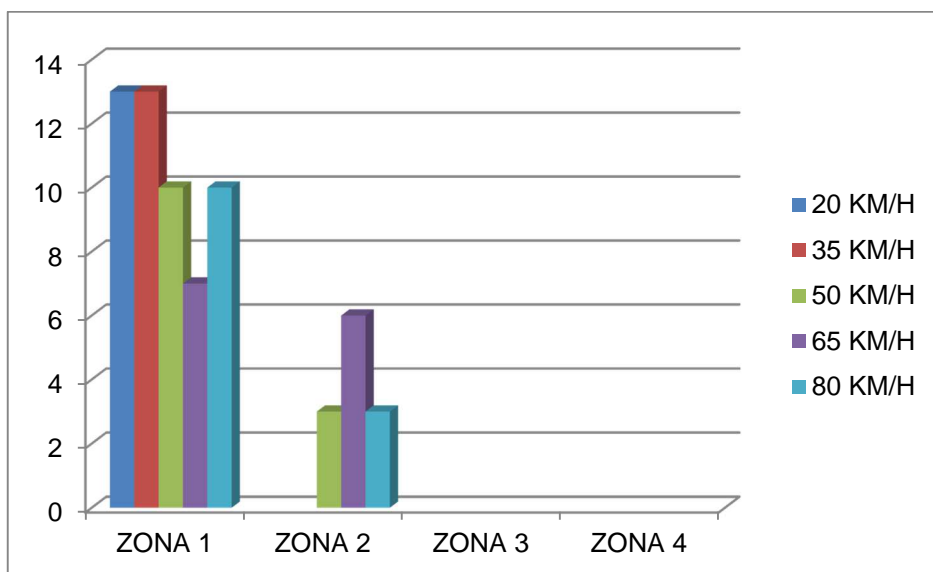


Figura núm. 7-297. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Volvo 460 1.8 a distintas velocidades de atropello.

7.3.5.6. Peatón hombre adulto. Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3

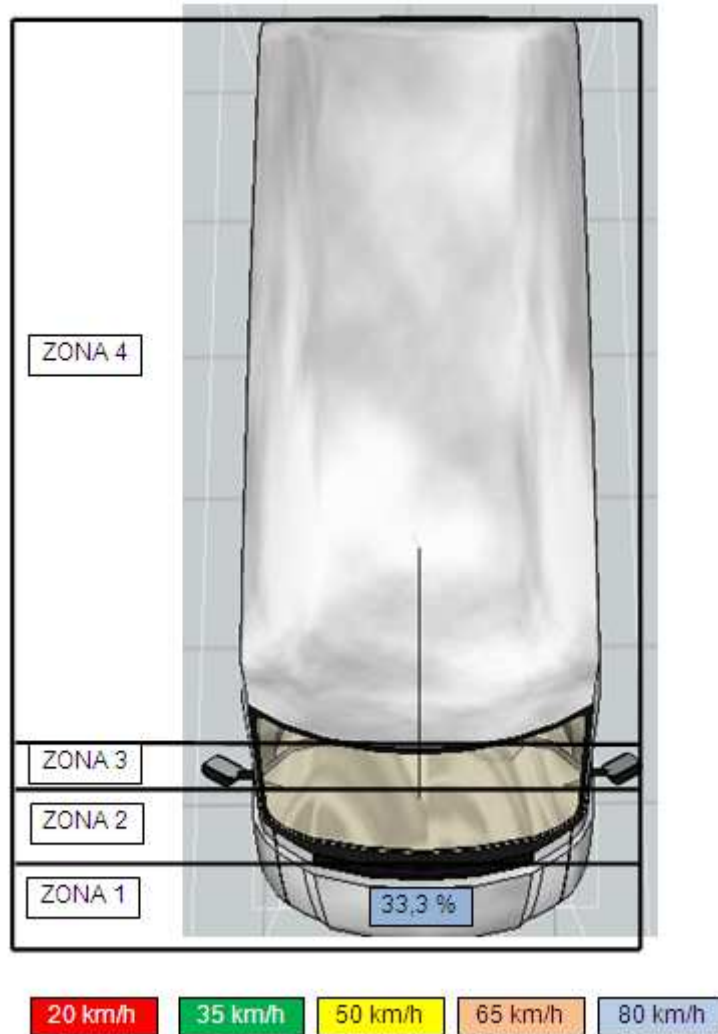


Figura núm. 7-298. Relación porcentual de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.

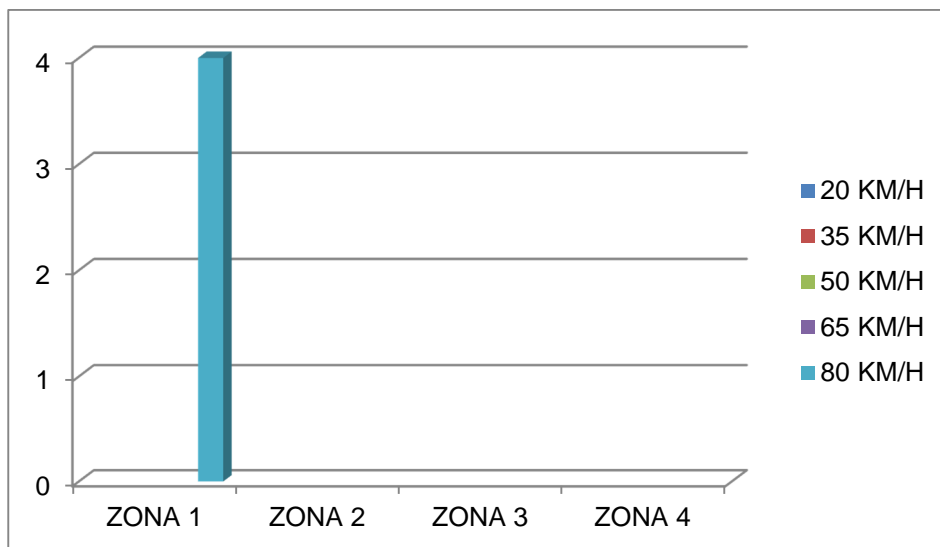


Figura núm. 7-299. Relación numérica de los impactos de la cabeza de un multibody hombre adulto y la zona en la que impacta de un vehículo Volkswagen LT 28 2.3 a distintas velocidades de atropello.

### **7.3.5.7. Conclusiones al estudio comparativo del impacto de la cabeza del peatón hombre adulto.**

Todos los vehículos han resultado con impactos de la cabeza del multibody en las zonas 1 y 2, salvo la Furgoneta Volkswagen LT 28 2.3 que solo ha resultado afectada en la zona 1 y el vehículo Seat Ibiza 1.0 que además ha resultado con impactos en la zona 3.

La geometría del frontal del vehículo, junto con la altura del peatón, así como la trayectoria post-atropello, y en menor medida la velocidad de atropello, tienen gran influencia en los posibles impactos de la cabeza del multibody sobre el vehículo. La ausencia de impacto de la cabeza está generalmente relacionada con una trayectoria post-atropello Forward Projection. No existe relación entre el aumento de velocidad de atropello y el impacto de la cabeza en las zonas 2 y 3, como ocurre con el impacto en la zona 3 del turismo Seat Ibiza 1.0, el cual se ha producido a velocidad de 65 km/h y no a 80 km/h.



# **CAPÍTULO 8**

## **CONCLUSIONES**



## CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

### 8. CONCLUSIONES

En esta tesis se ha realizado un pormenorizado análisis de distintos métodos físico-matemáticos de cálculo existentes para estimar la velocidad del vehículo en el momento de atropello a peatones, comparando los resultados obtenidos y sus variables, con el programa informático de simulación de accidentes Virtual Crash, permitiendo concluir lo siguiente:

**Primera:** Se han realizado 1435 simulaciones de atropellos a peatones, debiendo invalidar 222 por anomalías sufridas durante su realización, alcanzándose un porcentaje de casi un 85 % de simulaciones válidas.

**Segunda:** Las simulaciones en las que se ha utilizado el multibody configurado como peatón de diez años han sido las que han sufrido un mayor número de anomalías, concluyéndose que la geometría del vehículo, así como su talla y peso, en este caso concreto, tienen una influencia decisiva en las trayectorias post-atropello y en las anomalías detectadas.

**Tercera:** Antes de elegir un método físico-matemático para estimar la velocidad del vehículo en el momento del atropello a un peatón, es imprescindible conocer la distancia de proyección sufrida por el peatón, altura y peso de éste, geometría del vehículo y trayectoria post-atropello sufrida.

**Cuarta:** En general, las simulaciones realizadas con el programa Virtual Crash, muestran resultados (distancia de proyección en función de la velocidad de atropello) superiores a los obtenidos con los modelos físico-matemáticos, entendiéndose por tanto, que las velocidades que se obtengan utilizando estos modelos, con datos recogidos en el lugar del accidente, serán inferiores a las velocidades reales a las que se produjeron los atropellos.

**Quinta:** Los métodos que hacen uso de deceleraciones en los vehículos en el momento del atropello, en general, son más fiables que el resto de métodos.

**Sexta:** Dentro de las variables que intervienen en la biomecánica del atropello, se exponen a continuación las circunstancias generales constatadas en este trabajo tras la realización de las simulaciones con el programa Virtual Crash:

- Se ha constatado que a mayor velocidad de atropello, mayor aceleración del peatón y por tanto mayor distancia de proyección, siendo ésta proporcional en función de la velocidad de atropello.
- Se ha demostrado que la geometría del vehículo, en íntima relación con el tamaño y peso del peatón atropellado, tienen una influencia decisiva tanto en la trayectoria post-atropello seguida por el peatón como en la distancia de proyección de éste.
- Se determina que el atropello producido en fase de frenada del vehículo, implica una distancia de proyección para el peatón menor, así como trayectorias post-atropello diferentes a las existentes en las mismas condiciones sin frenada del vehículo.
- Se establece que a menor coeficiente de fricción peatón-calzada, mayor deslizamiento sufrirá el peatón y por tanto, mayor será la distancia recorrida desde el punto del atropello hasta su posición final.

**Séptima:** A continuación se expresará, para qué tipo de atropello es más adecuado el modelo físico-matemático según la comparativa realizada con el programa Virtual Crash.

#### **Modelo teórico de Stcherbatcheff.**

La utilización de este modelo físico-matemático es bastante fiable ante atropellos con deceleraciones medias objetivadas, sin distinción de tamaño del peatón y para trayectorias post-impacto Wrap o Forward Projection.

#### **Modelo teórico de Collins.**

Como así lo recomendó su autor, al tener mayor grado de fiabilidad, la utilización de este modelo es más adecuada cuando los peatones siguen una trayectoria horizontal post-impacto (Forward Projection), teniendo en cuenta la altura de su centro de gravedad y la geometría del vehículo que lo atropella, indicado por tanto, especialmente, para peatones niños o adultos atropellados con las mencionadas características.

#### **Modelo teórico de Searle.**

La utilización de este modelo físico-matemático es adecuado para peatones adultos a velocidades de atropello superiores a 50 km/h con trayectorias post-impacto que impliquen volteo del peatón. En el caso de peatones niños su utilización no requeriría ninguna circunstancia especial (velocidad de atropello, geometría, trayectoria post-impacto).

**Modelo teórico de Wood.**

Según el estudio realizado, la utilización del modelo físico-matemático es más adecuado para peatones de pequeño tamaño (niños) donde el grado de fiabilidad es más alto, independientemente del coeficiente de rozamiento peatón-suelo y con trayectorias post-impacto Forward Projection. En cuanto a su utilización con otros peatones, en general a velocidades de atropello altas se obtiene más fiabilidad, sin tener en cuenta ni el coeficiente de rozamiento peatón-calzada ni la trayectoria post-impacto.

**Modelo teórico de Fricke.**

La conclusión tras el estudio es que la utilización del modelo físico-matemático es adecuado para peatones menores y en el caso de adultos, cuando la velocidad de atropello se estime superior a 50 km/h, imperando siempre en los dos casos una trayectoria post-impacto Forward Projection.

**Modelo teórico de Limpert.**

El modelo matemático es bastante adecuado para su utilización en atropellos en los que se encuentren presentes deceleraciones bajas por parte del vehículo, independientemente del tamaño del peatón o de la trayectoria post-impacto sufrida. Para deceleraciones más altas, su uso se debería restringir a peatones adultos con estimaciones de velocidad de atropello superiores a 50 km/h y con trayectorias post-impacto que impliquen volteo.

**Modelo teórico Híbrido de Wood.**

Para este modelo físico-matemático se determina que debería utilizarse, a velocidades estimadas de atropello superiores a 50 km/h, con coeficientes de rozamiento peatón-calzada altos y con trayectorias post-impacto de volteo para adultos y Forward Projection para peatones menores.

**Modelo teórico de Han y Brach.**

La utilización del modelo físico-matemático es más adecuado para peatones menores (niños), con coeficientes de rozamiento peatón-calzada medios y altos, además de trayectorias post-impacto Wrap o Forward Projection.

**Modelo empírico de Appel.**

Realizado el estudio se determina que el modelo físico-matemático debería ser utilizado en su expresión general sobre todo en atropellos a peatones menores con coeficientes de fricción peatón-calzada altos. Con respecto a las expresiones que tienen en cuenta las geometrías de los vehículos, únicamente debería utilizarse la relativa a frontales altos, para peatones menores, con coeficientes de fricción peatón-calzada altos y trayectorias post-impacto Forward Projection.

**Modelo empírico de Sturtz.**

El resultado obtenido con este modelo indica que su utilización debe hacerse con muchas reservas en función de las siguientes circunstancias:

- Vehículo geometría Frontal alto: Peatones niños y velocidades estimadas superiores a 50 km/h.
- Vehículo geometría Frontal bajo: Peatones adultos y velocidades estimadas bajas (20-35 km/h).
- Vehículo geometría Frontal tipo caja: Sin distinción del tamaño del peatón y a velocidades estimadas bajas (20-35 km/h).

### **Modelo empírico de Wood.**

Al igual que aconseja su autor, el modelo físico-matemático se debe utilizar para peatones menores, con coeficientes de fricción altos y trayectoria post-impacto Forward Projection.

### **Modelo de Happer (desperfectos en el vehículo).**

La geometría del frontal del vehículo, junto con la altura del peatón, así como la trayectoria post-atropello, y en menor medida la velocidad de atropello, tienen gran influencia en los posibles impactos de la cabeza del multibody sobre el vehículo, de tal manera que no se puede establecer una relación entre las variables citadas a la hora de poder estimar una velocidad de atropello, estando el uso de este modelo muy restringido, únicamente a efectos de referencia y en ningún caso como dato objetivo de velocidad.



## **BIBLIOGRAFÍA**



## BIBLIOGRAFÍA

- [Appel, et al, 1975] Appel, H, Sturtz, G y Gotzen, L. "Influence of Impact Speed and Vehicle Parameter on Injuries of Children and Adults in Pedestrian Accidents", Proceedings of the Second International IRCOBI Conference. 9-11 Septiembre Birmingham (Reino Unido) 1975.
- [Aronberg y Snider, 1994] Aronberg, R. Snider, A., "Reconstruction of Automobile/Pedestrian Accidents Using CATAPULT," SAE Technical Paper 940924, 1994, doi:10.4271/940924. International Congress and Exposition. Detroit (Michigan, USA). 28 Febrero – 3 Marzo 1994.
- [Aronberg,1990] Aronberg, R., "Airborne Trajectory Analysis Derivation for Use in Accident Reconstruction," SAE Technical Paper 900367, 1990, doi:10.4271/900367.
- [Brach y Brach, 2005] Brach, R.M. y Brach,M. "Vehicle accident Analysis and Reconstruction Methods". Edición SAE. Warrendale (Estados Unidos). 2005.
- [Campón, 2005] Campón Domínguez, J A. Módulo XII. "Dinámica aplicada a la reconstrucción de accidentes. Parte B: Principios físicos aplicados a la reconstrucción de accidentes: El atropello a peatones" en Máster en Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tráfico" Universidad de Valencia. ALFA DELTA S.L. Valencia.2005.
- [Collins, 1979] Collins, J.C. "Accident Reconstruction". Charles C. Thomas Publisher. Springfield – Illinois (USA). 1979.
- DIN 75204-1-1992. Road vehicles; traffic accident analysis; concepts associated with accident reconstruction German Institute for Standardization (DIN)

- [Eubanks y Haight, 1992] Eubanks, J. y Haight, W., "Pedestrian Involved Traffic Collision Reconstruction Methodology," SAE Technical Paper 921591, 1992, doi:10.4271/921591.
- [Eubanks et al, 2004] Eubanks, Hill, F.P. y Casteo, A.D., "Pedestrian accident reconstruction and litigation" Lawyers & Judges Publishing Company, Tucson, Arizona (USA). 2004.
- [Fricke, 1990]. Fricke Lynn B. "Topic 877. Vehicle-pedestrian accident reconstruction" en Traffic Accident Reconstruction (Volume 2 of the Traffic Accident Investigation Manual). Edición Northwestern University Institute. Evanston, Illinois (USA). 1990.
- [Greetham y Guenther, 1983] Greetham, T. y Guenther, D., "An Analysis of Head Injuries in Real world Pedestrian Accidents," SAE Technical Paper 830057, 1983, doi:10.4271/830057.
- [Haight y Eubanks, 1992] Haight, W. y Eubanks, J., ., "Pedestrian Involved Traffic Collision Reconstruction Methodology," SAE Technical Paper 921591, 1992, doi:10.4271/921591.
- [Han y Brach, 2001] Han, I. Brach, R., "Throw Model for Frontal Pedestrian Collisions," SAE Technical Paper 2001-01-0898, 2001, doi:10.4271/2001-01-0898. SAE 2001 World Congress Detroit (Michigan, USA). 5-8 Marzo 2001.
- [Happer et al., 2000] Happer, A., Araszewski, M., Toor, A., Overgaard, R., "Comprehensive Analysis Method for Vehicle/Pedestrian Collisions," SAE Technical Paper 2000-01-0846, 2000, doi:10.4271/2000-01-0846. SAE 2000 World Congress Detroit (Michigan, USA). 6-9 Marzo 2000.
- [Limpert, 1999] Limpert, R. "Chapter 35. Car pedestrian accident" en "Motor vehicle accident reconstruction and cause analysis" Limpert, R. Editorial Lexis Publishing. Charlottesville, Virginia (USA). 1999.

- [Luque y Álvarez, 2007] Luque Rodríguez, P. Álvarez Mantarás, D. "Investigación de Accidentes de Tráfico – Manual de Reconstrucción". Netbiblo S.L. Oleiros (A Coruña) 2007.
  
- [Moser et al, 2000] Moser, H. Hoschopf, A., Steffan, H., Kasanický, G., "Validation of the PC-Crash Pedestrian Model," SAE Technical Paper 2000-01-0847, 2000, doi: 10.4271/2000-01-0847. International Congress and Exposition. Detroit (Michigan, USA). 6-9 Marzo 2000.
  
- [Niederer y Schlumpt, 1984] Niederer P.F. y Schlumpt M.R., "Influence of Vehicle Front Geometry on Impacted Pedestrian Kinematics," SAE Technical Paper 841663, 1984, doi:10.4271/841663.
  
- [Pritz, 1978] Pritz H., D."Comparison of the Dynamic Responses of Anthropomorphic Test Devices and Human Anatomic Specimens in Experimental Pedestrian Impacts," SAE Technical Paper 780894, 1978, doi:10.4271/780894.
  
- [Ravani et al., 1981] Ravani, B., Brougham, D., Mason, R., "Pedestrian Post-Impact Kinematics and Injury Patterns," SAE Technical Paper 811024, 1981, doi:10.4271/811024.
  
- [Searle y Searle, 1983] Searle, J. and Searle, A., "The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclists, etc., Following a Road Accident," SAE Technical Paper 831622, 1983, doi:10.4271/831622.
  
- [Searle, 1993] Searle, J., "The Physics of Throw Distance in Accident Reconstruction," SAE Technical Paper 930659, 1993, doi:10.4271/930659. International Congress and Exposition. Detroit (Michigan, USA). 1-5 Marzo 1993.

- [Severy y Brink, 1966] Severy, D. y Brink, H., "Auto-pedestrian collision experiments" SAE Technical Paper 660080, 1966, doi:10.4271/660080.
- [Stammen et al, 2002] Stammen J., Ko S., Guenther D. y Heydinger G., " A demographic Analysis and Reconstruction of Selected Cases from the Pedestrian Crash Data Study" SAE Technical Paper 2002-01-0560, doi:10.4271/2002-01-0560. SAE 2002 World Congress Detroit (Michigan, USA). 4-7 Marzo 2002.
- [Stcherbatcheff et al., 1975] Stcherbatcheff, G., Tarriere, C., Duclos, P., Fayon, A., Got A. y Patel A., "Simulation of Collisions Between Pedestrians and Vehicles Using Adult and Child Dummies," SAE Technical Paper 751167, 1975, doi:10.4271/751167.
- [Sturtz et al., 1976] Sturtz, G., Suren, E., Gotzen, L., Behrens, S. et al., "Biomechanics of Real Child Pedestrian Accidents," SAE Technical Paper 760814, 1976, doi:10.4271/760814.
- [Stürtz, 1977] Stürtz, G., "Traumatic and Cost Mainpoints of Injury Model and Cause of Injury Concerning Unrestraint and Restraint Child Car Occupants and Aggressivity and Cost of Injuries by Vehicle Front Shapes and Elements in Real Pedestrian Accidents," SAE Technical Paper 770941, 1977, doi:10.4271/770941.
- [Toor y Araszewski, 2003] Toor, A. y Araszewski, M., "Theoretical vs. Empirical Solutions for Vehicle/Pedestrian Collisions," SAE Technical Paper 2003-01-0883, 2003, doi:10.4271/2003-01-0883.
- [Warner et al, 1983] Warner, C., Smith, G., James, M., y Germane, G., "Friction Applications in Accident Reconstruction," SAE Technical Paper 830612, 1983, doi:10.4271/830612.

- [Wood y Riordain, 1989] Wood, D.P. y Riordan S.O. "Impact speed from bicycle, motorcycle and rider throw distance". Proceedings of Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference VI.. Fredericton, New Brunswick (Canadá). 5-7 de Junio de 1989.
- [Wood, 1991] Wood, D.P. "Application of a Pedestrian Impact Model to the Determination of Impact Speed," SAE Technical Paper 910814, 1991, doi:10.4271/910814.
- [Wood, 1995] Wood, D. "Chapter 2. Determination of speed from pedestrian throw" en "Forensic accident investigation: Motor Vehicles" Bohan, T. y Damask, A. Editorial Michie Butterworth Law Publishers. Charlottesville, Virginia (USA). 1995.
- [Wood D. y Simms C, 2000] "A hybrid model for pedestrian impact and projection". International Journal of Crashworthiness. Volumen 5. Año 2000.
- [Wood et al, 2005] Wood, D.P.; Simms, C.K. y Walsh D. G. "Vehicle-pedestrian collisions: validated models for pedestrian impact and projection". Proc. IMechE. Vol. 219 Part D: J. Automobile Engineering. 2005.





**PÁGINAS WEB  
CONSULTADAS**



## PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- [Cesari et al., 2007], Cesari D., Masson D. y Serre T. “Pedestrian-vehicle accident: Analysis of 4 full scale tests with PMHS”.Paper nº 07-0428. 20ª Edición International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV). Lyon (Francia). 2007. Último acceso 9/10/2013.  
<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv20/07-0428-W.pdf>
- [DGT, 2014] Dirección General de Tráfico. “Las principales cifras de siniestralidad vial España 2014”. Edición DGT. Madrid. 2016. Último acceso 6/10/2016.  
[http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/2015-2228\\_principales\\_cifras\\_de\\_la\\_Siniestralidad\\_Vial\\_2014\\_ACCESIBLE.pdf](http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/2015-2228_principales_cifras_de_la_Siniestralidad_Vial_2014_ACCESIBLE.pdf)
- <https://www.fisicalab.com>. Último acceso 13/06/2014.
- [Hamacher et al. 2012] Hamacher M., Eckstein L., y Paas R. “Vehicle Related Influence of Post-Car Impact Pedestrian Kinematics on Secondary Impact”. 2002 International Research Council on the Biomechanics of Injury (IRCOBI). 12-14 Septiembre 2012. Dublín (Irlanda). Último acceso 26/09/2013.  
[http://www.ircobi.org/downloads/irc12/pdf\\_files/78.pdf](http://www.ircobi.org/downloads/irc12/pdf_files/78.pdf)
- [Lyon y Simms, 2012] Lyons M. y Simms C.” Predicting the Influence of Windscreen Design on Pedestrian Head Injuries”. International Research Council on the Biomechanics of Injury (IRCOBI). 12-14 Septiembre 2012. Dublín (Irlanda). Último acceso 26/09/2013. Último acceso 26/09/2013.  
[http://www.ircobi.org/downloads/irc12/pdf\\_files/77.pdf](http://www.ircobi.org/downloads/irc12/pdf_files/77.pdf)
- [Melegh et al, 2007] Melegh, G; Vida, G; Sucha, D y Belobrad, G. “Simulation study of pedestrian run overs. Validation of the Virtual Crash program”. Último acceso 26/06/2014.  
[http://www.vcrash.com/download/article12/001/vcrash\\_en.pdf](http://www.vcrash.com/download/article12/001/vcrash_en.pdf).

- [NHTSA, 2016] National Highway Traffic Safety Administration. U.S. Department of Transportation. "Traffic Safety Facts 2014 Pedestrian". DOT HS 812 270. May 2016. Último acceso 6/10/2016.  
<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812270>.
  
- [ERSO, 2016] Traffic Safety Basic Facts 2016 –Pedestrians. European Road Safety Observatory 2016. Último acceso 6/10/2016.  
[http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/pdf/statistics/dacota/bfs2016\\_pedestrians.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/statistics/dacota/bfs2016_pedestrians.pdf).
  
- <http://vcrash.com/download/Vegyes12311/certificate.pdf>. Último acceso 26/06/2014.
  
- [http://www.vcrash.com/download/manual/english\\_short1.pdf](http://www.vcrash.com/download/manual/english_short1.pdf). Último acceso 4/03/2016.

**ANEXO**

**TABLAS RESULTADOS  
VIRTUAL CRASH**



## **ANEXO: TABLAS RESULTADOS VIRTUAL CRASH**

En el presente ANEXO se van ofrecer los resultados obtenidos en las simulaciones de atropellos realizadas con el programa Virtual Crash atendiendo a las siguientes variables:

- VELOCIDAD DEL VEHÍCULO EN EL MOMENTO DEL ATROPELLO
- TIPO DE PEATÓN
- VEHÍCULO
- MODELO MATEMÁTICO
- COEFICIENTE DE FRICCIÓN PEATÓN-CALZADA

En la parte final, se ofrecen los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas con deceleración del vehículo en el momento del atropello, añadiendo únicamente esa variable con respecto a las citadas anteriormente.

### HOMBRE ADULTO – PORSCHE 911 CARRERA

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	6,43	10,55	6,43	6,66	7,81	6,05	6,72
35 km/h	12,49	14,67	15,96	11,19	13,10	14,14	11,01
50 km/h	18,00	30,28	21,47	17,91	29,28	28,12	17,90
65 km/h	25,50	38,33	32,32	25,36	47,26	31,83	25,20
80 km/h	48,19	66,34	42,48	47,61	63,15	44,96	49,57

### HOMBRE ADULTO – MERCEDES BENZ CL5 350

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,43 Wood	0,54 Wood	0,66 Wood
20 km/h	9,69	11,28	9,24	8,96	13,44	10,10	9,72
35 km/h	14,35	17,31	13,50	14,52	17,66	18,93	13,11
50 km/h	18,68	12,19	20,68	18,70	27,15	31,70	23,00
65 km/h	26,98	40,59	28,76	27,39	42,77	39,17	32,40
80 km/h	43,52	99,02	82,50	76,08	69,26	61,62	78,36

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.



### HOMBRE ADULTO – RENAULT SCENIC 1.9 DCI

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,43 Wood	0,54 Wood	0,66 Wood	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	7,41	8,94	10,55	7,41	26,42	8,97	8,66	9,61	9,92	7,97
35 km/h	17,22	19,31	15,92	17,22	49,02	19,32	15,74	20,21	14,90	16,01
50 km/h	29,48	42,30	32,73	29,48	49,68	51,25	35,67	59,29	32,56	29,80
65 km/h	34,18	44,40	38,35	34,18	49,19	42,34	36,65	44,84	42,62	33,84
80 km/h	58,50	73,15	52,01	58,50	119,15	59,62	53,30	68,55	52,25	55,61

### HOMBRE ADULTO – SEAT IBIZA 1.0

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,43 Wood	0,54 Wood	0,66 Wood	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	7,74	6,36	7,61	7,17	8,28	7,03	8,76	6,61	6,27	5,78
35 km/h	15,39	20,48	16,32	16,32	22,24	18,37	16,47	23,14	17,67	16,92
50 km/h	27,67	64,02	24,93	26,85	30,00	27,75	27,68	31,12	32,29	50,56
65 km/h	33,59	59,28	29,56	31,87	41,78	35,17	30,32	53,60	45,32	39,32
80 km/h	33,25	69,08	38,27	34,24	54,05	45,31	40,76	88,42	62,78	62,74

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

### HOMBRE ADULTO – VOLVO 460 1.8

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle
20 km/h	8,77	8,03	9,34	8,70
35 km/h	27,94	21,90	31,36	30,09
50 km/h	14,64	20,82	16,10	14,60
65 km/h	29,29	26,75	33,56	29,73
80 km/h	68,07	70,14	53,31	52,13

### HOMBRE ADULTO – FURGONETA VOLKSWAGEN LT 28 2.3

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	6,87	13,20	7,06	6,08	10,51	8,03	5,81
35 km/h	19,94	15,99	15,98	12,68	18,83	16,46	12,50
50 km/h	29,38	29,56	29,31	22,26	40,04	27,59	20,72
65 km/h	47,19	55,61	31,75	37,42	65,16	40,46	35,20
80 km/h	65,60	71,37	68,65	47,22	73,71	51,82	81,08

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

### MUJER ADULTA – PORSCHE 911 CARRERA

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	29,37	16,92	25,37	30,51	18,03	25,37	30,15	17,88	15,07
35 km/h	16,24	14,40	13,36	18,04	15,01	13,36	16,73	14,19	14,76
50 km/h	77,60	79,71	65,89	44,97	51,30	65,89	42,31	76,71	69,14
65 km/h	30,56	25,79	24,08	34,91	28,52	24,08	32,01	27,35	24,99
80 km/h	41,87	33,69	31,22	47,96	37,41	31,22	45,28	35,23	35,33

### MUJER ADULTA – MERCEDES BENZ CL5 350

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach
20 km/h	7,21	6,28	6,23	8,00	6,63	6,23
35 km/h	13,78	11,59	11,28	15,84	13,06	11,28
50 km/h	26,94	22,15	21,11	32,01	24,43	21,11
65 km/h	61,07	38,71	39,63	70,34	43,97	39,63
80 km/h	61,61	48,57	46,21	74,66	54,54	46,21

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

MUJER ADULTA – RENAULT SCENIC 1.9 DCI

V / $\mu$ -Modelo	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	7,81	7,07	6,46	8,74	7,36	6,28	7,91	6,93	6,28
35 km/h	19,93	14,11	13,96	23,58	22,97	16,21	7,40	14,67	16,36
50 km/h	22,67	30,03	28,21	27,96	19,56	16,74	36,08	30,95	17, 29
65 km/h	78,77	55,93	33,99	99,42	46,71	36,89	53,14	50,74	34,63
80 km/h	61,96	49,10	49,61	70,99	55,19	45,39	83,68	88,72	47,43

MUJER ADULTA – SEAT IBIZA 1.0

V / $\mu$ -Modelo	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	8,12	6,84	7,10	8,59	7,22	7,10	8,32	7,27	7,13
35 km/h	16,05	14,65	12,98	18,55	15,28	12,98	17,27	14,92	13,07
50 km/h	30,05	24,63	26,21	35,85	23,40	26,21	32,98	26,02	24,88
65 km/h	50,45	42,69	42,99	63,60	47,73	42,98	54,43	45,55	40,81
80 km/h	61,03	55,85	51,36	72,51	52,34	51,36	69,00	53,42	55,08

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

MUJER ADULTA – VOLVO 460 1.8

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	8,07	7,60	6,21	8,66	8,07	6,21	16,11	16,69	17,82
35 km/h	16,20	14,04	12,98	17,75	14,35	12,98	26,80	24,12	29,96
50 km/h	26,20	21,77	21,41	29,95	23,28	21,41	40,91	36,38	65,33
65 km/h	38,13	29,89	27,04	44,33	34,16	27,04	62,31	46,74	71,02
80 km/h	78,98	69,67	53,78	94,52	57,87	53,78	73,08	119,78	50,05

MUJER ADULTA – FURGONETA VOLKSWAGEN LT 28 2.3

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	7,09	6,09	6,01	17,38	6,60	13,05	7,44	6,29	6,71
35 km/h	12,32	11,10	9,82	29,32	11,88	23,01	17,69	11,37	9,99
50 km/h	26,86	24,72	29,12	43,85	25,58	33,24	30,77	23,92	25,97
65 km/h	49,57	66,20	49,27	70,13	57,46	47,04	60,82	51,30	42,23
80 km/h	64,12	50,49	44,37	88,33	49,63	60,24	67,55	51,29	43,05

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

NIÑO 10 AÑOS – PORSCHE 911 CARRERA

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins
20 km/h	24,61
35 km/h	15,27
50 km/h	71,01
65 km/h	59,49
80 km/h	114,81

NIÑO 10 AÑOS – MERCEDES BENZ CL5 350

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,43 Wood	0,54 Wood	0,66 Wood
20 km/h	8,60	29,60	21,66	9,16
35 km/h	18,49	26,58	22,77	22,17
50 km/h	52,03	52,36	66,25	75,09
65 km/h	45,99	62,22	49,20	63,60
80 km/h	43,39	66,15	55,80	49,19

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

### NIÑO 10 AÑOS – RENAULT SCENIC 1.9 DCI

<i>V /μ-Modelo</i>	0,8 Collins	0,43 Wood	0,54 Wood	0,66 Wood
20 km/h	7,29	30,90	29,83	7,02
35 km/h	24,26	21,77	21,54	20,85
50 km/h	22,22	39,26	31,51	22,90
65 km/h	47,53	63,04	59,72	46,55
80 km/h	51,35	76,36	59,72	62,55

### NIÑO 10 AÑOS – SEAT IBIZA 1.0

<i>V /μ-Modelo</i>	0,8 Collins	0,43 Wood	0,54 Wood	0,66 Wood
20 km/h	13,36	28,33	18,68	13,02
35 km/h	16,02	52,14	29,93	24,35
50 km/h	18,44	27,59	24,06	19,99
65 km/h	28,31	46,85	41,32	31,56
80 km/h	48,17	71,19	62,22	55,54

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

### NIÑO 10 AÑOS – VOLVO 460 1.8

<i>V /<math>\mu</math>-Modelo</i>	0,8 Collins
20 km/h	13,23
35 km/h	44,33
50 km/h	54,36
65 km/h	27,83
80 km/h	46,74

### NIÑO 10 AÑOS – FURGONETA VOLKSWAGEN LT 28 2.3

<i>V /<math>\mu</math>-Modelo</i>	0,8 Collins
20 km/h	4,94
35 km/h	11,93
50 km/h	17,27
65 km/h	28,83
80 km/h	36,69

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.



### NIÑO 6 AÑOS – PORSCHE 911 CARRERA

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	12,66	19,12	10,80	12,28	12,00	10,80	15,18	15,18	14,77
35 km/h	20,20	20,51	20,45	33,08	30,88	20,45	31,22	31,22	33,60
50 km/h	44,31	33,98	35,29	33,07	41,73	35,29	33,34	32,70	32,70
65 km/h	62,05	54,69	42,42	72,10	51,04	42,42	74,85	68,71	71,31
80 km/h	96,55	66,33	54,86	86,36	84,43	54,86	91,45	87,75	84,93

### NIÑO 6 AÑOS – MERCEDES BENZ CL5 350

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	9,18	8,58	4,95	18,22	7,93	5,18	6,15	5,23	4,95
35 km/h	16,46	10,12	10,84	18,43	14,21	13,00	16,22	11,12	10,84
50 km/h	29,97	19,29	18,73	32,39	29,16	18,58	29,44	33,15	18,73
65 km/h	60,40	41,02	32,58	70,59	48,05	51,24	83,37	43,40	44,77
80 km/h	60,20	48,91	42,25	81,03	57,65	42,82	78,05	54,35	47,49

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

NIÑO 6 AÑOS – RENAULT SCENIC 1.9 DCI

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	5,32	4,23	4,75	7,36	4,96	4,75	6,28	4,87	4,75
35 km/h	13,61	11,19	10,99	18,22	12,98	16,96	17,03	10,24	10,99
50 km/h	29,02	21,87	20,02	30,01	59,66	26,02	30,73	23,08	20,02
65 km/h	54,61	37,64	31,54	51,86	46,53	30,20	49,22	51,13	31,54
80 km/h	67,52	49,67	34,67	69,00	53,53	36,55	78,96	82,80	34,67

NIÑO 6 AÑOS – SEAT IBIZA 1.0

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	8,14	5,46	4,80	7,45	6,06	27,87	6,63	6,11	4,80
35 km/h	17,29	12,05	11,65	17,84	18,17	13,54	35,79	13,41	11,66
50 km/h	32,92	21,54	26,97	53,67	37,81	20,56	31,89	28,50	26,97
65 km/h	50,50	35,10	32,88	64,33	42,11	47,63	49,54	38,66	32,88
80 km/h	76,84	51,03	62,04	75,20	64,66	47,10	68,72	51,48	62,04

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

NIÑO 6 AÑOS – VOLVO 460 1.8

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	12,06	14,18	7,51	8,31	10,00	7,13	9,39	17,39	7,13
35 km/h	18,17	17,98	25,22	20,83	18,18	25,80	23,88	15,82	25,80
50 km/h	26,50	27,42	18,69	33,66	22,15	18,97	30,89	22,99	18,97
65 km/h	57,11	32,67	45,95	73,73	40,61	51,07	46,63	42,99	51,07
80 km/h	64,10	40,16	46,67	86,77	103,13	46,65	57,55	46,98	46,65

NIÑO 6 AÑOS – FURGONETA VOLKSWAGEN LT 28 2.3

V/ $\mu$ -Modelo	0,5 Searle	0,7 Searle	0,9 Searle	0,4 Han y Brach	0,6 Han y Brach	0,8 Han y Brach	0,45 Appel	0,65 Appel	0,85 Appel
20 km/h	6,93	4,13	4,32	5,95	4,69	4,53	5,16	4,66	4,56
35 km/h	13,63	13,10	11,85	14,77	12,50	13,94	13,93	24,04	13,70
50 km/h	24,74	18,23	14,00	30,85	24,36	16,15	30,58	21,19	18,39
65 km/h	36,53	33,10	26,32	46,86	33,29	30,67	42,09	30,41	31,62
80 km/h	60,87	41,75	39,05	73,48	51,12	36,64	59,77	45,35	36,74

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

### NIÑO 3,5 AÑOS – PORSCHE 911 CARRERA

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	6,14	12,16	8,93	6,85	7,66	11,92	6,64
35 km/h	15,83	14,71	18,61	12,03	20,47	19,88	16,90
50 km/h	42,01	37,06	33,62	36,26	40,03	32,29	25,79
65 km/h	35,99	75,04	36,88	39,41	56,50	55,73	39,70
80 km/h	55,36	66,74	50,82	55,90	80,91	77,67	53,39

### NIÑO 3,5 AÑOS – MERCEDES BENZ CL5 350

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,43 Wood	0,54 Wood	0,66 Wood	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood
20 km/h	4,36	4,87	3,48	5,53	4,22	3,91	3,29
35 km/h	10,74	16,75	12,36	10,80	13,36	16,15	9,79
50 km/h	19,95	25,47	23,82	22,78	26,70	18,46	14,22
65 km/h	29,25	51,30	32,26	29,34	45,01	29,07	33,62
80 km/h	41,72	91,99	80,26	68,39	51,15	42,99	39,06

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

### NIÑO 3,5 AÑOS – RENAULT SCENIC 1.9 DCI

V/ $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,43 Wood	0,54 Wood	0,66 Wood	0,45 Fricke	0,6 Fricke	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	3,73	5,10	3,72	4,19	5,10	5,43	4,04	4,54	3,62	5,08	4,17	3,87
35 km/h	7,53	13,38	10,35	8,10	13,29	11,32	11,29	12,80	9,64	12,71	8,78	10,48
50 km/h	15,72	26,79	23,01	23,93	25,81	19,84	23,16	15,92	17,54	25,70	19,56	24,44
65 km/h	32,68	45,76	40,11	33,42	41,89	33,54	39,45	28,66	25,16	43,17	30,83	27,80
80 km/h	39,49	67,69	53,88	44,21	67,67	61,64	59,20	42,08	40,71	66,97	45,40	48,35

### NIÑO 3,5 AÑOS – SEAT IBIZA 1.0

V/ $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,43 Wood	0,54 Wood	0,66 Wood	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	4,09	5,99	4,67	6,60	5,31	4,24	3,42	5,67	4,17	3,25
35 km/h	9,86	15,16	12,99	9,87	12,44	9,23	6,97	14,19	10,02	6,76
50 km/h	19,24	31,75	25,98	19,41	25,09	20,12	19,64	28,43	21,26	22,13
65 km/h	26,76	41,97	36,79	30,13	35,70	27,91	29,47	40,03	31,16	27,17
80 km/h	46,90	66,22	55,87	43,96	56,69	43,30	36,46	61,39	49,24	39,61

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

### NIÑO 3,5 AÑOS – VOLVO 460 1.8

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	4,01	5,41	6,07	4,52	12,62	7,35	4,57
35 km/h	11,24	24,11	9,60	11,06	15,78	10,43	10,95
50 km/h	16,18	21,55	16,34	14,63	25,88	18,60	14,17
65 km/h	23,16	45,70	34,02	29,65	47,05	26,49	33,42
80 km/h	38,38	52,68	50,97	30,39	71,53	46,83	31,57

### NIÑO 3,5 AÑOS – FURGONETA VOLKSWAGEN LT 28 2.3

V / $\mu$ -Modelo	0,8 Collins	0,5 Híbrido Wood	0,7 Híbrido Wood	0,9 Híbrido Wood	0,45 Sturtz	0,65 Sturtz	0,85 Sturtz
20 km/h	6,35	4,01	4,15	3,41	5,06	3,66	3,39
35 km/h	8,01	12,04	10,00	8,57	13,30	9,58	8,75
50 km/h	17,74	23,34	19,37	16,17	25,30	20,13	16,24
65 km/h	29,11	42,82	29,76	29,10	44,53	32,24	28,28
80 km/h	37,98	57,34	47,03	36,57	63,07	44,34	37,46

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

### HOMBRE ADULTO – PORSCHE 911 CARRERA

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCH			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,52	3,04	2,75	2,60	2,14	1,78
35 km/h	8,91	8,95	7,98	7,51	6,69	5,44
50 km/h	20,48	14,51	15,71	15,24	13,54	11,77
65 km/h	28,06	26,91	21,95	19,22	19,50	19,03
80 km/h	33,86	32,32	36,23	34,60	38,24	39,71

### HOMBRE ADULTO – MERCEDES BENZ CL5 350

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCH			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,56	3,98	3,34	3,40	2,80	2,17
35 km/h	12,16	10,00	8,40	9,12	7,64	7,01
50 km/h	17,95	17,40	17,78	16,12	14,20	13,19
65 km/h	30,49	28,63	27,42	26,24	28,31	26,67
80 km/h	42,74	39,48	40,63	35,92	33,62	33,13

\*Distancias expresadas en metros

HOMBRE ADULTO – RENAULT SCENIC 1.9 DCI

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCHIFF			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,18	3,77	3,27	3,32	2,93	2,64
35 km/h	11,41	10,01	8,81	8,90	7,90	6,15
50 km/h	20,91	18,91	18,62	18,13	15,20	13,96
65 km/h	31,68	30,10	29,65	27,43	25,39	25,87
80 km/h	43,80	41,19	46,29	43,42	38,71	42,16

HOMBRE ADULTO – SEAT IBIZA 1.0

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCHIFF			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	3,80	3,28	2,90	3,05	2,34	2,30
35 km/h	10,78	9,32	7,80	7,91	6,73	6,20
50 km/h	20,95	15,95	16,32	16,29	14,23	11,94
65 km/h	37,52	31,64	27,54	27,11	23,40	19,04
80 km/h	36,83	44,65	39,64	31,00	34,30	34,50

\*Distancias expresadas en metros



### HOMBRE ADULTO – VOLVO 460 1.8

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCHIFF			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,23	3,37	2,94	2,94	2,41	1,96
35 km/h	11,33	9,58	8,21	8,38	8,18	6,02
50 km/h	17,89	14,56	16,32	16,54	14,05	14,56
65 km/h	28,61	33,23	29,60	28,21	26,01	20,68
80 km/h	51,68	46,68	40,42	39,44	39,48	39,48

### HOMBRE ADULTO – FURGONETA VOLKSWAGEN LT 28 2.3

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCHIFF			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,48	3,93	3,55	4,32	4,02	3,46
35 km/h	10,55	10,11	10,45	10,4	10,03	7,50
50 km/h	21,73	20,16	18,76	17,57	18,07	17,16
65 km/h	36,40	29,63	29,63	28,04	28,33	27,86
80 km/h	50,82	44,85	44,47	30,35	37,85	43,76

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

### NIÑO 6 AÑOS – PORSCHE 911 CARRERA

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCH			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,52	3,6	2,93	3,15	3,31	2,32
35 km/h	12,55	10,56	9,71	9,07	8,07	7,60
50 km/h	23,12	20,50	19,15	18,46	16,98	15,06
65 km/h	36,31	32,28	31,66	28,77	29,70	26,29
80 km/h	59,08	46,24	47,67	44,37	41,40	37,06

### NIÑO 6 AÑOS – MERCEDES BENZ CL5 350

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCH			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,06	3,60	5,63	4,16	3,45	4,06
35 km/h	10,79	10,60	10,00	9,00	8,52	8,98
50 km/h	21,46	19,76	19,63	19,82	22,77	17,13
65 km/h	39,34	32,34	29,25	30,88	31,72	30,22
80 km/h	58,42	46,11	45,96	43,83	42,87	45,10

\*Distancias expresadas en metros

### NIÑO 6 AÑOS – RENAULT SCENIC 1.9 DCI

V / $\mu$ - a	STECHEBATCHEFF			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,48	3,48	3,37	3,31	3,58	3,46
35 km/h	10,43	9,78	9,22	9,15	9,44	8,50
50 km/h	21,25	18,13	18,35	17,70	17,61	17,82
65 km/h	36,40	30,05	30,30	30,46	29,98	28,33
80 km/h	44,32	44,95	40,88	40,52	41,82	42,12

### NIÑO 6 AÑOS – SEAT IBIZA 1.0

V / $\mu$ - a	STECHEBATCHEFF			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,16	3,42	3,37	4,98	3,06	3,33
35 km/h	10,34	9,32	8,89	8,74	8,35	7,72
50 km/h	23,21	18,19	18,11	17,80	17,37	16,44
65 km/h	38,40	32,56	32,10	28,53	29,08	28,90
80 km/h	44,35	44,94	46,25	42,03	46,03	44,40

\*Distancias expresadas en metros

### NIÑO 6 AÑOS – VOLVO 460 1.8

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCHIFF			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	4,21	3,57	3,33	3,33	2,99	2,46
35 km/h	12,60	10,64	10,15	9,58	8,91	8,25
50 km/h	22,45	19,28	17,68	18,75	17,57	17,69
65 km/h	37,65	33,40	29,44	32,39	27,51	29,72
80 km/h	54,87	49,56	49,64	44,75	43,51	42,63

### NIÑO 6 AÑOS – FURGONETA VOLKSWAGEN LT 28 2.3

V/ $\mu$ - a	STECHERBATSCHIFF			LIMPERT		
	0,66 -4 m/s <sup>2</sup>	0,66 -5,5 m/s <sup>2</sup>	0,66 -7 m/s <sup>2</sup>	0,7 -6,86 m/s <sup>2</sup>	0,7 -8,82 m/s <sup>2</sup>	0,7 -11,77 m/s <sup>2</sup>
20 km/h	3,69	3,89	4,09	3,96	3,75	3,43
35 km/h	9,85	9,69	9,40	9,20	9,73	9,00
50 km/h	20,86	19,72	18,90	18,92	16,22	15,59
65 km/h	31,98	29,38	29,53	28,34	26,23	27,01
80 km/h	46,48	43,20	42,94	42,89	40,71	45,51

\*Distancias expresadas en metros

\*\*Las celdas sombreadas muestran resultados no válidos al haberse obtenido en atropellos que han presentado alguna anomalía.

