



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ANÁLISIS DE DEFECTOS EN LOS SISTEMAS  
DE FRENADO Y DIRECCIÓN DETALLADOS  
EN EL MANUAL DE ITV**

**PROYECTO FIN DE CARRERA  
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: MECÁNICA**

Autor: Arantxa Moreno Legazpe

Director: Prof. Daniel García-Pozuelo Ramos

Leganés, 2014

# 0. ÍNDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. La inspección periódica.....	1
1.2. Inspecciones y servicios.....	2
1.3. El Manual ITV ( <i>Revisión 7ª, Enero de 2012</i> ).....	3
1.4. Puntos a inspeccionar en la ITV.....	4
1.5. Principios de la Inspección ITV.....	5
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Estado del arte.....</b>	<b>8</b>
3.1. El sistema de frenado.....	8
3.1.1. Fuerza de frenado.....	8
3.1.2. Sistema de frenado en una banda de rodadura.....	9
3.1.3. Condiciones impuestas por la adherencia. Reparto óptimo de fuerzas de frenado en vehículos de dos ejes.....	10
3.1.4. El proceso de frenado.....	12
3.1.4.1. Rendimiento de frenado.....	12
3.1.4.2. Distancia de frenado.....	12
3.2. El sistema de dirección.....	15
3.2.1. Componentes del sistema de dirección.....	16
3.2.2. Cualidades del sistema de dirección.....	17
3.2.3. Tipos.....	18
3.2.4. Geometría de dirección.....	19
3.2.4.1. Ángulo de caída.....	20
3.2.4.2. Ángulo de salida.....	21
3.2.4.3. Ángulo de avance.....	22
3.2.4.4. Ángulo de convergencia.....	23



3.2.4.5.	Cotas conjugadas.....	25
3.3.	Adherencia.....	26
3.3.1.	Coeficiente de adherencia. Valor máximo y valor de deslizamiento puro.....	30
<b>4.</b>	<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>32</b>
4.1.	Software: CarSim.....	32
<b>5.</b>	<b>Análisis del sistema de frenado.....</b>	<b>37</b>
5.1.	Condiciones seleccionadas para la realización de las simulaciones.....	37
5.2.	Estudio de los diferentes defectos en el sistema de freno mediante herramientas de simulación.....	39
5.2.1.	Frenado inoperante de una o más ruedas.....	43
5.2.1.1.	Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con la rueda delantera derecha inoperante.....	43
5.2.1.2.	Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con la rueda delantera izquierda inoperante.....	49
5.2.1.3.	Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con la rueda trasera derecha inoperante.....	51
5.2.1.4.	Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con la rueda trasera izquierda inoperante.....	54
5.2.1.5.	Frenada de emergencia de un vehículo circulando por una autovía de tres carriles por sentido, con la rueda delantera derecha inoperante.....	57
5.2.1.6.	Frenada de emergencia de un vehículo circulando por una autovía de tres carriles por sentido, con la rueda delantera izquierda inoperante.....	61
5.2.1.7.	Frenada de emergencia de un vehículo circulando por una autovía de tres carriles por sentido, con la rueda trasera derecha inoperante.....	64

5.2.1.8.	Frenada de emergencia de un vehículo circulando por una autovía de tres carriles por sentido, con la rueda trasera izquierda inoperante.....	67
5.2.2.	Desequilibrio de las fuerzas de frenado entre las ruedas de un mismo eje, superior al 30%.....	70
5.2.2.1.	Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con desequilibrio en el eje delantero del 40% (rueda delantera derecha con menor capacidad de frenado).....	71
5.2.2.2.	Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con desequilibrio en el eje delantero del 40% (rueda delantera izquierda con menor capacidad de frenado).....	72
5.2.3.	Desequilibrio de las fuerzas de frenado entre las ruedas de un mismo eje, superior al 20% e inferior al 30%.....	73
5.2.3.1.	Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con desequilibrio en el eje delantero del 25% (rueda delantera derecha con menor capacidad de frenado).....	73
5.2.3.2.	Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con desequilibrio en el eje delantero del 25% (rueda delantera izquierda con menor capacidad de frenado).....	74
5.2.4.	Progresión no gradual del freno (agarre).....	75
5.2.5.	Retraso anormal en el funcionamiento de los frenos en cualquiera de las ruedas.....	76
5.2.6.	Fluctuación superior al 55% de las fuerzas de frenado de una rueda.....	76
5.2.7.	Fluctuación superior al 30% e inferior al 55% de las fuerzas de frenado de una rueda.....	77
5.2.8.	Existencia de fuerzas de frenado en ausencia de acción sobre el mando del freno.....	77
5.2.9.	Vehículo de la categoría 6 (M1): eficacia inferior al 50%.....	78



5.2.10.	Inexistencia del dispositivo antibloqueo en vehículos obligados a llevarlo.....	79
5.2.11.	Defectos de estado que impidan su función.....	79
<b>6.</b>	<b>Análisis del sistema de dirección.....</b>	<b>80</b>
6.1.	Condiciones seleccionadas para la realización de las simulaciones.....	80
6.2.	Estudio de los diferentes defectos en el sistema de freno mediante herramientas de simulación.....	81
6.2.1.	Apartado 7.1. del Manual de Procedimiento: Desviación de ruedas.....	83
6.2.1.1.	Maniobra de esquiwa realizada por un vehículo con el sistema de dirección en buen estado al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco.....	84
6.2.1.2.	Maniobra de esquiwa realizada por un vehículo con desalineación en las ruedas delanteras al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco.....	85
6.2.1.3.	Comparación entre las maniobras de esquiwa realizadas por un vehículo en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento seco.....	88
6.2.1.4.	Comparación entre las maniobras de esquiwa realizadas por un vehículo en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento mojado.....	91
6.2.1.5.	Comparación entre las maniobras de esquiwa realizadas por un vehículo de pequeñas dimensiones en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento seco.....	95
6.2.1.6.	Comparación entre las maniobras de esquiwa realizadas por un vehículo todoterreno en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento seco.....	98



6.2.1.7.	Comparación entre las maniobras de esquiwa realizadas por un vehículo todoterreno en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento seco con un remolque.....	101
6.2.1.8.	Comparación entre las maniobras de esquiwa realizadas por un vehículo de pequeñas dimensiones en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento mojado.....	104
6.2.1.9.	Comparación entre las maniobras de esquiwa realizadas por un vehículo todoterreno en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento mojado.....	105
6.2.1.10.	Comparación entre las maniobras de esquiwa realizadas por un vehículo todoterreno en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento mojado con un remolque.....	107
6.2.2.	Apartado 7.2. del Manual de Procedimiento: Volante y columna de dirección.....	109
6.2.2.1.	Maniobra de esquiwa realizada por un vehículo con el sistema de dirección en buen estado y otro que presenta holguras en dicho sistema al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco.....	110
6.2.2.2.	Maniobra de esquiwa realizada por un vehículo de pequeñas dimensiones con el sistema de dirección en buen estado y otro que presenta holguras en dicho sistema al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco.....	113
6.2.2.3.	Maniobra de esquiwa realizada por un vehículo todoterreno con el sistema de dirección en buen estado y otro que presenta holguras en dicho sistema al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco.....	114
6.2.3.	Apartado 7.3. del Manual de Procedimiento: Caja de dirección.....	116



6.2.3.1.	Maniobra de esquiwa realizada por un vehículo con el sistema de dirección en buen estado y otro que presenta agarrotamiento en dicho sistema al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco.....	117
6.2.4.	Apartado 7.4. del Manual de Procedimiento: Timonería y rótulas.....	119
6.2.5.	Apartado 7.5. del Manual de Procedimiento: Servodirección.....	120
<b>7.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>121</b>
7.1.	Conclusiones obtenidas sobre el estudio del sistema de frenado en vehículos.....	121
7.2.	Conclusiones obtenidas sobre el estudio del sistema de dirección en vehículos.....	122
<b>8.</b>	<b>Desarrollos futuros.....</b>	<b>124</b>
<b>9.</b>	<b>Anexo I.....</b>	<b>125</b>
<b>10.</b>	<b>Anexo II.....</b>	<b>134</b>
<b>11.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>144</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
• <i>Figura 1.1: Esquema de los puntos a inspeccionar en un vehículo.....</i>	<i>4</i>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Estado del arte.....</b>	<b>8</b>
• <i>Figura 3.1: Neumático sometido a esfuerzo normal y longitudinal de frenado....</i>	<i>9</i>
• <i>Figura 3.2: Comportamiento de un vehículo de dos ejes con bloqueo de las ruedas del eje trasero durante el frenado.....</i>	<i>10</i>
• <i>Figura 3.3: Sistema de frenos sin ABS.....</i>	<i>12</i>
• <i>Figura 3.4: Sistema de frenos con ABS.....</i>	<i>12</i>
• <i>Figura 3.5: Esquema de componentes del sistema de dirección.....</i>	<i>15</i>
• <i>Figura 3.6: Elementos de la dirección con barra de acoplamiento dividida en tres partes.....</i>	<i>16</i>
• <i>Figura 3.7: Dirección de tornillo sin fin.....</i>	<i>18</i>
• <i>Figura 3.8: Dirección de tornillo y palanca.....</i>	<i>18</i>
• <i>Figura 3.9: Dirección de cremallera.....</i>	<i>19</i>
• <i>Figura 3.10: Ángulo de caída.....</i>	<i>20</i>
• <i>Figura 3.11: Ángulo de salida.....</i>	<i>21</i>
• <i>Figura 3.12: Ángulo de avance.....</i>	<i>22</i>
• <i>Figura 3.13: Ángulo de convergencia.....</i>	<i>23</i>
• <i>Figura 3.14: Ángulo de convergencia.....</i>	<i>23</i>
• <i>Figura 3.15: Ángulo de convergencia positivo-negativo.....</i>	<i>24</i>
• <i>Figura 3.16: Tipos de convergencia.....</i>	<i>24</i>
• <i>Figura 3.17: Cotas conjugadas y sus efectos sobre la orientación de las ruedas.....</i>	<i>25</i>
• <i>Figura 3.18: Ángulo comprendido.....</i>	<i>26</i>

- *Figura 3.19: Efecto de la velocidad sobre el coeficiente de esfuerzo de frenado (neumático de camión 10.00 x 20/F sobre asfalto).....27*
- *Figura 3.20: Coeficiente de adherencia máxima en función de la velocidad de marcha y del desgaste de la banda de rodamiento.....27*
- *Figura 3.21: Límites potenciales de adherencia. Estimación y uso que hacen los usuarios.....29*
- *Figura 3.22: Elipse de adherencia.....31*
- *Figura 3.23: Comportamiento del neumático sometido a cargas laterales.....31*
- *Tabla 3.1: Coeficiente de adherencia ( $\mu$ ) sobre firmes de hormigón y macadán en buen estado.....28*
- 4. Materiales y métodos.....32**
  - *Figura 4.1: Pantalla de control general de CarSim™.....32*
  - *Figura 4.2: Detalle del tercio izquierdo de la pantalla de control general.....33*
  - *Figura 4.3: Esquema de funcionamiento de CarSim® .....34*
  - *Figura 4.4: Detalle del tercio central de la pantalla de control general.....35*
  - *Figura 4.5: Detalle del tercio derecho de la pantalla de control general.....36*
- 5. Análisis del sistema de frenado.....37**
  - *Figura 5.1: Condiciones establecidas para el Ensayo del tipo 0.....38*
  - *Figura 5.2: Trayectoria de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 120 km/h.....44*
  - *Figura 5.3: Posición final. SUV funcionando correctamente. Velocidad inicial: 120 km/h.....45*
  - *Figura 5.4: Posición final de los vehículos. SUV con rueda delantera derecha inoperante y SUV en condiciones correctas. Velocidad inicial de 120 km/h.....45*
  - *Figura 5.5: Posición final de los vehículos. SUV con rueda delantera derecha inoperante y SUV en condiciones correctas (b). Velocidad inicial de 120 km/h.....46*

- *Figura 5.6: Trayectoria de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h.....47*
- *Figura 5.7: Trayectoria de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$ .....48*
- *Figura 5.8: Posiciones finales de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 120 km/h.....49*
- *Figura 5.9: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h.....50*
- *Figura 5.10: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$ .....51*
- *Figura 5.11: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 120 km/h.....52*
- *Figura 5.12: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h.....53*
- *Figura 5.13: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera dcha. inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$ .....54*
- *Figura 5.14: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera izda. inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 120 km/h.....55*
- *Figura 5.15: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera izda. inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h.....56*
- *Figura 5.16: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera izda. inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$ .....57*
- *Figura 5.17: Trayectoria del vehículo a lo largo del proceso de frenado. Sedan en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 120 km/h.....59*

- *Figura 5.18: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. dcha. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 120 km/h.....59*
- *Figura 5.19: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. dcha. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h.....60*
- *Figura 5.20: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. dcha. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$ .....61*
- *Figura 5.21: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. izda. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 120 km/h.....62*
- *Figura 5.22: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. izda. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h.....63*
- *Figura 5.23: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. izda. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$ .....64*
- *Figura 5.24: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. dcha. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 120 km/h.....65*
- *Figura 5.25: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. dcha. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h.....66*
- *Figura 5.26: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. dcha. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$ .....67*
- *Figura 5.27: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. izda. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 120 km/h.....68*
- *Figura 5.28: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. izda. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h.....69*

- *Figura 5.29: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda trasera izquierda inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$ .....70*
- *Figura 5.30: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha con menor capacidad de frenado (azul, desequilibrio del 40%) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$ .....71*
- *Figura 5.31: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda con menor capacidad de frenado (azul, desequilibrio del 40%) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$ .....72*
- *Figura 5.32: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha con menor capacidad de frenado (azul, desequilibrio del 25%) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$ .....74*
- *Figura 5.33: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda con menor capacidad de frenado (azul, desequilibrio del 25%) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$ .....74*
- *Figura 5.34: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda con progresión no gradual de frenado (azul) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$ .....75*
- *Figura 5.35: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha con fluctuación superior al 55% (azul) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$ .....77*
- *Figura 5.36: Posiciones finales de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con eficacia de frenado del 50% (negro) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$ .....78*
- *Figura 5.37: Posiciones finales de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con sistema antibloqueo (negro) y sin él (azul). Velocidad inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$ .....79*
- 6. Análisis del sistema de dirección.....80**
  - *Figura 6.1: Trayectoria asintótica a seguir en la prueba DLC fijada por la norma ISO TR-3888-1.....80*

- *Figura 6.2: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiwa. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 60 km/h.....84*
- *Figura 6.3: Trayectoria del vehículo en correcto estado. Velocidad: 60 km/h.....85*
- *Figura 6.4: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiwa. El vehículo azul tiene el sistema de dirección con 2º de desalineación y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 60 km/h.....86*
- *Figura 6.5: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiwa. El vehículo amarillo tiene el sistema de dirección con 3º de desalineación y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 60 km/h.....87*
- *Figura 6.6: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa. Velocidad: 60 km/h.....88*
- *Figura 6.7: Fuerza lateral desarrollada por los neumáticos delanteros izquierdo (I) y derecho (D) de cada vehículo.....89*
- *Figura 6.8: Aceleración lateral del centro de gravedad de cada vehículo.....89*
- *Figura 6.9: Trayectoria del centro de gravedad de cada vehículo.....91*
- *Figura 6.10: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa (a). Velocidad: 35 km/h.....92*
- *Figura 6.11: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa (b). Velocidad: 35 km/h.....92*
- *Figura 6.12: Trayectoria del centro de gravedad de cada vehículo.....93*
- *Figura 6.13: Fuerzas laterales de los neumáticos de cada vehículo.....94*
- *Figura 6.14: Aceleración lateral del centro de gravedad de cada vehículo.....95*
- *Figura 6.15: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiwa. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 75 km/h.....96*
- *Figura 6.16: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa. Velocidad: 75 km/h.....96*
- *Figura 6.17: Trayectoria de los centros de gravedad de los tres vehículos.....97*

- *Figura 6.18: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esqui- va. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 60 km/h.....98*
- *Figura 6.19: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esqui- va. Velocidad: 60 km/h.....99*
- *Figura 6.20: Trayectoria del centro de gravedad de los tres vehículos.....99*
- *Figura 6.21: Variación de la adherencia en función de la transferencia de masa.....101*
- *Figura 6.22: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esqui- va. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 56 km/h.....102*
- *Figura 6.23: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esqui- va. Velocidad: 56 km/h.....102*
- *Figura 6.24: Trayectoria del centro de gravedad de los tres vehículos y sus remolques.....103*
- *Figura 6.25: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esqui- va. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 45 km/h.....104*
- *Figura 6.26: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esqui- va. Velocidad: 45 km/h.....105*
- *Figura 6.27: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esqui- va. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 35 km/h.....106*
- *Figura 6.28: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esqui- va. Velocidad: 35 km/h.....106*
- *Figura 6.29: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esqui- va. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 35 km/h.....108*
- *Figura 6.30: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esqui- va. Velocidad: 35 km/h.....108*
- *Figura 6.31: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esqui- va. Velocidad: 60 km/h.....110*

- *Figura 6.32: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 60 km/h.....*111
- *Figura 6.33: Aceleraciones laterales obtenidas en el centro de gravedad de cada vehículo.....*112
- *Figura 6.34: Trayectorias de los centros de gravedad de cada vehículo.....*112
- *Figura 6.35: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 65 km/h.....*113
- *Figura 6.36: Trayectorias de los centros de gravedad de cada vehículo.....*114
- *Figura 6.37: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 55 km/h.....*115
- *Figura 6.38: Trayectorias de los centros de gravedad de cada vehículo.....*115
- *Figura 6.39: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 60 km/h.....*117
- *Figura 6.40: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 60 km/h.....*118
- 7. Conclusiones.....**121
- 8. Desarrollos futuros.....**124
- 9. Anexo I.....**125
- 10. Anexo II.....**134
- 11. Bibliografía.....**144

# 1. INTRODUCCIÓN

La Inspección Técnica de Vehículos, más conocida por sus siglas I.T.V., es un servicio con el que se pretende reducir los accidentes originados por fallos mecánicos en vehículos de motor, en lo que se refiere a Seguridad Vial, así como controlar el nivel de emisiones contaminantes producidas por dichos vehículos, en aras a la preservación del Medio Ambiente.

La Unión Europea se encarga de fijar y regular el contenido y los protocolos de las pruebas que se hacen en las estaciones de ITV, donde todos los estados miembros deben adaptarse a las normas básicas.

En España, la mayoría de las Comunidades Autónomas tienen transferidas las competencias en materia de ITV, reservando a la Administración Central, mediante el Ministerio de Ciencia y Tecnología, la transposición de la normativa comunitaria y la elaboración de normas generales.

La primera Inspección Técnica de Vehículos tuvo lugar en Mayo de 1982 en la Estación I.T.V. de Albacete.

## 1.1 La inspección periódica

El Reglamento General de Vehículos (RGV) aprobado mediante el Real Decreto 2822/98 del 23 de diciembre del citado año, en su artículo 10, "Inspecciones Técnicas de Vehículos" dice textualmente:

*"Los vehículos matriculados o puestos en circulación deberán someterse a inspección técnica en una de las estaciones ITV al efecto autorizadas por el órgano competente en materia de industria en los casos y con la periodicidad, requisitos y excepciones que se recoge en el anexo I. La inspección técnica, una vez comprobada la identificación del vehículo, versará sobre las condiciones del vehículo relativas a seguridad vial, protección del medio ambiente, inscripciones reglamentarias, reformas y, en su caso, vigencia de los certificados para el transporte de mercancías peligrosas y perecederas".*

Los párrafos anteriores dan una idea general del contenido de la inspección técnica y de qué vehículos están sometidos a inspección. Así, además de las inspecciones periódicas exigidas en el artículo 5 del Real Decreto 2042/94, de 14 de octubre, por el que se regula la inspección técnica de vehículos, el hecho de que en el comienzo del artículo 5 de RGV se haga una referencia expresa a vehículos matriculados o puestos en circulación, implica tener en cuenta además las inspecciones previas a la matriculación, para cumplir con lo indicado en el mismo RGV, en su artículo 1, que exige, con carácter previo a su matriculación o puesta en circulación de un vehículo, que dicho vehículo obtenga la correspondiente autorización

administrativa, dirigida a verificar que el vehículo esté en perfecto estado de funcionamiento y se ajuste en sus características y equipos a las prescripciones técnicas que se fijan en el RGV.

No obstante, existen determinados vehículos que han sido autorizados, por el órgano competente en materia de homologación del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a no cumplir, cumplir parcialmente o cumplir de forma distinta determinados requisitos exigibles relativos a la seguridad vial y a la protección del medio ambiente y cuyos términos y condicionantes invariablemente deberán figurar en el certificado de exención de homologación de tipo y/o homologaciones parciales y, en su caso, en la documentación de homologación del vehículo acogido a dicha exención. Dichos términos y condicionantes podrán figurar asimismo en la correspondiente Tarjeta ITV que emita la Estación ITV previa a la matriculación, al efecto de que en las sucesivas inspecciones la entidad inspectora tenga conocimiento de las particularidades del vehículo.

## 1.2 Inspecciones y servicios

Según lo establecido en los Reales Decretos 1987/1995 de 24 de septiembre y 2042/1994 de 14 de octubre, los principales servicios que se prestan en las Estaciones de ITV son los siguientes:

- **Inspecciones previas a la matriculación de vehículos**, según Real Decreto 750/2010 de 4 de junio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos de motor y sus remolques, máquinas autopropulsadas o remolcadas, vehículos agrícolas, así como de sistemas, partes y piezas de dichos vehículos.
- **Inspecciones realizadas con ocasión de la ejecución de reformas de importancia**, según Real Decreto 866/2010 de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.
- **Inspecciones previas al cambio de destino del vehículo**, según Real Decreto 2822/1998 de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos.
- **Inspecciones realizadas para la expedición del duplicado de la Ficha Técnica**, según Real Decreto 711/2006 de 9 de junio.
- **Inspecciones voluntarias solicitadas por los titulares de los vehículos**, según artículo 6 del Real Decreto 224/2008 sobre normas generales de instalaciones y funcionamiento de las estaciones de inspección técnica de vehículos.
- **Inspecciones que sean requeridas al titular del vehículo** por cualquiera de los Organismos a los que el Reglamento General de vehículos y demás legislación vigente atribuyen competencias sobre esta materia.

- **Revisiones periódicas de taxímetros.**
- **Pesaje de vehículos**, a instancia de los agentes encargados de la vigilancia del tráfico.
- **Inspecciones a vehículos accidentados con daños importantes en su estructura o elementos de seguridad**, según Real Decreto 2042/1994 de 14 de octubre.
- **Inspecciones para la calificación de idoneidad de los autocares destinados al transporte escolar**, según Real Decreto 443/2001 de 27 de abril sobre condiciones de seguridad en el transporte escolar y de menores, y el Real Decreto 866/2010 de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.

### **1.3 El Manual ITV (*Revisión 7ª, Enero de 2012*)**

Por ahora, resulta aconsejable limitar el contenido del Manual a las inspecciones técnicas periódicas, inspecciones técnicas unitarias previas a la matriculación de vehículos e inspecciones técnicas de vehículos reformados. En futuras revisiones del Manual se analizará la posibilidad de incluir algunas otras inspecciones ITV de las exigidas por la reglamentación de vehículos. [1]

Según el tipo de inspección de que se trate, el cumplimiento de las especificaciones recogidas en el Manual, debe ser comprobado en todas aquellas inspecciones en las que se requiera el control de todos o alguno de los elementos de seguridad, tanto activa como pasiva del vehículo y protección del medio ambiente.

El actual proceso de acreditación por parte de ENAC de las empresas que realizan inspección de vehículos, según lo previsto en el Real Decreto 224/2008, hace que, en la medida que sea posible, se contemplen las recomendaciones de este organismo, así como los de la norma UNEEN-ISO/IEC 17020:2004. Dado que se trata de un manual de inspección, debe tenerse muy en cuenta la definición que la norma citada anteriormente da del término inspección: “examen de un diseño de producto, servicio, proceso o instalación y la determinación de su conformidad con requisitos específicos o bien con requisitos generales, en base a un juicio profesional”, y es precisamente la introducción del concepto juicio profesional lo que permite y da validez a la posible dualidad de la calificación de un defecto, en el caso en el que no exista un criterio objetivo de valoración (valor numérico de una medida u otro parámetro o aspecto que se pueda objetivar).

El objetivo perseguido con el “Manual de Procedimiento de Inspección de las Estaciones ITV” es el establecimiento de unas normas de actuación durante el proceso de la inspección, con el fin de unificar al máximo posible los criterios y el procedimiento a seguir en las diferentes estaciones ITV. Por ello, cuando ha sido

posible se ha evitado la dualidad de calificación de los defectos, y cuando no lo ha sido, se ha dejado al juicio profesional del inspector.

Por otra parte, puede ocurrir que el desarrollo o la entrada en vigor de nueva legislación obligue a modificar los criterios que hasta ese momento eran de aplicación o adoptar otros nuevos, antes de que los mismos aparezcan reflejados en el Manual, sin perjuicio de que puedan ser aplicados en la inspección para dar cumplimiento a dicha legislación.

En casos excepcionales, el juicio profesional y código de buenas prácticas, junto con la definición de las distintas calificaciones de los defectos, permite que cualquier anomalía detectada durante la inspección incluida o no en la lista de calificación de defectos, pueda ser calificada por el organismo inspector en función de su impacto sobre requisitos que afecten a la seguridad vial o a la protección del medio ambiente, comunicándose posteriormente al órgano de la administración competente, para su posible estudio e inclusión en la tipificación de defectos del Manual.

## 1.4 Puntos a inspeccionar en la ITV



Figura 1.1: Esquema de los puntos a inspeccionar en un vehículo

Los puntos a inspeccionar serán:

1. **Identificación:** Se comprueba la documentación del vehículo (Permiso de Circulación, Ficha Técnica y Seguro vigente), así como el número de bastidor y las placas de matrícula.

2. **Acondicionamiento exterior, carrocería y chasis:** Se comprueba el estado, fijación, existencia, etc. de elementos como el dispositivo antiempotramiento delantero, limpia y lavaparabrisas, retrovisores, vidrios de seguridad, dispositivos de acoplamiento, etc.

3. **Acondicionamiento interior:** Se comprueba el estado, fijación, existencia, etc. de elementos tales como los asientos y sus anclajes, cinturones de seguridad, testigos de airbag, campo de visión directa del conductor, dispositivos de retención para niños, antihielo y antivaho, etc.

4. **Alumbrado y señalización:** Se comprueba el estado, fijación, existencia, etc. de elementos como las luces de posición, cruce y carretera, luces indicadoras de dirección, luces de frenado, antiniebla, catadióptricos, etc.

5. **Emisiones contaminantes:** Se comprueban las emisiones tanto acústicas (sonometría), como las emisiones contaminantes (humos), en vehículos gasolina (catalizados o no) y vehículos diesel.

6. **Frenos:** Se comprueba la eficacia, desequilibrio, estado, etc. de los diferentes órganos del sistema de frenos del vehículo a inspeccionar y otros elementos tales como la bomba, tuberías, tambores y discos, etc.

7. **Dirección:** Se comprueba la desviación de ruedas (geometría de dirección), y otros órganos tan importantes como el volante y la columna de dirección, caja de dirección, timonería y rótulas y la servodirección.

8. **Ejes, ruedas, neumáticos y suspensión:** Se comprueba el estado, fijación, desgaste, etc. de los ejes, ruedas, neumáticos y el sistema de suspensión.

9. **Motor y transmisión:** Se comprueba el estado, fijación, pérdidas, etc. del estado general del motor, así como del sistema de alimentación, sistema de escape, transmisión, etc.

10. **Otros:** En este punto se comprueban aspectos relacionados con el transporte de mercancías peligrosas, mercancías perecederas, transporte escolar, etc.

## 1.5 Principios de la inspección ITV

Principios generales que deben ser seguidos en las inspecciones:

1. La inspección técnica de los vehículos tiene por objeto comprobar si los mismos cumplen las condiciones técnicas exigidas para su circulación por las vías públicas.
2. Durante la inspección técnica del vehículo se deberá proceder a su identificación, comprobando que su marca, modelo, número de bastidor y matrícula coinciden con los señalados en los documentos oficiales, debiendo además

verificarse que la utilización del vehículo es concordante con su categoría, clasificación y, en su caso, contraseña de homologación, prevaleciendo siempre los criterios deducibles de su categoría, que en definitiva son el referente que dio lugar a su homologación.

3. Las comprobaciones durante el proceso de inspección deben ser lo más simples y directas posibles.

4. Durante el proceso de inspección no se efectuará desmontaje alguno de los elementos y piezas del vehículo.

5. Los equipos y herramientas que se utilicen en la inspección serán los necesarios para la comprobación del sistema del vehículo de que se trate. El reconocimiento de las condiciones técnicas de las instalaciones que constituyen las estaciones de inspección técnica de vehículos, es competencia de la Comunidad Autónoma correspondiente, siendo ésta, por tanto, la que en cada caso fija los equipos de que debe estar dotada una estación, mediante los procedimientos previstos en la legislación vigente.

6. La inspección técnica del vehículo deberá poder realizarse en un tiempo limitado.

7. La inspección de un elemento, órgano o sistema no presupone que tenga que ser realizada por completo o en una sola operación parcial.

8. En los casos en que sea necesario, la actuación para la comprobación de ciertos elementos, órganos o sistemas, será realizada directamente por personal técnico de la estación ITV en sustitución del conductor.

9. En el caso de vehículos M1, en la inspección técnica se aceptará cualquier configuración de asientos incluida en la homologación del vehículo.

10. El vehículo no se someterá a inspección cuando se considere que su estado o el de su carga no es el adecuado para ser sometido a la misma de forma correcta, suponga riesgo o molestias importantes para los trabajadores o usuarios de la estación, o exista peligro de que el proceso de inspección lo pueda dañar.

11. Los métodos que se describen y la consecuente interpretación de los defectos se realizará teniendo en cuenta las prescripciones técnicas y las fechas de entrada en vigor contenidas en la reglamentación de referencia, de manera que los requisitos de inspección nunca sean más exigentes que los aplicados en la primera matriculación del vehículo, salvo para aquellos supuestos que estén reglamentariamente establecidos.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es el análisis del comportamiento dinámico de vehículos que presenten fallos tipificados en los puntos 6, correspondiente al análisis de frenos, y 7, centrado en el análisis de la dirección, del Manual de Procedimiento de Inspección de las Estaciones I.T.V. [1]

En este informe, se analizará el efecto que tiene sobre la seguridad un fallo del sistema de frenos, tal y como viene tipificado en el manual de procedimiento de ITV, estudiando el riesgo que supone circular con un vehículo cuyo sistema de frenos presenta alguno de los fallos que se detectan en una inspección periódica realizada en una de estas estaciones de ITV. De este modo, pondremos de manifiesto la necesidad de las mismas. Siguiendo esta misma línea argumental, simularemos las maniobras de esquivas que se realizarían en una situación de emergencia, cuando el principal sistema involucrado, la dirección, presenta alguno de los defectos evaluados en ITV.

Para ello, se han realizado diversas simulaciones mediante la herramienta informática CarSim™ [2]. De este modo, es posible obtener toda la información relativa a parámetros mecánicos del vehículo (trayectoria, velocidad, aceleración longitudinal del centro de gravedad, ángulo de guiñada, etc.), así como una animación que permite visualizar de modo sencillo los resultados. Con toda esta información, resulta más sencillo comparar el modo en que se modifica el comportamiento del vehículo al presentar determinados fallos en el sistema de frenado o en el sistema de dirección.

Desde esos puntos de vista, concienciar a la sociedad de la importancia que tiene mantener en buen estado los diferentes sistemas del vehículo, y en concreto el sistema de frenado y el de dirección, resulta fundamental para poner de manifiesto la necesidad de realizar inspecciones periódicas en las instalaciones de ITV.

## 3. ESTADO DEL ARTE

Algunos sistemas, como la dirección, frenos o suspensión, afectan de manera crítica a la seguridad del vehículo. Es por esto que resulta de gran importancia analizar dichos elementos con el fin de diseñarlos, fabricarlos y mantenerlos en óptimas condiciones de seguridad. En este ámbito, resulta tan importante un diseño adecuado como un correcto mantenimiento de los distintos dispositivos de seguridad que incorpora un automóvil, siendo para ello imprescindible un sistema de inspección técnica de vehículos que garantice las condiciones de seguridad mínimas exigibles al parque automovilístico [1, 3, 4, 5]. Actualmente, dos de los puntos que se revisan en la Inspección Técnica de Vehículos (ITV) son el estado del sistema de frenos y el estado del sistema de dirección del automóvil [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Este capítulo está dedicado al sistema de frenado y al sistema de dirección existentes en un vehículo automóvil, ya que son los elementos fundamentales involucrados en el estudio desarrollado.

Se describen los componentes, las cualidades y los tipos de sistemas de dirección existentes. Así como la geometría de dirección, la influencia de la suspensión y los neumáticos sobre los ángulos de dirección, y la forma de comprobación de las cotas de dirección.

### 3.1 El sistema de frenado

#### 3.1.1 Fuerza de frenado

Las principales fuerzas retardadoras del vehículo en el proceso de frenado son las que se desarrollan en la superficie de las ruedas como consecuencia de su contacto con la calzada, al serles aplicados pares que se oponen a su movimiento, es decir, las fuerzas de frenado.

Estas fuerzas tienen dos límites, uno el impuesto por la adherencia y el otro por el sistema de frenos. Normalmente, éste último es más elevado, resultando crítico, en el proceso, el límite derivado del contacto rueda-calzada, que una vez rebasado conduce al bloqueo de las ruedas cuyos efectos se analizarán en puntos posteriores.

Los esfuerzos que proporciona el sistema de frenado se traducen en sendos pares  $M_{ft}$  y  $M_{fd}$ , aplicados a las ruedas en sentido opuesto a su movimiento. Estos pares han de vencer la propia inercia de las masas rotativas asociadas a las ruedas, a la vez que producen la deceleración de la masa del vehículo en su movimiento de traslación. Suponiendo que  $I_{ej}$  representa el momento de inercia equivalente de las masas que giran conectado a la rueda  $j$ , y que ésta adquiere una deceleración angular  $\Omega_j$ , podrá establecerse la siguiente relación para dicha rueda:

$$F_{fj} r_c = M_{fj} - I_{ej} \Omega_j$$

$$F_{fj} = \frac{M_{fj} - I_{ej} \Omega_j}{r_c}$$

Siendo  $r_c$  el radio bajo carga. Como se observa, el par que ha de resistir el contacto rueda-calzada ( $F_{fj} \cdot r_c$ ) es igual al que proporciona el sistema de frenos a través de los elementos de fricción conectados a la rueda ( $M_{fj}$ ), minorado por el par de inercia de las masas que giran conectadas a dicha rueda y que han de ser deceleradas.

### 3.1.2 Sistema de frenado en una banda de rodadura

Si se aplica a la rueda un par de frenado  $M_f$ , el efecto sobre la banda de rodadura es opuesto al efecto de aplicar un par de tracción, es decir, se producirá un alargamiento a la entrada de la zona de contacto y una deformación por compresión a la salida. (Figura 3.1). [24]

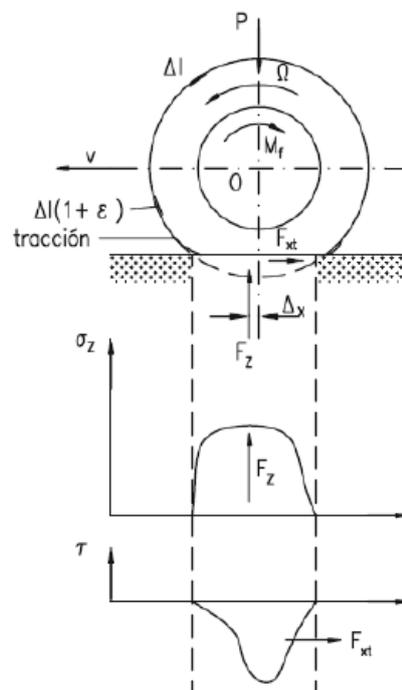


Figura 3.1: Neumático sometido a esfuerzo normal y longitudinal de frenado

En estas condiciones, la rodadura del neumático se produce como si su diámetro fuese mayor que el correspondiente a rodadura libre, bajo la misma carga. La velocidad de desplazamiento del eje de la rueda ( $V$ ), será superior a la correspondiente a rodadura libre ( $r \cdot \Omega$ ). El deslizamiento será  $i_p$ :

$$i_p = 1 - \frac{r \cdot \Omega}{V} = 1 - \frac{r}{r_e}$$

Puede apreciarse en esta expresión que cuando  $i_p = 1$  (o  $i_p = 100\%$ ),  $\Omega = 0$ , la rueda está bloqueada y se produce deslizamiento puro.

Se denomina coeficiente de esfuerzo de frenado  $\mu_{xf}$  a la relación entre el esfuerzo de frenado y la carga normal que actúa sobre el neumático.

### 3.1.3 Condiciones impuestas por la adherencia. Reparto óptimo de fuerzas de frenado en vehículos de dos ejes

Como ha sido comentado antes, el bloqueo de las ruedas de un eje produce efectos negativos. Por una parte, es sabido que en situación de bloqueo (deslizamiento longitudinal unidad), el coeficiente de rozamiento entre neumático y calzada adquiere un valor inferior al de máxima adherencia, el cual se produce para un valor del deslizamiento longitudinal de valor próximo al 20% (0,2). En consecuencia, cuando las ruedas se bloquean, disminuye el valor de la fuerza de frenado respecto a la máxima fuerza potencial que puede obtenerse en condiciones de rodadura.

El anterior efecto, con ser de gran interés, no es el más importante. El bloqueo de ruedas supone la superación de la adherencia neumático-calzada en la dirección longitudinal, razón por la cual la interacción entre ambos elementos será incapaz de ofrecer una resistencia que equilibre una posible fuerza lateral, por muy pequeña que ésta sea. Como, por otra parte, resulta en la práctica imposible que se produzca una situación exenta de todo esfuerzo lateral ( $F_y$ ,  $M_z$  o  $M_x$ ) el vehículo experimentará un desplazamiento lateral cuyo efecto es diferente según sea el eje cuyas ruedas bloquean.

Si el eje que bloquea es el trasero (Figura 3.2), las fuerzas que actúan: de frenado y laterales en las ruedas delanteras, de inercia y de rozamiento en las ruedas traseras, proporcionan un momento de guiñada que crece con el ángulo de giro  $\Psi$ , hasta lograr que el vehículo gire completamente. En esta situación:

$$\frac{\partial M_z}{\partial \psi} > 0$$

lo cual produce **inestabilidad direccional**.

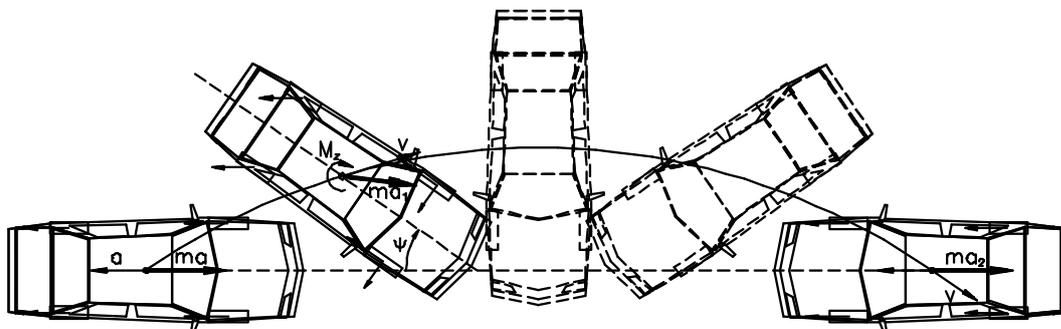


Figura 3.2: Comportamiento de un vehículo de dos ejes con bloqueo de las ruedas del eje trasero durante el frenado

Si las ruedas que bloquean son las del eje delantero, entonces las fuerzas de inercia aplicadas al centro de gravedad y las de rozamiento o adherencia en las ruedas, proporcionan un momento de guiñada que disminuye su valor con la perturbación lateral:

$$\frac{\partial M_z}{\partial \psi} < 0$$

Por lo que el sistema no es inestable. El ángulo de guiñada alcanzará un valor máximo a partir del cual disminuirá, pudiendo cambiar de sentido, y produciendo una oscilación de guiñada superpuesta al movimiento longitudinal. Esta situación origina una cierta **pérdida de control direccional**, menos grave, en términos generales, que la inestabilidad.

De lo anterior se deducen algunas conclusiones importantes:

- a) El bloqueo de las ruedas del eje trasero de un vehículo de dos ejes produce inestabilidad direccional.
- b) El bloqueo de las ruedas del eje delantero de un vehículo de dos ejes produce pérdida de control direccional.
- c) Debido a lo anterior, tanto en el diseño del sistema de frenos, como en la práctica de conducción, debe actuarse para evitar que se produzcan bloqueos de ruedas, tanto delanteras como traseras. Éste es el objetivo de los sistemas antibloqueo o ABS. Cuando el vehículo no dispone de estos dispositivos y ante una frenada brusca, especialmente en condiciones de baja adherencia de la calzada, puede llegarse al bloqueo y será altamente probable que las ruedas de ambos ejes no alcancen al mismo tiempo las condiciones límite que lo provocan. En ese caso, resulta menos desfavorable que el bloqueo se produzca antes en las ruedas delanteras.
- d) En todos los casos, el bloqueo hace disminuir el coeficiente de adherencia, pasando al valor de rozamiento en deslizamiento, lo cual, en el mejor de los casos, si no se produjese alteración grave de la trayectoria, haría aumentar la distancia de frenado respecto a la condición óptima de frenado (aprovechamiento máximo de la adherencia).

A la luz de lo anterior, se comprenderá que el aprovechamiento de la adherencia disponible en cada eje constituye un problema crítico en el frenado. Tal aprovechamiento será máximo si el esfuerzo transmitido por el sistema de frenos a cada rueda es proporcional a la carga dinámica que soporta.

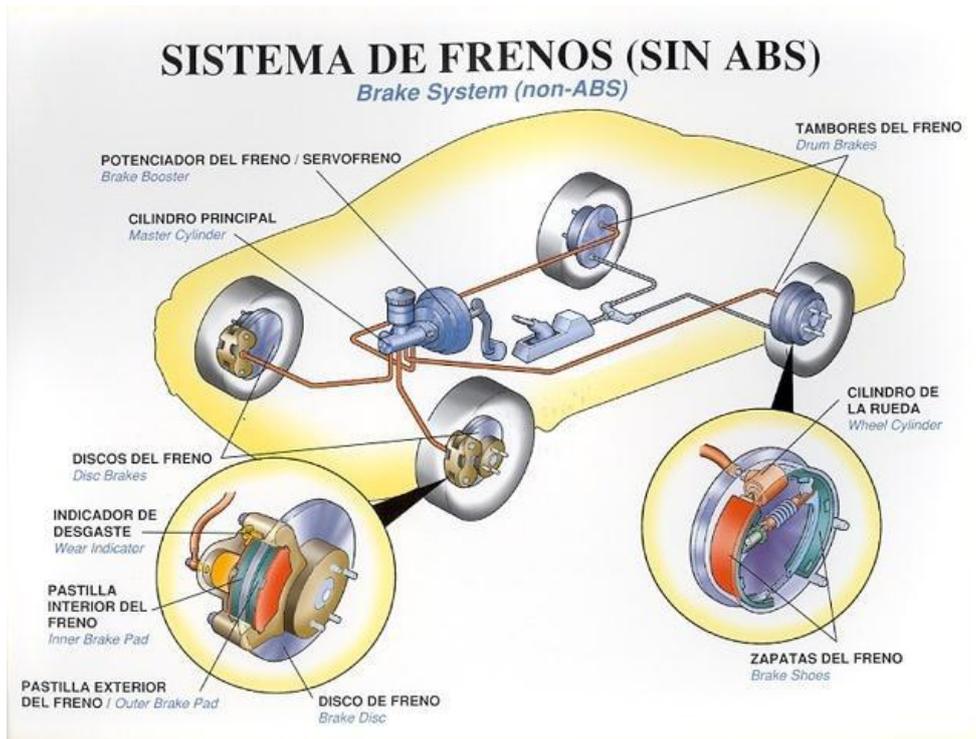


Figura 3.3: Sistema de frenos sin ABS

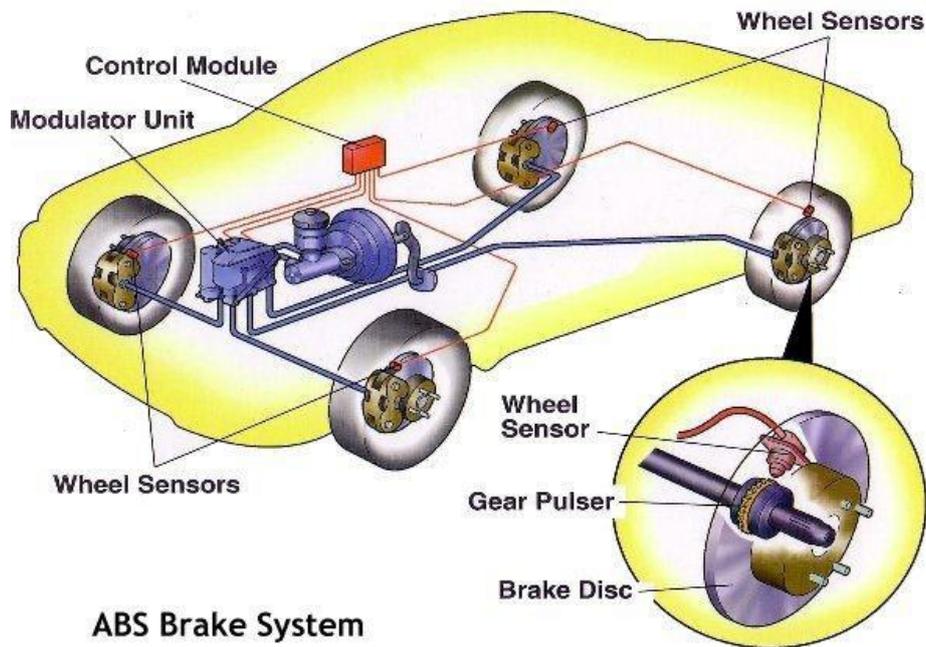


Figura 3.4: Sistema de frenos con ABS

### 3.1.4 El proceso de frenado

En los apartados anteriores se han analizado las condiciones requeridas para que el proceso de frenado sea óptimo y se ha puesto de manifiesto la dificultad de lograr tal propósito para el conjunto de las condiciones operativas. En este apartado, nos referiremos a dos aspectos de la respuesta del vehículo que suelen tomarse como criterios para valorar el comportamiento en frenado, estos son el rendimiento y la distancia de frenado.

#### 3.1.4.1 Rendimiento de frenado

Cuando se considera a las fuerzas de frenado como únicas fuerzas retardadoras del movimiento del vehículo, y se impone la condición deseable de que ninguna rueda alcance aisladamente las condiciones de bloqueo, la deceleración máxima ideal que puede lograrse es:

$$\frac{a_i}{g} = \mu_{m\acute{a}x}$$

En el frenado real es imposible alcanzar el anterior límite, ya que es imposible lograr el reparto óptimo de frenado en cualquier condición operativa. En consecuencia, si consideramos que la aceleración máxima real que alcanza el vehículo es  $a_{m\acute{a}x}$ , el rendimiento de frenado se define por la relación:

$$\eta_f = \frac{\frac{a_{m\acute{a}x}}{g}}{\mu_{m\acute{a}x}}$$

Suponiendo una adherencia de  $\mu_{m\acute{a}x} = 0,8$  y un rendimiento de frenada igual a la unidad:

$$a_i = 0,80 g \approx 8 \frac{m}{s^2}$$

deceleración que es difícil de obtener en turismos sobre asfalto seco, aún con los frenos bien ajustados [10].

#### 3.1.4.2 Distancia de frenado

Considerando el factor de masas rotativas ( $\gamma_f = 1,3$ ) y el conjunto de fuerzas retardadoras del movimiento del vehículo, puede establecerse:

$$a = - \frac{F_f + \Sigma R}{\gamma_f P/g} = - \frac{F_f + P \sin \theta + CV^2}{\gamma_f P/g}$$

En donde se considera  $\theta > 0$  en ascensos y  $C = \frac{1}{2} C_x A_f$ .

Por otra parte, si  $S$  es la distancia recorrida:

$$a dS = V dV$$

sustituyendo el valor de  $a$ , e integrando:

$$S_{V_1-V_2} = \int_{V_1}^{V_2} \left( \frac{V}{a} \right) dV$$

$$S_{V_1-V_2} = - \frac{P \gamma_f}{g} \int_{V_1}^{V_2} \frac{V dV}{F_f + P \operatorname{sen} \theta + CV^2}$$

Suponiendo  $F_f$  y  $f_r$  independientes de la velocidad:

$$S_{V_1-V_2} = \frac{P \gamma_f}{2Cg} \operatorname{Ln} \left[ \frac{F_f + P \operatorname{sen} \theta + CV_1^2}{F_f + P \operatorname{sen} \theta + CV_2^2} \right]$$

y la distancia hasta detener el vehículo será:

$$S_P = \frac{P \gamma_f}{2gC} \operatorname{Ln} \left[ 1 + \frac{CV_1^2}{\eta_f \mu P + P \operatorname{sen} \theta} \right]$$

En ésta última ecuación se ha sustituido  $F_f$  por  $\eta_f \mu P$ .

En el proceso de frenado intervienen las reacciones del conductor y del sistema de frenos. Desde que surge una circunstancia imprevista que obliga a frenar, hasta que el conductor actúa sobre el pedal del freno, transcurre un tiempo, llamado de reacción del conductor ( $t_{rc}$ ).

Por otra parte, desde que se inicia la acción sobre el sistema de frenos hasta que éste actúa con la fuerza requerida en las diferentes ruedas, transcurre otro tiempo ( $t_{rs}$ ) denominado de reacción del sistema. En consecuencia, el cálculo de la distancia de parada desde que ocurre el acontecimiento que hace decidir frenar el vehículo será:

$$S_{PT} = S_P + V_1 (t_{rc} + t_{rs}) = S_P + V_1 t_r$$

Estos tiempos de reacción normalmente se engloban en uno solo llamado tiempo de reacción, que incluye el de reacción del conductor y del sistema de frenos.

## 3.2 El sistema de dirección

El sistema de dirección es el encargado de transmitir a las ruedas los movimientos que el conductor realiza en el volante para que el vehículo siga la trayectoria deseada.

Para garantizar la comodidad durante la conducción, es necesario que los movimientos inducidos en el volante sean transformados mediante mecanismos adecuados. De esta forma, se regula la sensibilidad del sistema para que no se produzcan cambios bruscos en la trayectoria ante pequeños movimientos en el volante.

En la siguiente figura se representa un pequeño esquema de componentes del sistema de dirección y que se explicarán en detalle.

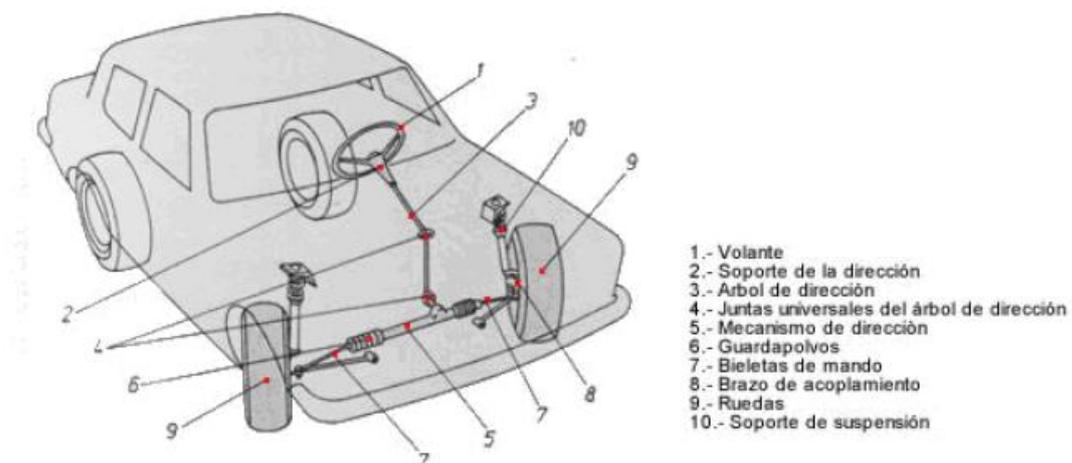


Figura 3.5: Esquema de componentes del sistema de dirección

### 3.2.1 Componentes del sistema de dirección

Los elementos más importantes del sistema de dirección que garantizan su correcto funcionamiento son [22]:

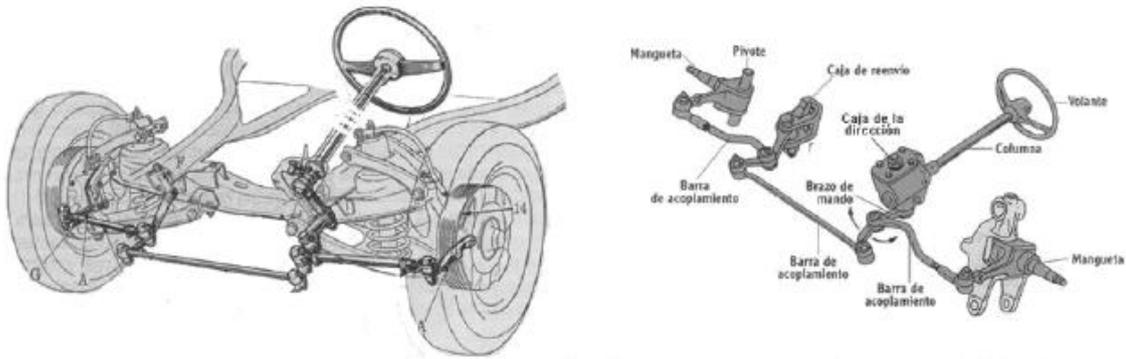


Figura 3.6: Elementos de la dirección con barra de acoplamiento dividida en tres partes

- **Volante:** Permite al conductor orientar las ruedas.
- **Columna de dirección o de engranajes:** Transmite el movimiento del volante a la caja de dirección.
- **Caja de dirección:** Sistema de desmultiplicación que minimiza el esfuerzo del conductor.
- **Brazo de mando:** Situado a la salida de la caja de dirección, manda el movimiento de ésta a los restantes elementos de la dirección.
- **Brazo de acoplamiento:** Recibe el movimiento de la palanca de ataque y lo transmite a la barra de acoplamiento y a las manguetas.
- **Barra de acoplamiento:** Hace posible que las ruedas giren al mismo tiempo.
- **Pivotes:** Están unidos al eje delantero y hace que al girar sobre su eje, oriente a las manguetas hacia el lugar deseado.
- **Manguetas:** Sujetan la rueda.
- **Rótulas:** Sirven para unir varios elementos de la dirección y hacen posible que, aunque estén unidos, se muevan en el sentido conveniente.

### 3.2.2 Cualidades del sistema de dirección

Las cualidades más importantes que debe reunir un sistema de dirección para proporcionar al conductor la seguridad y comodidad necesaria en la conducción son [22]:

- Seguridad: que depende de la fiabilidad del mecanismo y de la calidad de los materiales empleados.
- Suavidad: se consigue con un montaje preciso, una desmultiplicación adecuada y un perfecto engrase. La dureza en la conducción hace que esta sea desagradable, a veces difícil y siempre fatigosa. Puede producirse por colocar unos neumáticos inadecuados o mal inflados, por un ángulo de avance o salida exagerados, por carga excesiva sobre las ruedas directrices y por estar el eje o el chasis deformado.
- Precisión: se refleja en la dirección haciendo que no sea ni muy dura ni muy suave. Una dirección dura trae consigo una conducción fatigosa e imprecisa debido a un mal reglaje o una pequeña desmultiplicación (inadecuada).

La falta de precisión puede ser debida a las siguientes causas:

- Por excesivo juego en los órganos de dirección.
  - Por alabeo de las ruedas, que implica una modificación periódica en las cotas de reglaje y que no debe de exceder de 2 a 3 mm.
  - Por un desgaste desigual en los neumáticos (falso redondeo), que hace ascender a la mangueta en cada vuelta, modificando por tanto las cotas de reglaje.
  - El desequilibrio de las ruedas, que es el principal causante del shimmy, consiste en una serie de movimientos oscilatorios de las ruedas alrededor de su eje, que se transmite a la dirección, produciendo reacciones de vibración en el volante.
  - Por la presión inadecuada en los neumáticos, que modifica las cotas de reglaje y que, si no es igual en las dos ruedas, hace que el vehículo se desvíe a un lado.
- Irreversibilidad: debe evitar que las oscilaciones que toman los neumáticos como consecuencia de las incidencias del terreno no se transmitan al volante.

### 3.2.3 Tipos

En la actualidad podemos encontrar diferentes sistemas de dirección:

- **Mecanismos de dirección de tornillo sin fin:** se caracteriza por la columna de dirección que acaba roscada, y cuando es accionada por el volante, activa un engranaje que arrastra al brazo de mando y, a su vez, a todo el sistema.



Figura 3.7: Dirección de tornillo sin fin

- **Mecanismo de dirección de tornillo y palanca:** la columna también acaba roscada, y por esta parte se mueve un pivote o palanca al que está unido el brazo de mando, accionando así todo el sistema.

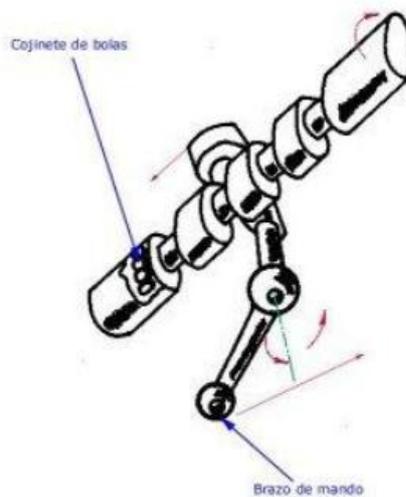


Figura 3.8: Dirección de tornillo y palanca

- **Mecanismo de dirección de cremallera:** En este sistema, la columna de dirección acaba en un piñón. Al girar cuando se acciona el volante, hace correr una cremallera dentada unida a la barra de acoplamiento, la cual pone en movimiento todo el sistema.

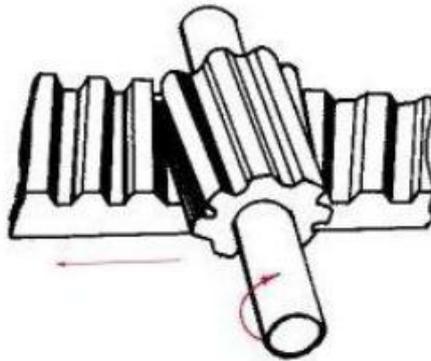


Figura 3.9: Dirección de cremallera

### 3.2.4 Geometría de dirección

Para que el funcionamiento de la dirección resulte adecuado, es preciso que los elementos que lo forman cumplan unas determinadas condiciones. [22], [23], [25]

Aquí es donde entran en juego las cotas de dirección o geometría de dirección, mediante las cuales se logra que las ruedas obedezcan fácilmente al volante de dirección y no se altere su orientación por las irregularidades del terreno o al efectuar una frenada, resultando así la dirección segura y de suave manejo.

Las cotas que determinan la geometría del sistema de dirección son:

- Ángulo de caída
- Ángulo de salida
- Ángulo de avance
- Ángulo de convergencia
- Cotas conjugadas

### 3.2.4.1 Ángulo de caída ( $\gamma$ )

Es el ángulo que forma la mangueta con una línea horizontal situada en el plano vertical que pasa por este eje (UNE 87).

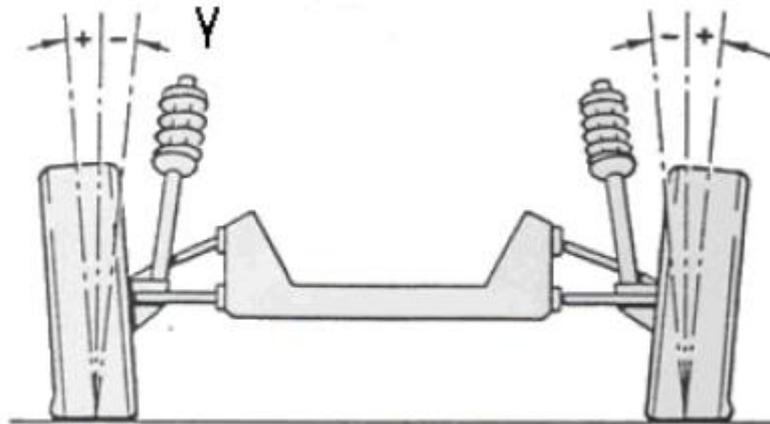


Figura 3.10: Ángulo de caída

En el dibujo anterior se observa que cuando la parte superior de las ruedas se encuentran más alejadas, este ángulo toma valor positivo, y negativo en caso contrario.

Tiene por objeto desplazar el peso del vehículo que gravita sobre este eje hacia el interior de la mangueta, disminuyendo así el empuje lateral de los cojinetes sobre los que se apoya la rueda. Reduciendo también los esfuerzos y oscilaciones excesivas producidas por el terreno que puedan influir en los elementos de dirección de manera perjudicial.

El desgaste del neumático también está ligado a este ángulo.

Si la caída es muy positiva, el desgaste se verá más favorecido por la zona exterior del neumático, y si es muy negativa, por la zona interior.

En vehículos de tracción delantera, este ángulo oscila entre los  $0^\circ$  y  $-1^\circ$ , y en tracción trasera, entre  $+1^\circ$  y  $+3^\circ$ .

La diferencia máxima admisible entre ruedas es de  $\frac{1}{4}$  de grado para evitar la desviación del vehículo sobre línea recta.

### 3.2.4.2 Ángulo de salida ( $\delta$ )

Es la proyección sobre un plano perpendicular al plano longitudinal de simetría del vehículo del ángulo agudo que forma con la vertical el eje de giro real o ficticio de la mangueta (UNE87).

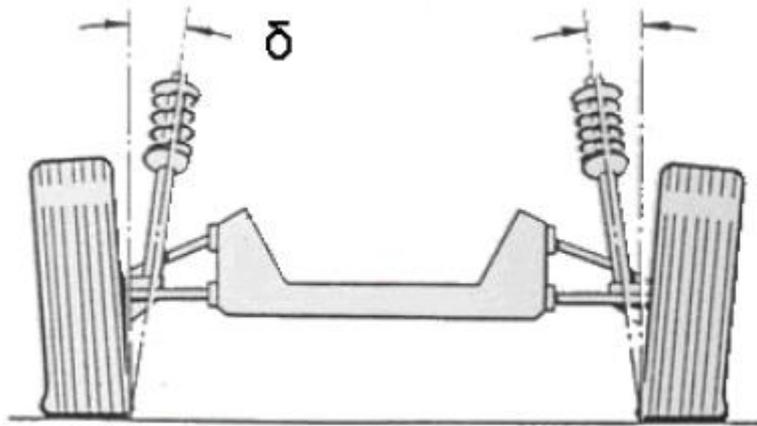


Figura 3.11: Ángulo de salida

Este ángulo está íntimamente relacionado con el esfuerzo a realizar con el volante para orientar las ruedas, ya que la disposición del pivote sobre el que se mueve la mangueta reduce este esfuerzo.

De la inclinación del eje del pivote resultan fuerzas de retroceso, las cuales, después del paso en curva, hacen volver las ruedas a la posición de línea recta que tenían según el sentido de la marcha. Esto es debido a que al orientar la rueda para tomar una curva, como gira sobre el eje de pivote y éste está inclinado, la rueda tiende a hundirse en el suelo y, como no puede hacerlo, es la carrocería la que se levanta, oponiéndose a esto su propio peso, por lo cual, en cuanto se suelte el volante de la dirección, el peso de la carrocería hará volver la rueda a su posición de línea recta.

Además, el ángulo de salida minimiza el efecto de las irregularidades de la carretera en el ensamblaje del conjunto de dirección.

Los valores más comunes que se manejan están comprendidos entre  $5^\circ$  y  $7^\circ$ .

### 3.2.4.3 Ángulo de avance ( $\beta$ )

Se define como la proyección sobre un plano paralelo al plano longitudinal medio del vehículo del ángulo agudo que forma con la vertical el eje de giro real o ficticio de la mangueta (UNE87).

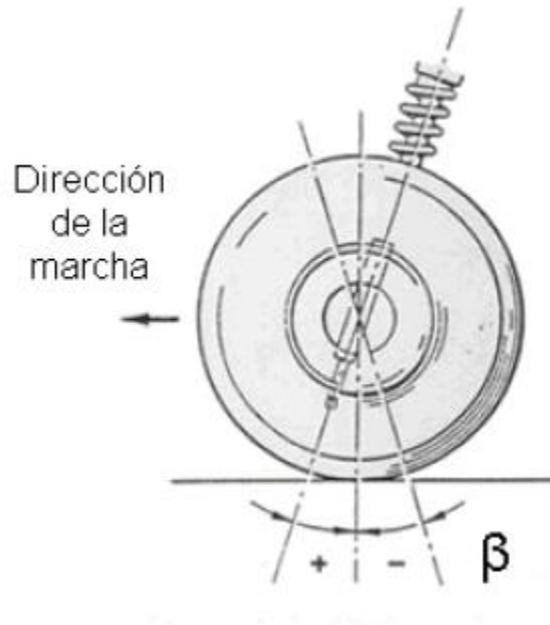


Figura 3.12: Ángulo de avance

El criterio de signos es el que se representa en la figura, es decir, positivo si está situado en posición de avance a la dirección normal a la marcha y negativo en caso contrario.

Con este ángulo se consigue estabilidad y fijeza en la dirección, y en el caso de tomar una curva o como consecuencia de desigualdades en el terreno, se generan un par de fuerzas que obliga a las ruedas a retornar a su posición de línea recta.

El avance debe ser tal, que cumpla la misión encomendada sin perturbar otras condiciones direccionales. Si este ángulo es grande, el par creado también lo es, haciendo que las ruedas se orienten violentamente. Si el ángulo es pequeño o insuficiente, el par de orientación también lo es, haciendo que la dirección se vuelva inestable y dificulte la conducción.

El ángulo de avance suele estar comprendido entre  $0^\circ$  y  $4^\circ$  para vehículos con motor delantero y de  $6^\circ$  a  $12^\circ$  para vehículos con motor trasero.

### 3.2.4.4 Ángulo de convergencia ( $\alpha$ )

El ángulo de convergencia, según (UNE87), se puede definir en términos de longitud y en términos de ángulo.

En el primer caso, se define como la diferencia entre la longitud de la base posterior y de la base anterior del trapecio formado por las extremidades de los diámetros horizontales de los contornos interiores de las llantas correspondientes a un mismo eje.

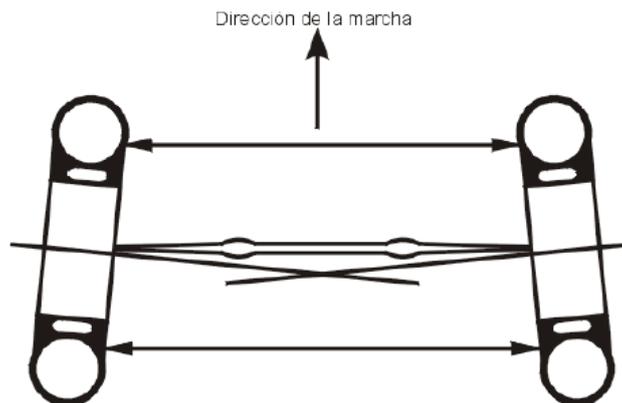


Figura 3.13: Ángulo de convergencia

En términos angulares la convergencia se define como el ángulo que forma el diámetro horizontal de la rueda con el plano longitudinal medio del vehículo, o por el ángulo agudo entre el plano vertical G que pasa por el eje de la mangueta y el plano H perpendicular al plano longitudinal medio del vehículo.

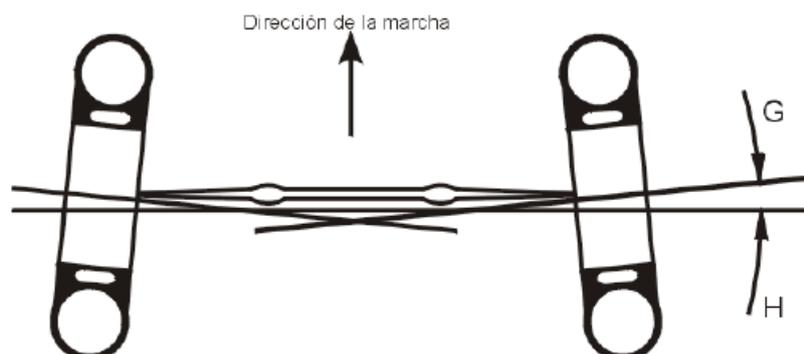


Figura 3.14: Ángulo de convergencia

La convergencia también contrarresta el par de orientación que se forma entre el empuje y el rozamiento de la rueda y que tiende a abrirla, siendo esta la razón de que los coches con propulsión tengan mayor convergencia que los de tracción, en efecto: debido al avance y salida, la prolongación del pivote corta al suelo en un punto más adelantado y hacia el centro que el de apoyo del neumático. Si el coche lleva propulsión, la fuerza de empuje se transmite a la rueda delantera a través del pivote y

la de resistencia se aplica en el punto de contacto del neumático. Esto origina un par de giro que tiende a abrir las ruedas delanteras, cosa que no ocurre en vehículos con tracción, ya que la fuerza se aplica en el punto de contacto.

El valor de esta convergencia viene determinado por los valores de las cotas de caída, salida y avance.

El que el valor de la convergencia pueda ser positivo o negativo (divergencia) depende de los valores que tengan los ángulos de caída, salida y, además, de que el vehículo sea de tracción delantera o propulsión trasera.

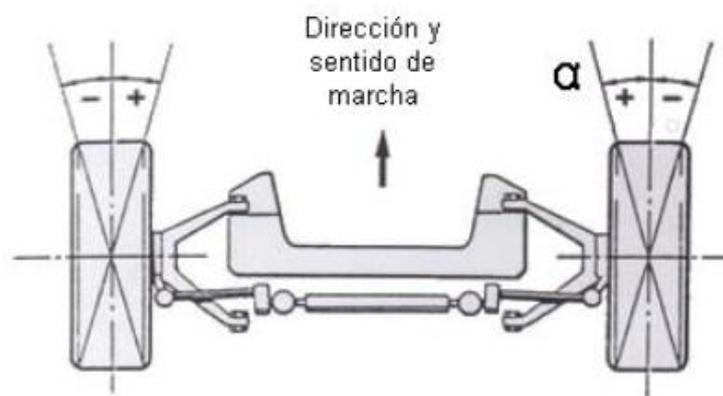


Figura 3.15: Ángulo de convergencia positivo-negativo

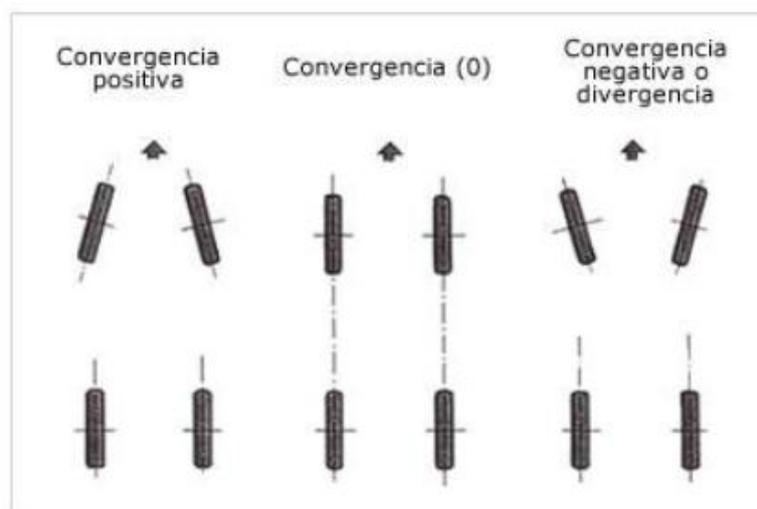


Figura 3.16: Tipos de convergencia

Una convergencia excesiva, al producir mayor tendencia en la orientación de las ruedas para seguir la trayectoria en línea recta, produce un desgaste irregular en los neumáticos que se manifiesta por el desgaste lateral que se produce en su banda de rodadura.

- En los vehículos de tracción trasera se crea un par de fuerzas originado por la resistencia a la rodadura de las ruedas delanteras que tiende a abrirlas, por lo que para mitigar este efecto el ángulo de convergencia pasa a ser positivo.
- En los vehículos de tracción delantera ocurre todo lo contrario, por lo que el ángulo de convergencia es negativo.

### 3.2.4.5 Cotas conjugadas

Es la suma del ángulo de caída y de salida, también denominado ángulo comprendido.

Las cotas de salida y caída hacen que el avance corte a la línea de desplazamiento por delante y hacia la derecha del punto (A). De ello resulta que, para vehículos de propulsión trasera, el empuje que se transmite al eje delantero pase de éste a la rueda por el pivote, teniendo su punto de tiro en la rueda sobre el punto (B). Como la resistencia de rodadura actúa sobre su punto de apoyo (A), resulta un par de fuerzas que tiende a abrir la rueda por delante, debiendo dar una convergencia a la rueda para corregir esta tendencia.

La convergencia será tanto mayor cuanto más adelantado y hacia la derecha se encuentre el punto (B). Esta posición viene determinada por los ángulos de caída, salida y avance, lo que quiere decir que la convergencia depende directamente de estas tres cotas.

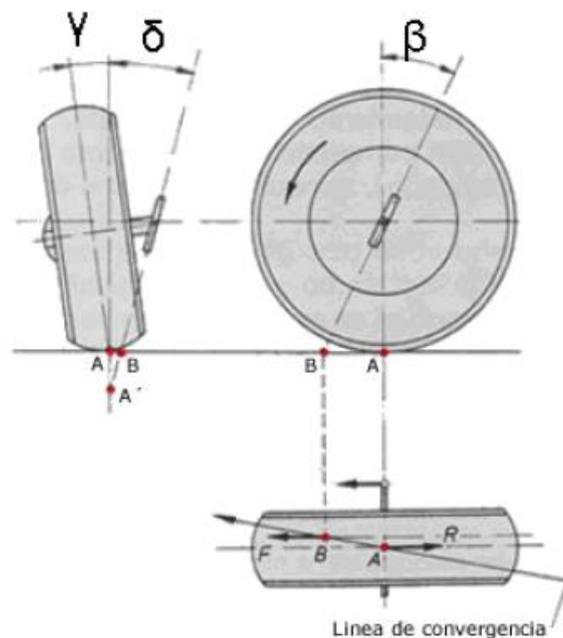


Figura 3.17: Cotas conjugadas y sus efectos sobre la orientación de las ruedas

En vehículos con tracción delantera, la fuerza de empuje está aplicada en el mismo punto de apoyo de la rueda, siendo las ruedas traseras remolcadas sin ejercer efecto

alguno sobre la dirección. No obstante, se les da un pequeño avance para mantener estable la dirección resultando, junto a las cotas de salida y caída, una convergencia que pueda ser positiva o negativa.

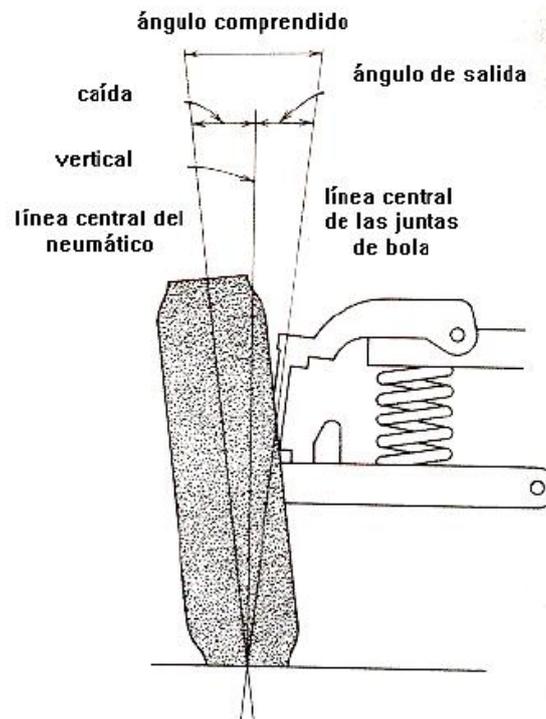


Figura 3.18: Ángulo comprendido

Este ángulo comprendido permite reducir los efectos de reacción del suelo sobre las ruedas, aplicar las cargas sobre el rodamiento interior del buje y disminuir el desgaste de las rótulas y rodamientos de la mangueta.

### 3.3 Adherencia

La fuerza de adherencia entre los neumáticos y la calzada es un factor clave en la seguridad, puesto que ha de producir las reacciones calzada-vehículo necesarias para el guiado, la aceleración y el frenado.

Dicha fuerza de adherencia, como es bien sabido, es el producto de la carga dinámica que actúa sobre cada rueda en dirección perpendicular a la superficie de rodadura, y del coeficiente de adherencia  $\mu$ . El primero de los factores queda influenciado por tres elementos:

- Peso o carga estática sobre cada rueda.
- Transferencia de carga entre ejes o entre laterales del vehículo, al actuar las fuerzas de inercia puestas en juego en procesos de aceleración, frenado y virajes.
- Variación de carga como consecuencia de las vibraciones provocadas por las irregularidades de la calzada.

En la variación de la carga dinámica juega un papel importante el diseño del vehículo, especialmente la suspensión: rigidez vertical, amortiguamiento, rigidez de balanceo, etc., y también la homogeneidad de la superficie, como se ha indicado antes.

El otro factor, el coeficiente de adherencia neumático-suelo, tanto en dirección longitudinal como lateral, depende, fundamentalmente, de la naturaleza y estado de la superficie de la calzada y de los neumáticos, así como de la velocidad.

La velocidad del vehículo influye en el valor máximo del coeficiente de adherencia ( $\mu_{\text{máx}}$ ) y el valor de deslizamiento ( $\mu_d$ ), haciendo disminuir éstos, de forma análoga a como sucede en la mayoría de los fenómenos de adherencia y rozamiento. Esta variación puede verse en los datos representados en la Figura 3.19 y en la Figura 3.20.

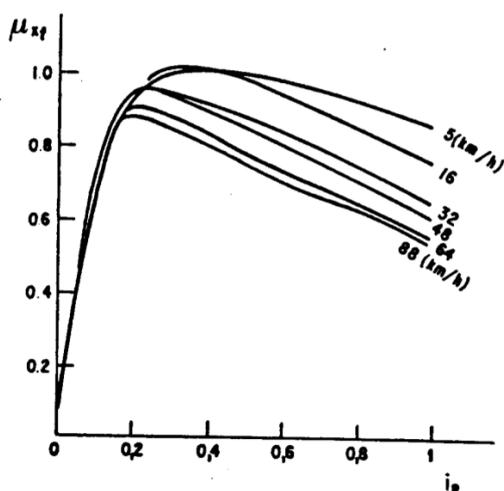


Figura 3.19: Efecto de la velocidad sobre el coeficiente de esfuerzo de frenado (neumático de camión 10.00 x 20/F sobre asfalto)

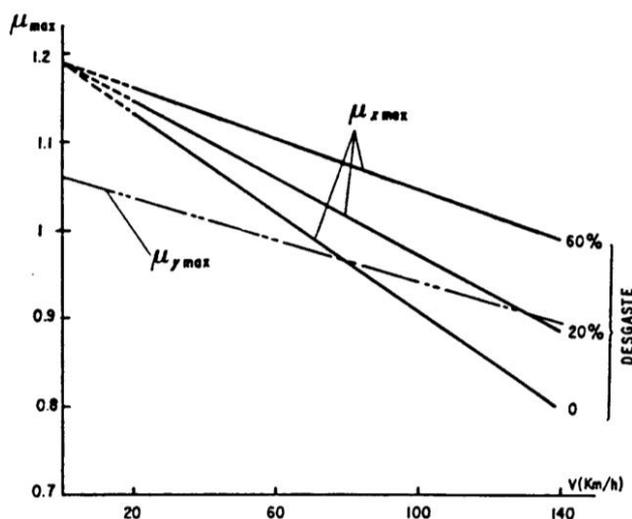


Figura 3.20: Coeficiente de adherencia máxima en función de la velocidad de marcha y del desgaste de la banda de rodadura

En la tabla siguiente se incluyen algunos valores de  $\mu$  a título orientativo.

VELOCIDAD Km/h	ESTADOS DE LOS NEUMÁTICOS	ESTADO DE LA CARRETERA				
		SECA	MOJADA (~ 0,2mm agua)	LLUVIA FUERTE (~ 1 mm)	CHARCOS (~ 2 mm)	HIELO
60	NUEVOS	0,85	0,65	0,55	0,5	0,1 ó MENOR
	(2) GASTADOS	1	0,5	0,4	0,25	
90	NUEVOS	0,8	0,6	0,3	0,15	
	(2) GASTADOS	0,95	0,2	0,1	0,05	
130	NUEVOS	0,75	0,55	0,2	0	
	(2) GASTADOS	0,9	0,2	0,1	0	

(1) Los neumáticos para carreras pueden alcanzar valores del orden de 1,5.

(2) Desgaste hasta 1 mm de altura de perfil.

Tabla 3.1: Coeficiente de adherencia ( $\mu$ ) sobre firmes de hormigón y macadán en buen estado

Los valores anteriores se reducen con neumáticos bloqueados. Por otra parte, el valor total de la adherencia se distribuye para responder a los requerimientos longitudinales  $F_x$  (tracción y frenado) y laterales,  $F_y$ , de tal forma que:

$$F_a = \mu F_z = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

Siendo  $F_z$  la carga dinámica perpendicular a la calzada.

Cuando la exigencia de adherencia en una dirección es tal que supera al límite disponible, lo cual puede suceder en una frenada severa con bloqueo de ruedas, en la dirección perpendicular (lateral) la adherencia prácticamente se anula, produciéndose el desplazamiento lateral del eje con los conocidos y negativos efectos: **Inestabilidad direccional** (bloqueo de ruedas traseras de un vehículo de dos ejes); **pérdida de control direccional** (bloqueo de ruedas delanteras); **efecto "tijera"** (bloqueo de ruedas traseras del tractor en un vehículo con semirremolque), etc.

A lo anterior ha de añadirse la importancia que tiene para la seguridad frenar en un espacio reducido, efecto íntimamente relacionado con la adherencia disponible.

Debido a todo lo anterior, no es exagerado lo que dijimos al principio: **la adherencia es un factor clave en la seguridad**, como lo es, también, la percepción y aprovechamiento de la misma que haga de ella el conductor. En este último aspecto, mientras que la percepción y utilización de la adherencia circulando sobre calzada seca suele ser inferior al límite real, en condiciones desfavorables puede producirse una mala estimación y, frecuentemente, una sobreestimación peligrosa. El informe del INRETS incluye el gráfico de la Figura 3.21.

Como se pone de manifiesto en los datos representados en la Figura 3.21, a diferencia de la uniformidad, la adherencia no suele ser bien percibida por los conductores. Actualmente se investiga intensamente para desarrollar dispositivos que informen a los sistemas de control del vehículo acerca del valor de la adherencia. Cuando todos los vehículos puedan disponer de un dispositivo de esta naturaleza, la seguridad habrá mejorado sensiblemente. Otra observación proporcionada por la Figura 3.21 es que sobre superficies secas no suelen presentarse problemas importantes asociados con la adherencia, salvo en situaciones extremas de conducción.

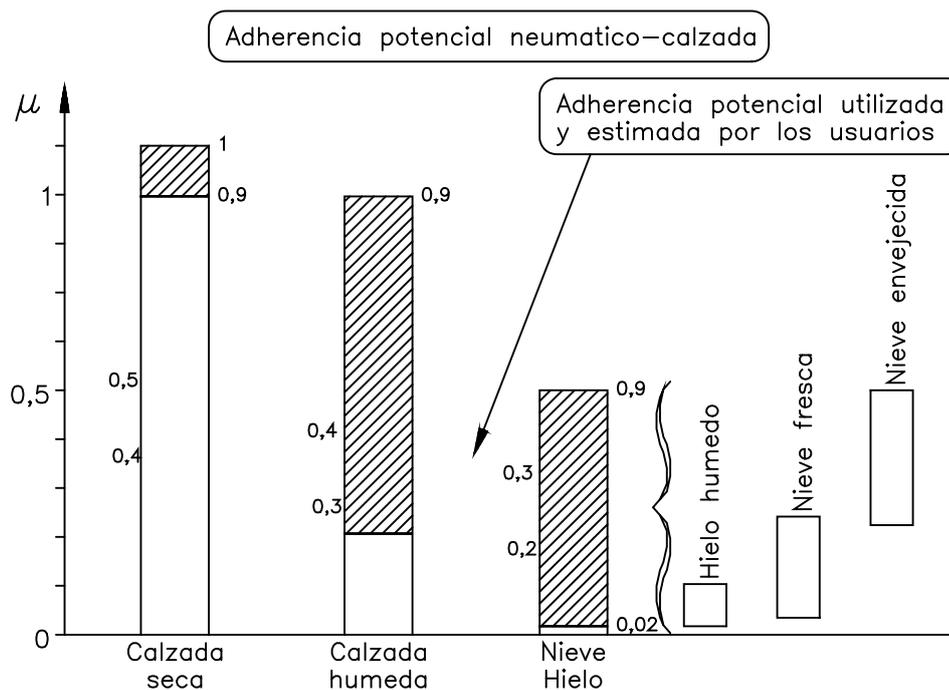


Figura 3.21: Límites potenciales de adherencia. Estimación y uso que hacen los usuarios

Otro problema asociado tanto a la adherencia como a otros factores de la infraestructura es su continuidad, tanto en la dirección longitudinal como en la transversal. En el primer caso, cambios de adherencia en diferentes tramos de carreteras pueden sorprender al conductor. En cuanto a la heterogeneidad lateral, en un tramo concreto, ofreciendo diferente valor de adherencia en las zonas de rodadura de las ruedas de cada lateral del vehículo, puede ocasionar bloqueo de ruedas de un lateral o diferentes esfuerzos de frenado entre los de ambos laterales, con el consiguiente peligro de que el momento de guiñada provoque la pérdida de control direccional.

### 3.3.1 Coeficiente de adherencia. Valor máximo y valor de deslizamiento puro

El coeficiente de esfuerzo longitudinal de tracción o frenado puede adquirir valores comprendidos entre 0 y  $\mu_{\text{máx}}$  cuando aumenta el valor de la fuerza  $F_x$ .

Dicho valor  $\mu_{\text{máx}}$  corresponde al valor máximo de la adherencia entre el neumático y la superficie de rodadura, el cual depende de diversos factores que se analizarán más tarde. Una vez superado este límite, el deslizamiento entre el neumático y la superficie de rodadura se extiende de una forma casi instantánea a toda la huella de contacto y disminuye hasta un valor  $\mu_d$  (coeficiente de adherencia en deslizamiento).

Los valores del coeficiente de adherencia están influidos por diversos factores que podemos agrupar en internos, relacionados con el propio neumático y el vehículo, y externos o relativos al ambiente en que se mueve, especialmente la naturaleza y estado de la calzada.

Los principales factores internos que afectan a  $\mu_{\text{máx}}$  son:

- Velocidad de marcha
- Dibujo de la banda de rodamiento
- Carga normal sobre la rueda

Los principales factores externos, son los relacionados con la calzada:

- Naturaleza
- Estado de humedad superficial
- Estado de limpieza

Por último, un factor dependiente de la marcha del vehículo y de los factores externos (aire y trayectoria) es la acción simultánea de esfuerzo tangencial y transversal ( $F_y$ ) en la huella de contacto.

Cuando se solicita la superficie de contacto neumático suelo con una componente de fuerza de adherencia en dirección transversal ( $F_y$ ), además de la longitudinal ( $F_x$ ), el coeficiente total de adherencia será:

$$\mu = \frac{F_t}{F_z} = \sqrt{\frac{F_x^2}{F_z^2} + \frac{F_y^2}{F_z^2}} = \sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2}$$

El nivel de adherencia disponible se puede expresar gráficamente mediante la denominada elipse de adherencia (*Figura 3.22*):

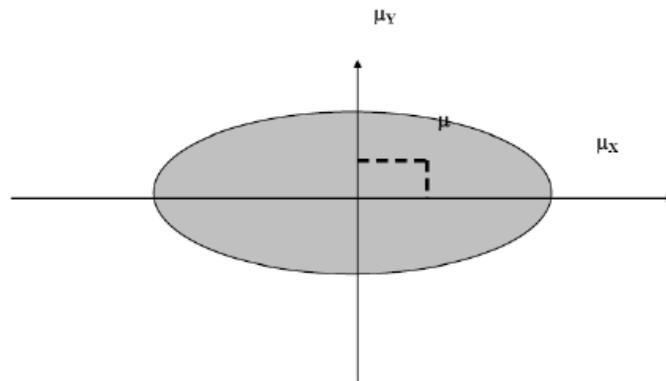


Figura 3.22: Elipse de adherencia

La zona de seguridad es la que se encuentra en el interior de la elipse. La adherencia disponible se reparte, para cada punto del interior, entre el coeficiente de adherencia longitudinal ( $\mu_x$ ) y el lateral ( $\mu_y$ ). Cuando la exigencia de adherencia en una dirección es tal que supera el límite disponible, lo cual puede suceder en una frenada severa, en la dirección perpendicular (lateral) la adherencia prácticamente se anula, produciéndose el desplazamiento lateral del eje con los consiguientes efectos:

Inestabilidad direccional (bloqueo de ruedas traseras de un vehículo de dos ejes); pérdida de control direccional (bloqueo de ruedas delanteras); efecto “tijera” (bloqueo de ruedas delanteras traseras del tractor en un vehículo con semirremolque), etc.

Es decir, si un neumático rueda sometido exclusivamente a fuerzas verticales (carga) y longitudinales (tracción o frenado), la dirección del movimiento coincide con el eje X, contenido en el plano medio de la rueda. Cuando además de estas fuerzas actúa una fuerza lateral ( $F_1$ ) en dirección perpendicular al referido plano de la rueda, debido a la aceleración centrífuga en curvas o al empuje del aire, o a la propia geometría del neumático, el movimiento real del neumático respecto al suelo se produce siguiendo una trayectoria que forma un ángulo  $\alpha$  (ángulo de deriva) con el plano de la rueda (Figura 3.23).

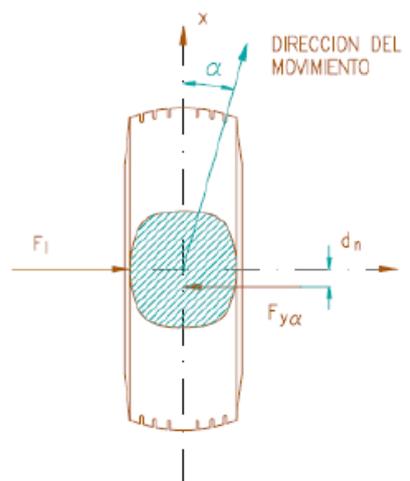


Figura 3.23: Comportamiento del neumático sometido a cargas laterales

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Software: CARSIM™

CarSim™ permite simular el comportamiento dinámico de vehículos, frente a acciones del conductor y del entorno. Sus animaciones simulan ensayos y proporciona más de 600 variables susceptibles de ser analizadas mediante gráficas, etc. Es usado por ingenieros para diseñar, desarrollar, probar y plantear la evolución del vehículo. Permite obtener resultados de una forma rápida y fiable. Utiliza modelos matemáticos para reproducir las características y comportamiento del vehículo. Las animaciones permiten obtener información gráfica muy rápidamente. Su modelo matemático tiene en cuenta todos los sistemas del vehículo, así como la respuesta del conductor y condiciones externas [2].

Los principales fabricantes de vehículos lo utilizan en el desarrollo de sus prototipos antes de llevar sus evoluciones a la práctica. Sus menús y su metodología son muy intuitivos y permiten introducir todas las características de un vehículo.

CarSim™ tiene una interfase bastante intuitiva, conociendo el funcionamiento general del programa se pueden realizar numerosos tests. Sin más que navegar por los distintos menús y bibliotecas y realizar unas cuantas pruebas, se llega con facilidad al análisis buscado.

Una vez abierto el programa aparece la pantalla de control general (Figura 4.1), la cual está dividida en tres partes claramente diferenciadas:

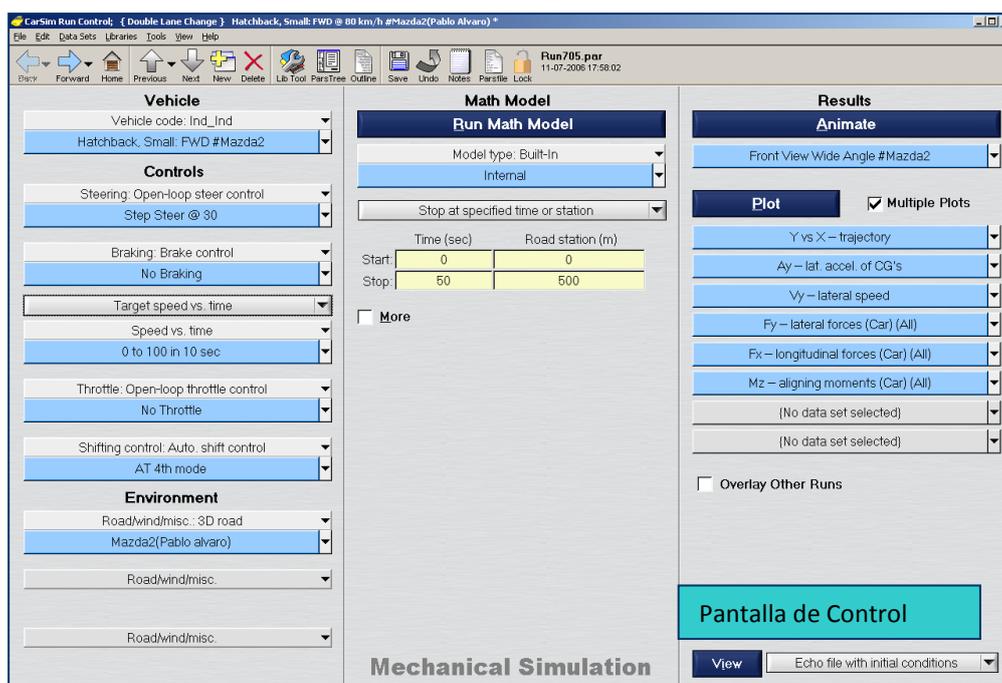


Figura 4.1: Pantalla de control general de CarSim™

1. *Parte Izquierda – VEHÍCULO, INSTRUCCIONES Y ENTORNO*: Mediante esta zona se pueden variar todos los parámetros que permite el programa para definir el análisis a realizar. Para ello existen varias pestañas, mediante cada una de las cuales se accede a una serie de submenús que agrupan un número de variables relacionadas. En la figura 4.2 se describen dichas pestañas.

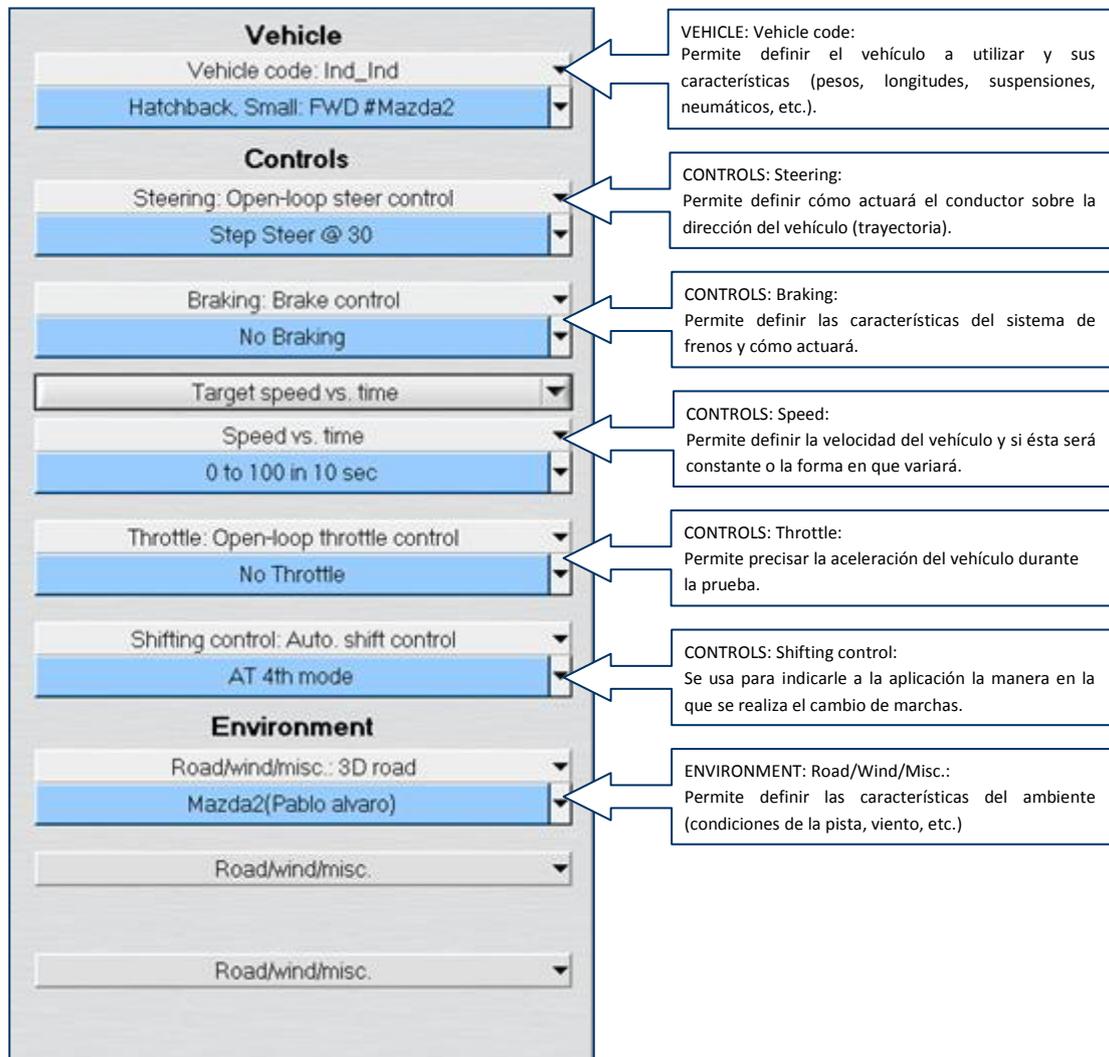


Figura 4.2: Detalle del tercio izquierdo de la pantalla de control general

El funcionamiento de las pestañas es el siguiente: mediante la flecha que se encuentra en la parte superior derecha se accede a la biblioteca de la pestaña correspondiente. Una vez seleccionada la característica a variar, mediante la flecha de la parte inferior derecha se accede a otra biblioteca de posibilidades dentro de la característica seleccionada. Por último, pinchando en la pestaña azul, se abre otra pantalla en la que se pueden variar los parámetros que se deseen y cuyo funcionamiento es idéntico al de la pantalla de control general. Por ejemplo, pinchando en la pestaña azul de la primera pestaña se accede a la pantalla 1, y si se vuelve a pinchar en la pestaña azul de la primera pestaña de esta nueva pantalla se llega a la pantalla 2, pudiéndose variar el valor de las longitudes y pesos del vehículo (Figura 4.3).

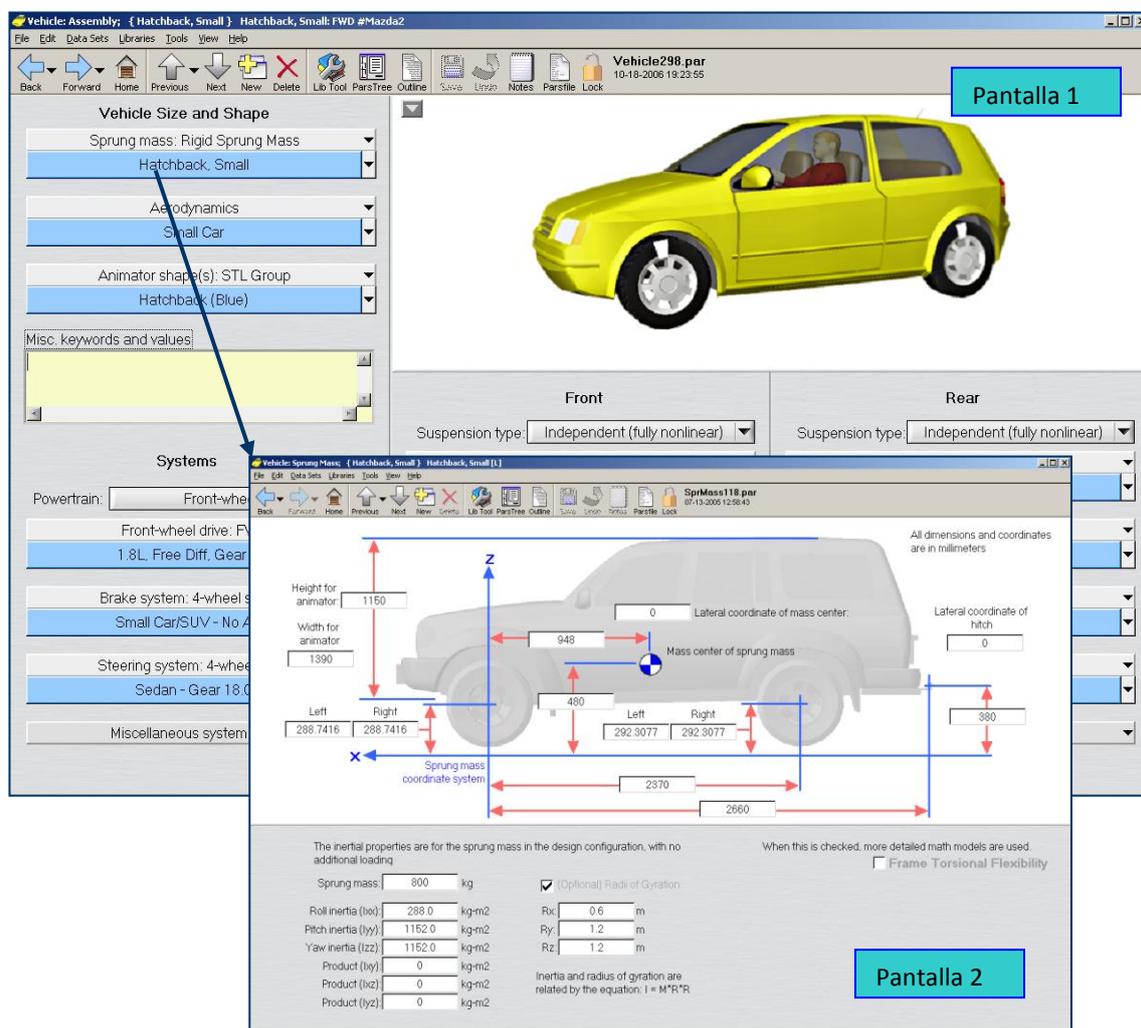


Figura 4.3: Esquema de funcionamiento de CarSim®

2. *Parte Central - MATH MODEL:* Mediante esta parte se resuelve el modelo introducido en la parte izquierda. Se puede variar el tiempo de simulación, el espacio recorrido, etc (Figura 4.4).

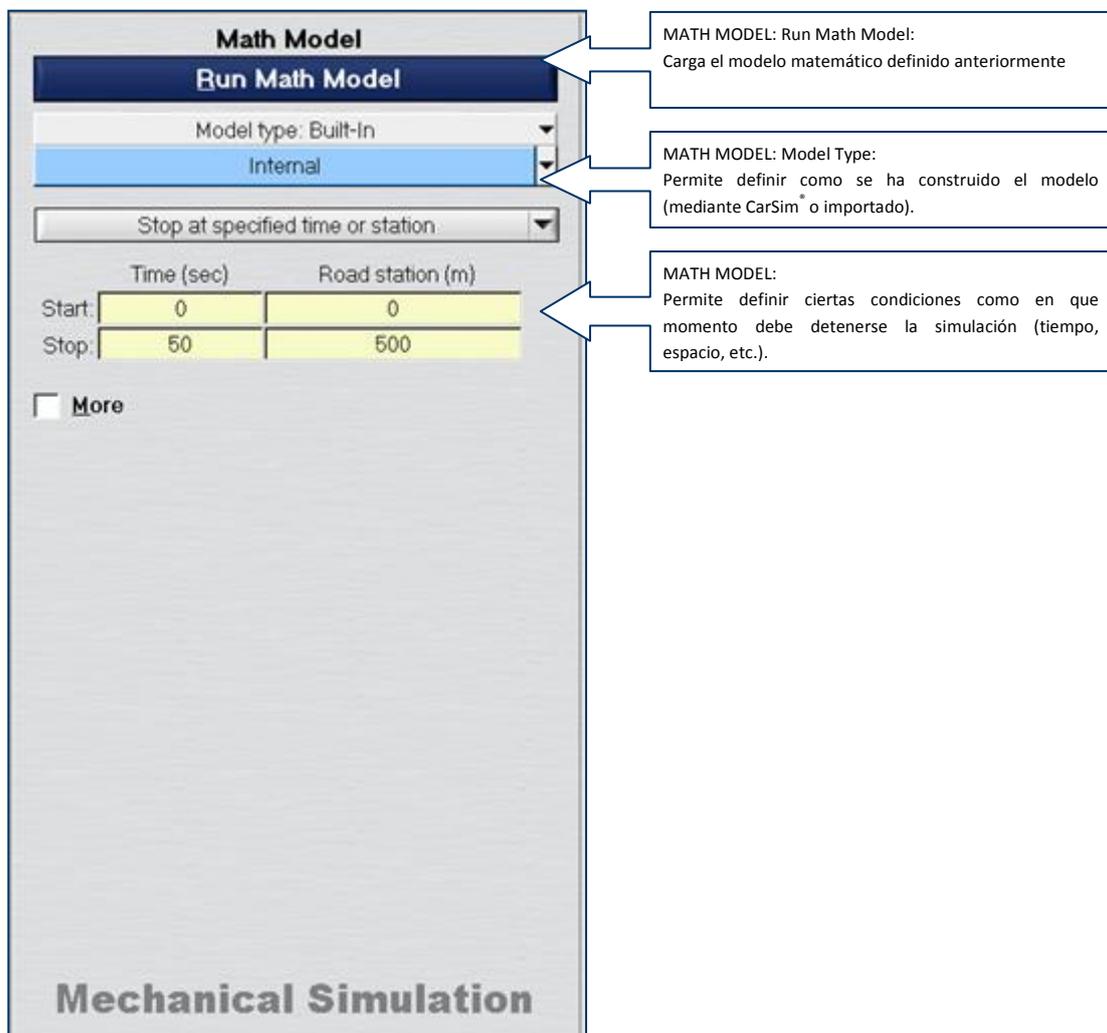


Figura 4.4: Detalle del tercio central de la pantalla de control general

3. *Parte derecha - RESULTS:* Esta parte muestra los resultados obtenidos, tanto la animación de la simulación como los gráficos obtenidos a partir de la misma. También permite ciertas opciones como superponer varias simulaciones y cambiar algunas características de la animación.

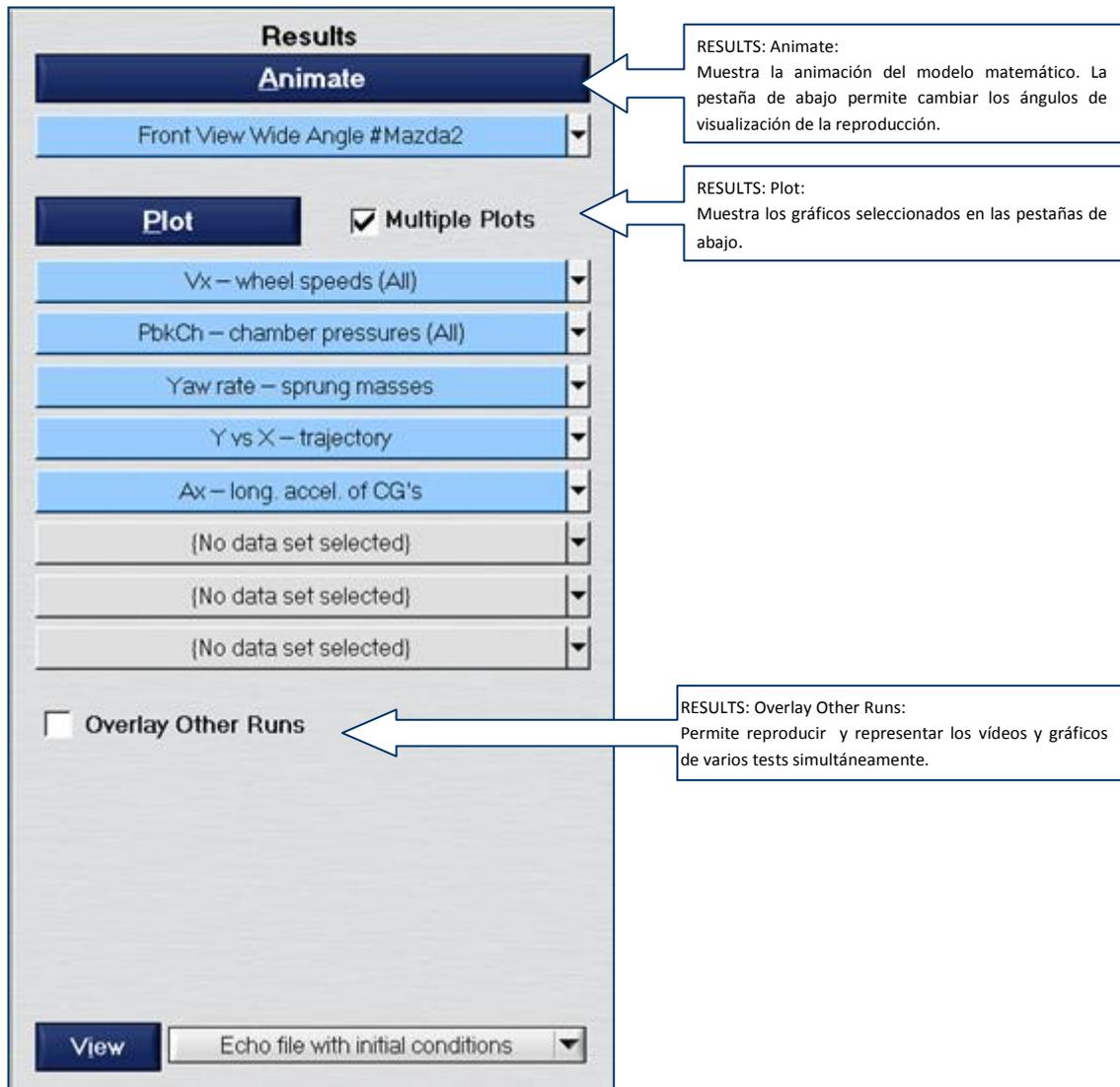


Figura 4.5: Detalle del tercio derecho de la pantalla de control general

## 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FRENADO

### 5.1 Condiciones seleccionadas para la realización de simulaciones

Si bien es cierto que las condiciones seleccionadas han de ser adaptadas para el tipo de defecto simulado, en aras de la obtención de análisis y resultados homogéneos, se han seguido las indicaciones dadas por las directivas relativas al sistema de frenado para la realización de ensayos. Las directivas que fundamentalmente conciernen a este sistema son las siguientes:

- Directiva 71/320/CEE del Consejo, de 26 de julio de 1971, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los dispositivos de frenado de determinadas categorías de vehículos a motor y de sus remolques [11].
- Directiva 98/12/CE de la Comisión, de 27 de enero de 1998, por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 71/320/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los dispositivos de frenado de determinadas categorías de vehículos a motor y de sus remolques (Texto pertinente a los fines del EEE) [12].

En dichas directivas se pueden encontrar velocidades de referencia para la realización de ensayos, con el fin de seleccionar aquellas que mejor se adecúen al tipo de simulaciones realizadas, tal y como se detalla en los siguientes puntos:

Realización de ensayos descritos en las directivas vigentes:

- Ensayo del tipo 0 con motor desembragado:
  - El ensayo deberá llevarse a cabo a la velocidad indicada para la categoría a la que el vehículo pertenezca, aunque se admitirá un cierto margen de tolerancia con respecto a las cifras establecidas (ver figura 5.1). Deberá alcanzarse el rendimiento mínimo prescrito para cada categoría.
- Ensayo del tipo 0 con motor embragado:
  - Independientemente de los ensayos prescritos en el punto anterior, deberán efectuarse ensayos complementarios con motor embragado, a distintas velocidades, la más baja de las cuales deberá ser igual al 30% de la velocidad máxima del vehículo, y la más elevada, igual al 80% de dicha velocidad. Los valores del rendimiento práctico máximo medido, así como el comportamiento del vehículo, se indicarán en el acta del ensayo. Las unidades

tractoras para semirremolques que se carguen artificialmente para simular los efectos de un semirremolque cargado, no deberán ensayarse a velocidades superiores a los 80 km/h.

- Se efectuarán otros ensayos con el motor embragado, partiendo de la velocidad prescrita para la categoría a la que pertenezca el vehículo. Se deberá conseguir el rendimiento mínimo prescrito para cada categoría. Las unidades tractoras de semirremolques, cargadas artificialmente para simular los efectos de un semirremolque cargado, no se ensayarán a más de 80 km/h.

Categoría del vehículo	Modalidades			
	$v_1$ (km/h)	$v_2$ (km/h)	$\Delta t$ (s)	n
M <sub>1</sub>	80 % $v_{max}$ $\leq 120$	$\frac{1}{2} v_1$	45	15
M <sub>2</sub>	80 % $v_{max}$ $\leq 100$	$\frac{1}{2} v_1$	55	15
M <sub>3</sub>	80 % $v_{max}$ $\leq 60$	$\frac{1}{2} v_1$	60	20
N <sub>1</sub>	80 % $v_{max}$ $\leq 120$	$\frac{1}{2} v_1$	55	15
N <sub>2</sub>	80 % $v_{max}$ $\leq 60$	$\frac{1}{2} v_1$	60	20
N <sub>3</sub>	80 % $v_{max}$ $\leq 60$	$\frac{1}{2} v_1$	60	20

Figura 5.1: Condiciones establecidas para el Ensayo del tipo 0

Asimismo, el rendimiento del frenado de socorro se comprobará mediante el ensayo del tipo 0, con el motor desembragado y partiendo de las siguientes velocidades iniciales:

- M1 = 80 km/h
- M2 = 60 km/h
- M3 = 60 km/h
- N1 = 70 km/h
- N2 = 50 km/h
- N3 = 40 km/h

A partir de estas directrices, han sido seleccionadas dos velocidades para la realización de las simulaciones:

- 120 km/h: Es la velocidad máxima para el Ensayo del tipo 0, tipificada en la directiva vigente, coincidiendo además con la velocidad máxima permitida en las vías españolas.
- 80 km/h: Es la velocidad indicada para comprobar el rendimiento del frenado de socorro en vehículos de la categoría M1, así como la utilizada en las pruebas de homologación necesarias tras una reforma de importancia.

Tras definir las velocidades iniciales utilizadas para las simulaciones, se ha procedido a seleccionar situaciones y escenarios representativos, con el fin de extraer resultados fácilmente comprensibles. Dichos escenarios se han adaptado a las diferentes pruebas, es por este motivo que se indicarán en cada prueba realizada.

## **5.2 Estudio de los diferentes defectos en el sistema de freno mediante herramientas de simulación**

La herramienta de simulación elegida para este estudio ha sido CarSim™ [Mechanical Simulation Corp.] [2, 13, 14]. El programa es un estándar en la industria del automóvil, está desarrollado especialmente para la simulación de la dinámica de vehículos con neumáticos. Permite estudiar cómo los vehículos responden dinámicamente a acciones del conductor y del entorno (pavimento y viento). Permite obtener el mismo tipo de datos y gráficas que pueden medirse con sistemas de ensayo instalados en vehículos. La aplicación está basada en parte en tecnologías desarrolladas por el University of Michigan Transportation Research Institute.

El modelo del vehículo está construido a partir del uso de diferentes componentes que son descritos matemáticamente por sus masas e inercias. Los movimientos de los diferentes componentes están restringidos de forma relativa por otros a través de elementos de conexión que a su vez también son descritos matemáticamente. Dispone de varios modelos de comportamiento del neumático, entre los que destacan el modelo de Pacejka 5.2, versión de la Fórmula Mágica, y modelos totalmente experimentales (matrices de datos obtenidos experimentalmente).

Las entradas al sistema consisten en una trayectoria (hace uso de un modelo de guiado) que el vehículo tiene que seguir a una cierta velocidad. Otras variables de entrada son fuerzas externas que actúan sobre el vehículo (fuerzas aerodinámicas), el ángulo de giro introducido en las ruedas, momentos en las ruedas motrices y excitaciones procedentes del pavimento.

Los datos de salida de la simulación pueden ser representados frente al tiempo o frente a otra variable incluida entre 500 parámetros como:

- Desplazamientos, velocidad y aceleración en cualquiera de los seis grados de libertad de la masa suspendida.
- Fuerzas y momentos en los neumáticos.
- Fuerzas y desplazamientos en muelles, amortiguadores, etc.

Mediante el uso de la herramienta de simulación descrita, se han analizado los diferentes casos de defecto de frenado. Con el fin de estructurar las diferentes simulaciones realizadas, se ha utilizado el orden seguido en el propio Manual de Procedimiento. De este modo, se analizará punto por punto cada uno de los Defectos del Freno de Servicio (Apartado 6.1. del Manual de Procedimiento de Inspección de las Estaciones I.T.V.), así como los Defectos del Dispositivo antibloqueo (Apartado 6.5. del Manual de Procedimiento de Inspección de las Estaciones I.T.V.), exceptuando aquellos que no dan lugar a simulación, tal y como se indica en el siguiente listado:

1. Frenado inoperante de una o más ruedas (Defecto Grave o Muy Grave).
2. Desequilibrio de las fuerzas de frenado entre las ruedas de un mismo eje, superior al 30% (Defecto Grave o Muy Grave).
3. Desequilibrio de las fuerzas de frenado entre las ruedas de un mismo eje, superior al 20% e inferior al 30% (Defecto Leve).
4. Progresión no gradual del freno (agarre) (Defecto Grave o Muy Grave).
5. Retraso anormal en el funcionamiento de los frenos en cualquiera de las ruedas (Defecto Grave).
6. Fluctuación superior al 55% de las fuerzas de frenado de una rueda (Defecto Grave).
7. Fluctuación superior al 30% e inferior al 55% de las fuerzas de frenado de una rueda (Defecto Leve).
8. Existencia de fuerzas de frenado en ausencia de acción sobre el mando del freno (Defecto Grave).
9. Vehículo de categoría 1 ( $M_2$  y  $M_3$ ): eficacia inferior al 50% (Defecto Grave): No da lugar a simulación.

10. Vehículo de categoría 2 ( $N_2$  y  $N_3$ ): eficacia inferior al 45% (Defecto Grave): No da lugar a simulación.
11. Vehículo de categoría 3 ( $O_3$  y  $O_4$ ): eficacia inferior al 43% (Defecto Grave): No da lugar a simulación.
12. Vehículo de categoría 4 (taxis y ambulancias): eficacia inferior al 50% (Defecto Grave): No da lugar a simulación.
13. Vehículo de categoría 5 ( $N_1$ ): eficacia inferior al 50% (Defecto Grave): No da lugar a simulación.
14. Vehículo de la categoría 6 (M1): eficacia inferior al 50% (Defecto Grave): No da lugar a simulación.
15. Para cualquier categoría de vehículo: valor de la eficacia inferior al 50% de los expresados anteriormente (Defecto Muy Grave): No da lugar a simulación.

Defectos del Dispositivo antibloqueo (Apartado 6.5. del Manual de Procedimiento de Inspección de las Estaciones I.T.V.):

1. Inexistencia del dispositivo antibloqueo en vehículos obligados a llevarlo (Defecto Grave).
2. Señal óptica de aviso de fallo del ABS encendida (Defecto Grave): No da lugar a simulación.
3. Señal óptica de aviso de fallo no funciona (Defecto Grave): No da lugar a simulación.
4. Indicación de fallo en el sistema de control de estabilidad (Defecto Leve): No da lugar a simulación.
5. Defectos de estado que impidan su función (Defecto Grave).

Asimismo, se han seleccionado algunas condiciones por resultar especialmente representativas. A partir del estudio de los informes anuales de siniestralidad de la última década (datos públicos facilitados por la Dirección General de Tráfico), se puede observar cómo se distribuyen porcentualmente los accidentes mortales en ocho tipologías diferentes (porcentajes promediados para los años comprendidos entre 2003 y 2009) [15]:

1. Colisión frontal (19%)

2. Colisión lateral (4%)
3. Colisión fronto-lateral (17%)
4. Colisión múltiple y por alcance (8%)
5. Salida de vía (38%)
6. Atropello a peatón (9%)
7. Vuelco (2%)
8. Otros tipos de accidente (3%)

De estos 8 tipos de accidente, se ha podido comprobar que una parte importante de estos se producen por la presencia de algún obstáculo en la calzada (vehículo detenido o averiado, peatón u objeto obstaculizando la circulación normal de vehículos), así como aproximación a cruces e incorporaciones. También ha sido posible ver que muchas de las salidas de vía se producen por pérdida de control en curva. Esto ha dado lugar a la elección de dos escenarios que se han considerado especialmente representativos:

1. Aproximación a un cruce de carreteras.
2. Circulación por autovía con curva y obstáculo en la calzada.

De este modo, quedan representados los casos que actualmente dan lugar a la mayor parte de siniestros. En dichas situaciones, es habitual tener que efectuar frenadas de emergencia, siendo estos casos donde será más sencillo comprobar la influencia del fallo del sistema sobre la dinámica del vehículo.

Por último, antes de iniciar el estudio sistemático de los diferentes fallos, se realizaron pruebas iniciales con el fin de comprobar la información proporcionada por las simulaciones y plantear el desarrollo del proyecto. De este modo, a partir de simulaciones que reproducen el comportamiento del vehículo en un circuito de ensayo, se observa qué comportamiento muestra ante diferentes fallos y en distintas condiciones de adherencia, velocidad, etc. Para ejemplificar estos análisis previos, se han adjuntado los vídeos de las simulaciones A, B, C, D y E. En dichas simulaciones, se pueden observar simulaciones similares a las realizadas en el desarrollo del estudio, pero sin ningún ornamento ni intención de ejemplificar ninguna situación real. Sin embargo, dado que discurren sobre una pista de ensayo, resultan de gran utilidad para ver exactamente cómo varía el comportamiento del vehículo y poder estudiar con precisión cada variable de la dinámica vehicular.

## 5.2.1 Frenado inoperante de una o más ruedas

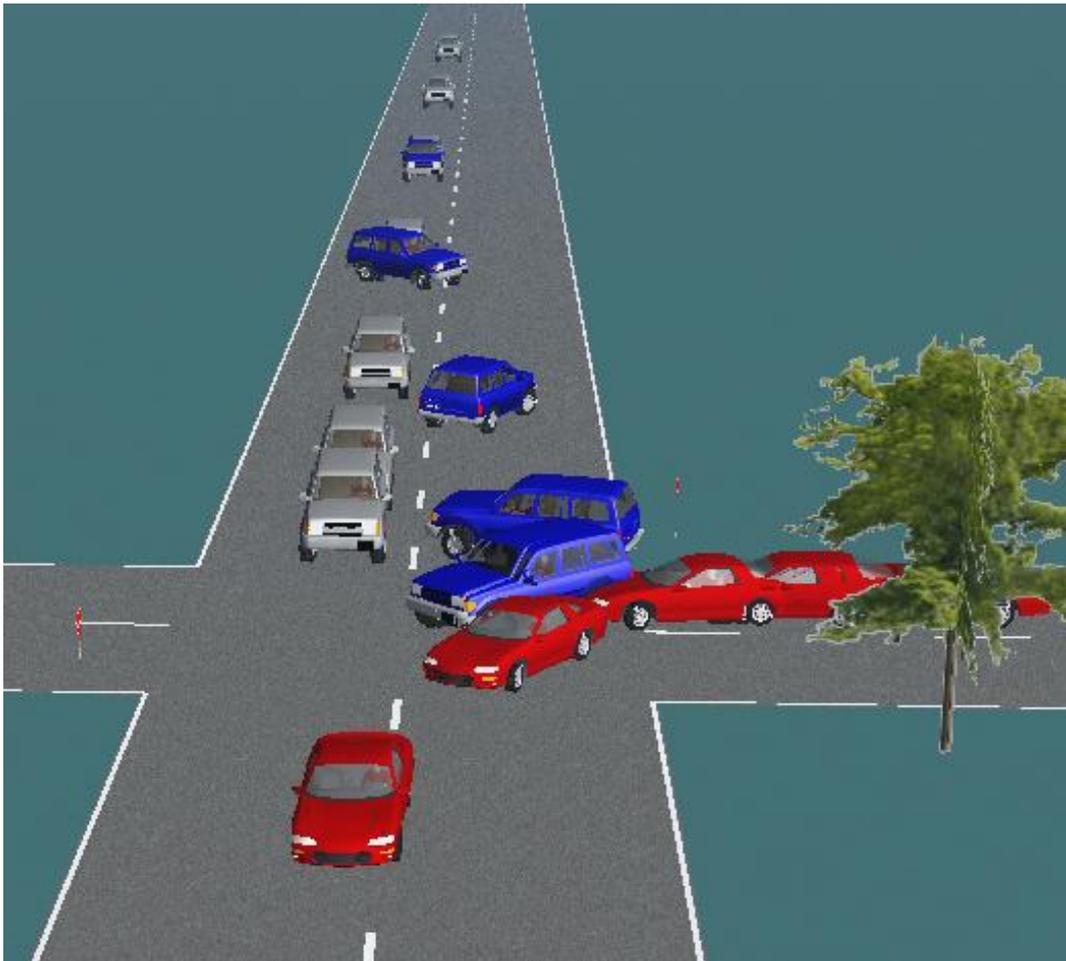
Éste es uno de los casos más interesantes para el estudio, ya que permite observar algunas de las situaciones más desfavorables, tal y como se comentará en detalle. Para la realización de estas simulaciones se han seleccionado dos escenarios: una intersección de carreteras con un carril por sentido y una autovía de tres carriles por sentido con mediana de hormigón.

### 5.2.1.1 Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con la rueda delantera derecha inoperante

En este caso, se ha utilizado un vehículo Todoterreno (SUV) circulando a 120 km/h y 80 km/h. Para esta última velocidad, se ha tomado en consideración tanto el caso de pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85), como pavimento mojado (coeficiente de fricción igual a 0.5).

*Vehículo circulando a 120 km/h (Vídeos: 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6):*

Tal y como se documenta en los vídeos 5.1, 5.2 y 5.3 del presente apartado, así como en la figura 5.2, el hecho de tener la rueda delantera derecha inoperante provoca que el vehículo gire en torno a la rueda delantera izquierda (rueda con capacidad para frenar). Esto sucede así a causa del momento de guiñada (momento en torno a un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del vehículo) generado cuando el vehículo presenta este tipo de fallo, ya que el frenado del eje trasero se efectúa de modo equilibrado, mientras que únicamente se frena una de las ruedas del eje delantero. Esto produce que la inercia de la masa del vehículo (aplicada su resultante en el centro de gravedad) genere un momento en torno a la rueda delantera con capacidad de frenar.



*Figura 5.2: Trayectoria de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 120 km/h*

Con el fin de mostrar con claridad la variación del comportamiento del vehículo al tener dicho defecto, se ha comparado con el mismo vehículo carente de defecto. De este modo, en una sola imagen se puede ver la posición final del vehículo funcionando correctamente (figura 5.3), la posición final del vehículo con defecto en el frenado superpuesta a la primera (figuras 5.4 y 5.5), y la trayectoria seguida por ambos a lo largo de todo el proceso de frenado (figura 5.2).

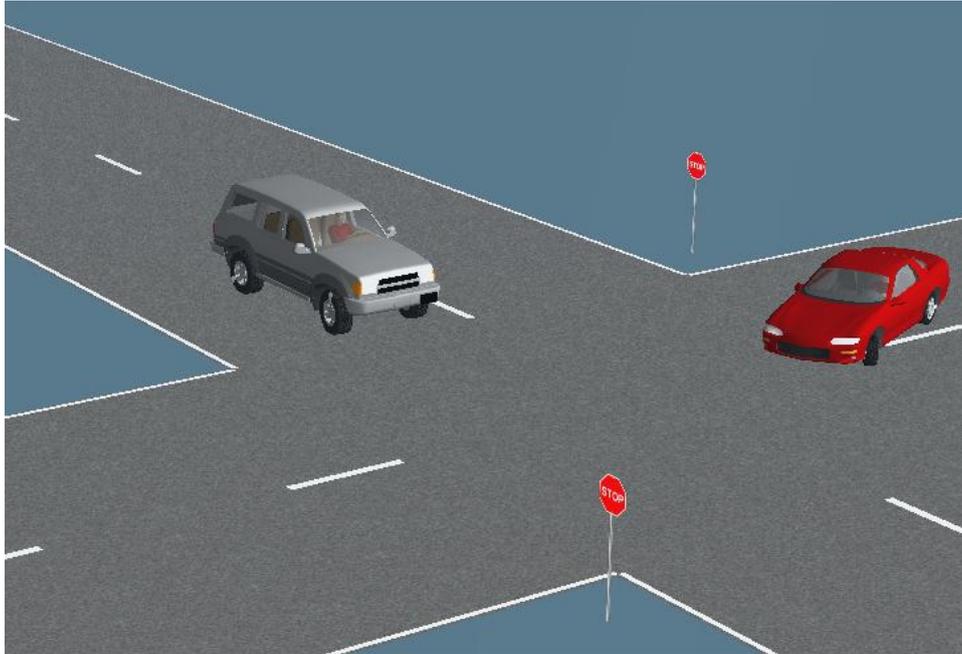


Figura 5.3: Posición final. SUV funcionando correctamente. Velocidad inicial: 120 km/h

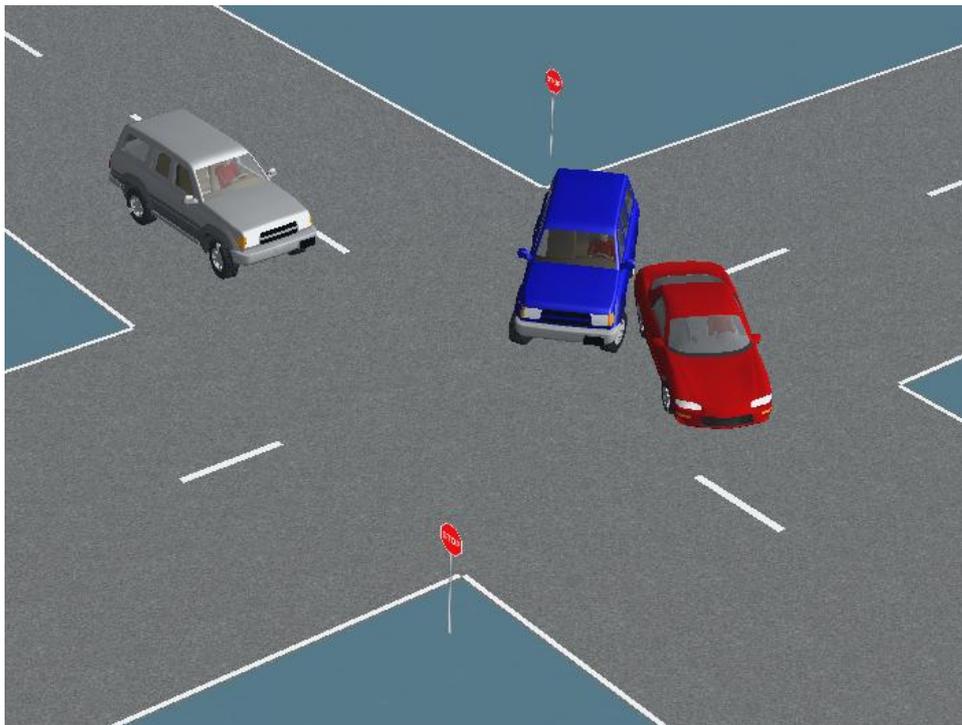


Figura 5.4: Posición final de los vehículos. SUV con rueda delantera derecha inoperante y SUV en condiciones correctas. Velocidad inicial de 120 km/h

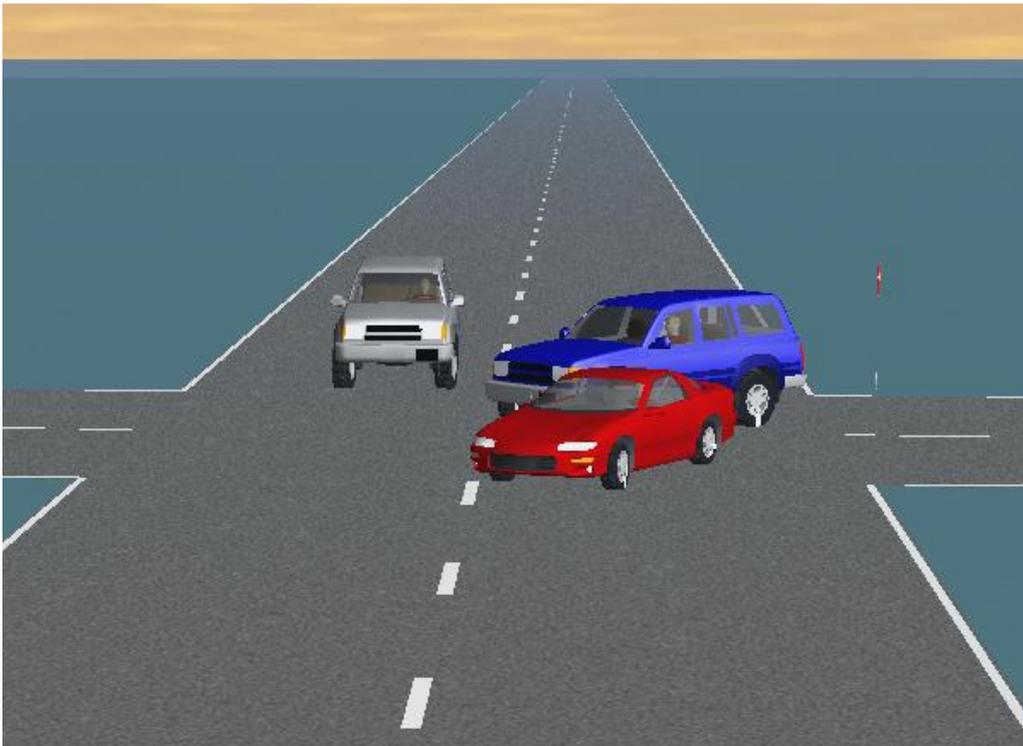


Figura 5.5: Posición final de los vehículos. SUV con rueda delantera derecha inoperante y SUV en condiciones correctas (b). Velocidad inicial de 120 km/h

Para este caso, en el que un vehículo se aproxima a 120 km/h a una intersección y trata de detenerse realizando una frenada de emergencia, se han generado tres vídeos diferentes, tratando de mostrar la información del modo más representativo posible.

**Vídeo 5.1:** Se puede ver cómo el vehículo efectúa una frenada de emergencia (se ha utilizado otro vehículo de pequeñas dimensiones como referencia para identificar el instante de tiempo en que comienza el proceso de frenado) desde una cámara exterior. Se observa que el vehículo en correcto estado frena en la distancia adecuada para no invadir la intersección de carreteras, mientras que el vehículo que presenta defecto pierde el control direccional, gira e invade la intersección, pudiendo colisionar con otro vehículo que se encontrase en dicha intersección. En este punto es necesario indicar que la herramienta de simulación utilizada no simula la interacción (colisión) entre vehículos, motivo por el cual es posible ver en algunas simulaciones cómo un vehículo atraviesa a otro sin ningún tipo de interacción. Dado que este hecho hace perder realismo en las simulaciones realizadas, se ha procurado evitar cualquier colisión entre vehículos.

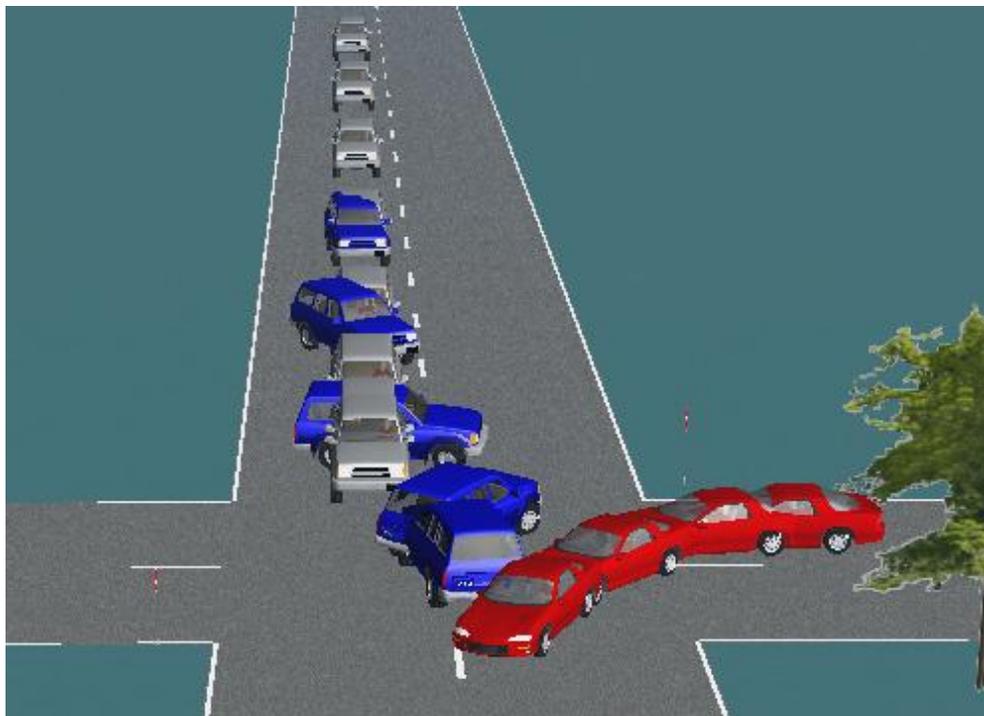
**Vídeo 5.2:** En este vídeo se presenta una simulación muy similar a la anterior, eliminando el pequeño vehículo de referencia y modificando la posición de la cámara. De este modo, se puede ver la misma situación vista desde una posición más elevada y comprobar las trayectorias de los vehículos.

**Vídeo 5.3:** Por último, se ha realizado una simulación vista desde el interior del vehículo. Así, se puede apreciar todo el proceso desde el punto de vista del conductor del vehículo con defecto.

**Vídeos 5.4, 5.5 y 5.6:** Con el fin de completar la información y de presentar la posibilidad de ver esta misma situación desde el punto de vista de un vehículo en correcto estado, se han incluido los mismos vídeos realizados en las tres primeras simulaciones utilizando únicamente el vehículo en buen estado. De este modo, se puede ver tanto desde el exterior como desde el interior, qué sucedería si el vehículo sin ningún defecto efectúa la misma frenada de emergencia.

**Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento seco (Vídeos: 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10):**

Tal y como se documenta en el vídeo 5.7 del presente apartado, así como en la figura 5.6, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al iniciar la frenada de emergencia con menor velocidad, la distancia y el ángulo girado por el vehículo son algo menores que en el caso en que circulaba a 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda delantera izquierda (rueda con capacidad para frenar) a causa del momento de guiñada generado. En este caso, al igual que la anterior, la simulación tiene lugar con pavimento seco y un coeficiente de fricción de 0.85.



*Figura 5.6: Trayectoria de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h*

Con el fin de completar la información proporcionada por este caso, se ha modificado el escenario y las grabaciones. Se ha situado un obstáculo en mitad del cruce (vehículo de color rojo) y se ha efectuado la simulación nuevamente desde el exterior con una vista desde arriba (vídeo 5.8), desde la parte trasera (vídeo 5.9) y desde el interior del vehículo (vídeo 5.10).

*Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento mojado (Vídeos: 5.11, 5.12 y 5.13):*

Tal y como se documenta en el vídeo 5.11 del presente apartado, así como en la figura 5.7, de nuevo el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en las simulaciones anteriores. La diferencia fundamental es que, al realizar la frenada de emergencia sobre un firme mojado, la distancia y el ángulo girado por el vehículo están comprendidos entre los observados para firme seco con velocidades iniciales de 80 km/h y 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda delantera izquierda (rueda con capacidad para frenar) a causa del momento de guiñada generado. En este caso, a diferencia de los anteriores, la simulación tiene lugar con pavimento mojado y un coeficiente de fricción de 0.5.



*Figura 5.7: Trayectoria de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$*

Al igual que en el anterior caso, se ha situado un obstáculo en mitad del cruce (vehículo de color rojo) y se ha efectuado la simulación nuevamente desde el exterior, con una vista desde arriba (vídeo 5.12), y desde la parte trasera (vídeo 5.13).

### 5.2.1.2 Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con la rueda delantera izquierda inoperante

En este caso, se ha utilizado un vehículo Todoterreno (SUV) circulando a 120 km/h y 80 km/h. Para esta última velocidad, se ha tomado en consideración tanto el caso de pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85), como pavimento mojado (coeficiente de fricción igual a 0.5).

#### Vehículo circulando a 120 km/h sobre pavimento seco (Vídeos: 5.14, 5.15 y 5.16):

Tal y como se documenta en el vídeo 5.14 del presente apartado, así como en la figura 5.8, el hecho de tener la rueda delantera izquierda inoperante provoca que el vehículo gire en torno a la rueda delantera derecha (rueda con capacidad para frenar). Esto sucede así a causa del momento de guiñada generado cuando el vehículo presenta este tipo de fallo, tal y como ha sido descrito con anterioridad. Del mismo modo, se puede apreciar que la situación es equivalente a la descrita en el apartado 5.2.1.1, con la diferencia del sentido de giro del vehículo. Esto hace que, dependiendo de la rueda que presente el defecto, el vehículo tienda a invadir un carril o a salirse fuera de la carretera, resultando más o menos peligroso en función del entorno donde se produzca la frenada.

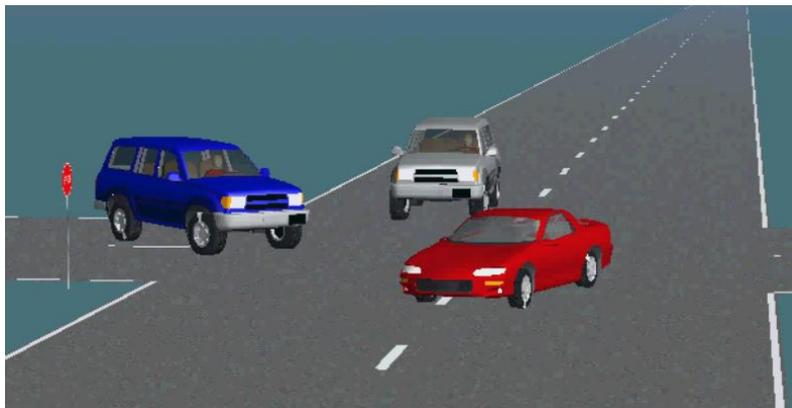


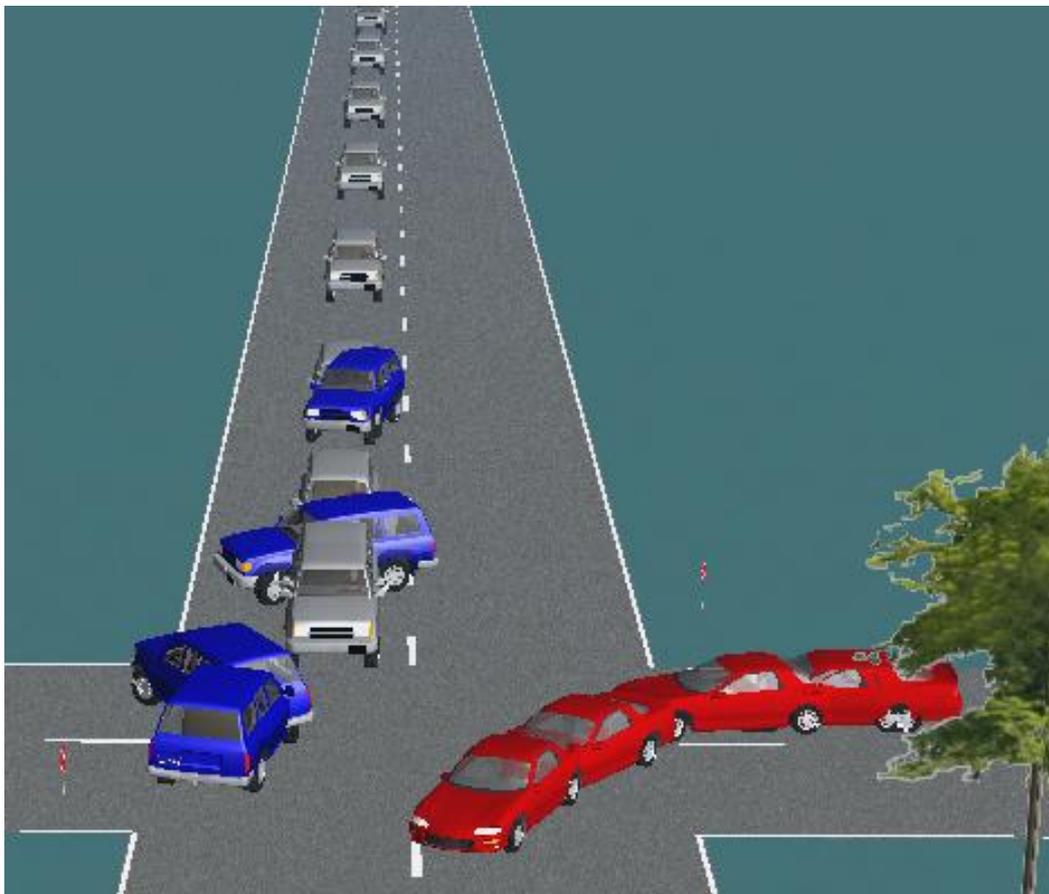
Figura 5.8: Posiciones finales de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 120 km/h

Para completar la información proporcionada por el vídeo 5.14, se ha modificado la posición de la filmación, incluyéndose una grabación desde una posición más elevada (mostrada en el vídeo 5.15), así como desde el interior del vehículo (mostrada en el vídeo 5.16). De este modo, se puede ver todo cuanto ocurre desde diferentes puntos de vista, incluyendo el del conductor. Teniendo en cuenta la pérdida de control que se produce en el vehículo, resulta particularmente interesante mostrar la perspectiva desde el interior del vehículo, ya que permite poner de manifiesto la situación de riesgo que produce el fallo de frenado, en este caso en la rueda delantera izquierda.

*Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento seco (Vídeos: 5.17 y 5.18):*

Tal y como se documenta en los vídeos 5.17 y 5.18 del presente apartado, así como en la figura 5.9, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al iniciar la frenada de emergencia con menor velocidad, la distancia y el ángulo girado por el vehículo son algo menores que en el caso en que circulaba a 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda delantera derecha (rueda con capacidad para frenar) a causa del momento de guiñada generado. En este caso, al igual que la anterior, la simulación tiene lugar con pavimento seco y un coeficiente de fricción de 0.85.

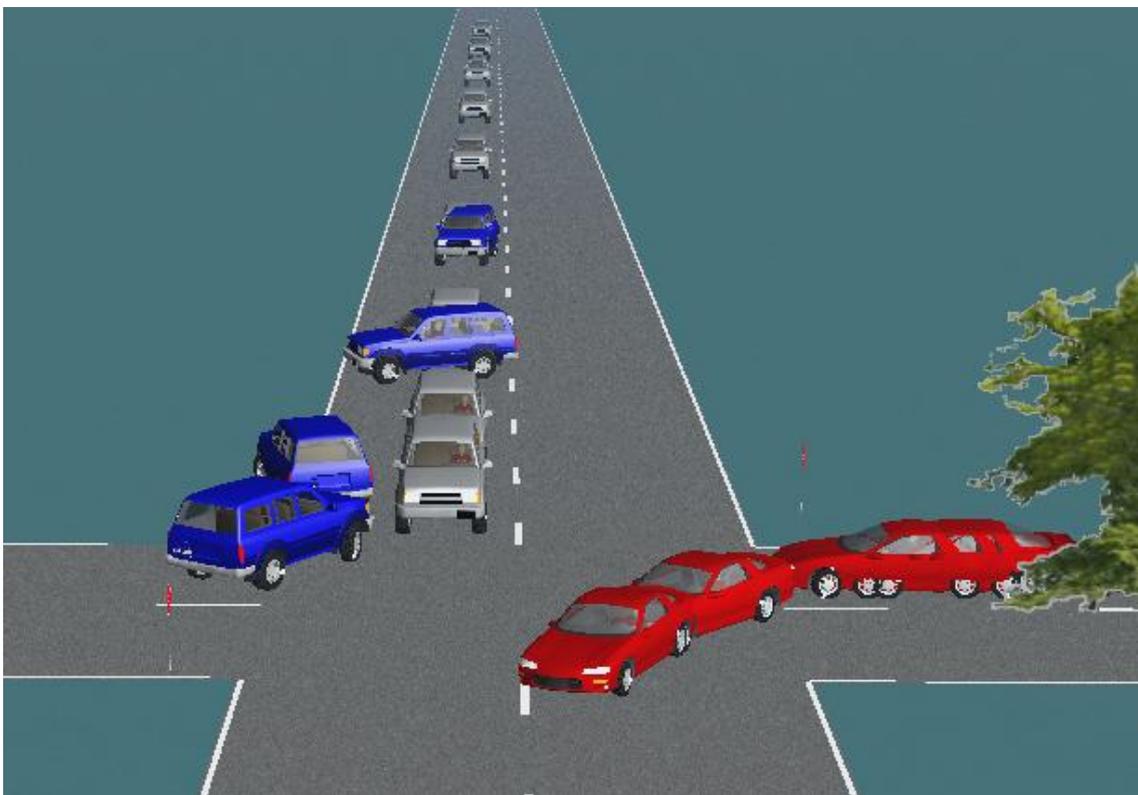
Nuevamente, se ha incluido una simulación desde la parte trasera del vehículo (vídeo 5.18) con el fin de ver cómo queda detenido un automóvil, obstáculo que hace necesaria una frenada de emergencia en el centro de la intersección.



*Figura 5.9: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h*

*Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento mojado (Vídeos: 5.19 y 5.20):*

Tal y como se documenta en los vídeos 5.19 y 5.20 del presente apartado, así como en la figura 5.10, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al realizar la frenada de emergencia sobre un firme mojado, la distancia y el ángulo girado por el vehículo están comprendidos entre los observados para firme seco con velocidades iniciales de 80 km/h y 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda delantera derecha (rueda con capacidad para frenar) a causa del momento de guiñada generado. En este caso, a diferencia de los anteriores, la simulación tiene lugar con pavimento mojado y un coeficiente de fricción de 0.5.



*Figura 5.10: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$*

### **5.2.1.3 Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con la rueda trasera derecha inoperante**

Para este caso se ha utilizado un vehículo Todoterreno (SUV) circulando a 120 km/h y 80 km/h. Para esta última velocidad se ha tomado en consideración tanto el caso de pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85), como pavimento mojado (coeficiente de fricción igual a 0.5).

*Vehículo circulando a 120 km/h sobre pavimento seco (Vídeo 5.21):*

Tal y como se documenta en el vídeo 5.21 del presente apartado, así como en la figura 5.11, el hecho de tener la rueda trasera derecha inoperante provoca que el vehículo gire en torno a la rueda trasera izquierda (rueda con capacidad para frenar). Esto sucede así a causa del momento de guiñada generado cuando el vehículo presenta este tipo de fallo, tal y como ha sido descrito con anterioridad. Del mismo modo, se puede apreciar que la situación es menos grave que las observadas en los apartados 5.2.1.1 y 5.2.1.2, ya que el vehículo se desvía pero no llega a producirse la pérdida de control que se aprecia en los anteriores casos. Como se podrá comprobar en sucesivas simulaciones, esto será así para cualquier tipo de fallo. Es decir, al producirse un fallo será más grave que éste tenga lugar en una rueda del eje delantero.



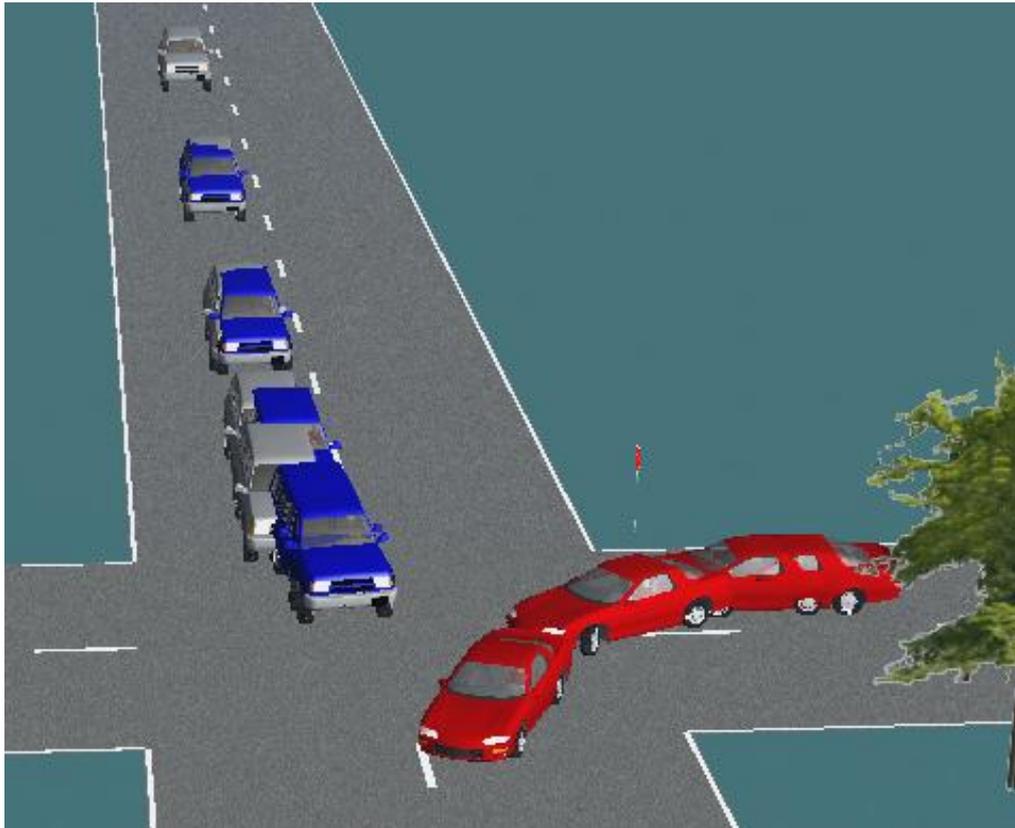
*Figura 5.11: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 120 km/h*

*Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento seco (Vídeos: 5.22 y 5.23):*

Tal y como se documenta en los vídeos 5.22 y 5.23 del presente apartado, así como en la figura 5.12, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al iniciar la frenada de emergencia con menor velocidad, la distancia y el ángulo girado por el vehículo son

algo menores que en el caso en que circulaba a 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda trasera izquierda (rueda con capacidad para frenar) a causa del momento de guiñada generado. En este caso, al igual que la anterior, la simulación tiene lugar con pavimento seco y un coeficiente de fricción de 0.85.

Nuevamente, se ha incluido una simulación desde la parte trasera del vehículo (vídeo 5.23) con el fin de ver cómo queda detenido un automóvil, obstáculo que hace necesaria una frenada de emergencia, en el centro de la intersección.



*Figura 5.12: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera derecha inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h*

**Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento mojado (Vídeos: 5.24 y 5.25):**

Tal y como se documenta en los vídeos 5.24 y 5.25 del presente apartado, así como en la figura 5.13, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al realizar la frenada de emergencia sobre un firme mojado, la distancia y el ángulo girado por el vehículo están comprendidos entre los observados para firme seco con velocidades iniciales de 80 km/h y 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda trasera izquierda (rueda con capacidad para frenar) a causa del

momento de guiñada generado. En este caso, a diferencia de los anteriores, la simulación tiene lugar con pavimento mojado y un coeficiente de fricción de 0.5.

Se ha incluido una simulación desde la parte trasera del vehículo (vídeo 5.25), con el fin de ver cómo queda detenido un automóvil, obstáculo que hace necesaria una frenada de emergencia, en el centro de la intersección.

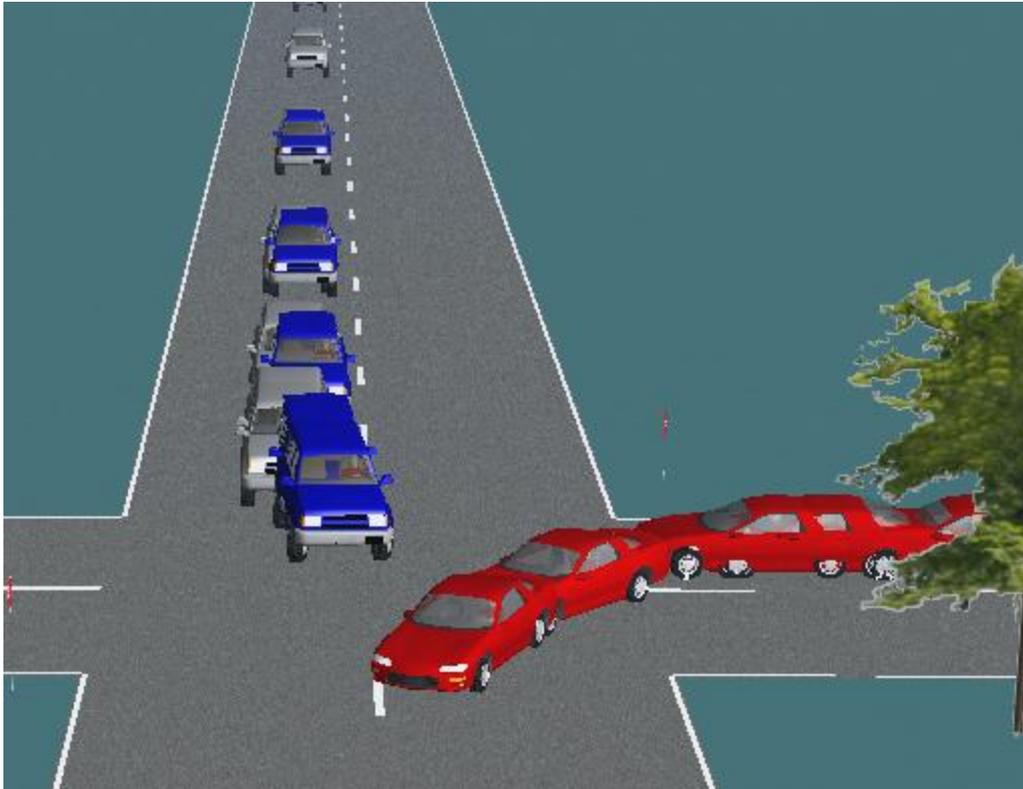


Figura 5.13: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera dcha. inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$

#### 5.2.1.4 Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con la rueda trasera izquierda inoperante

Para este caso se ha utilizado un vehículo Todoterreno (SUV) circulando a 120 km/h y 80 km/h. Para esta última velocidad se ha tomado en consideración tanto el caso de pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85), como pavimento mojado (coeficiente de fricción igual a 0.5).

##### Vehículo circulando a 120 km/h (Vídeo 5.26):

Tal y como se documenta en el vídeo 5.26 del presente apartado, así como en la figura 5.14, el hecho de tener la rueda trasera izquierda inoperante provoca que el vehículo gire en torno a la rueda trasera derecha (rueda con capacidad para frenar). Esto sucede así a causa del momento de guiñada generado cuando el vehículo presenta este tipo de fallo, tal y como ha sido descrito con anterioridad.

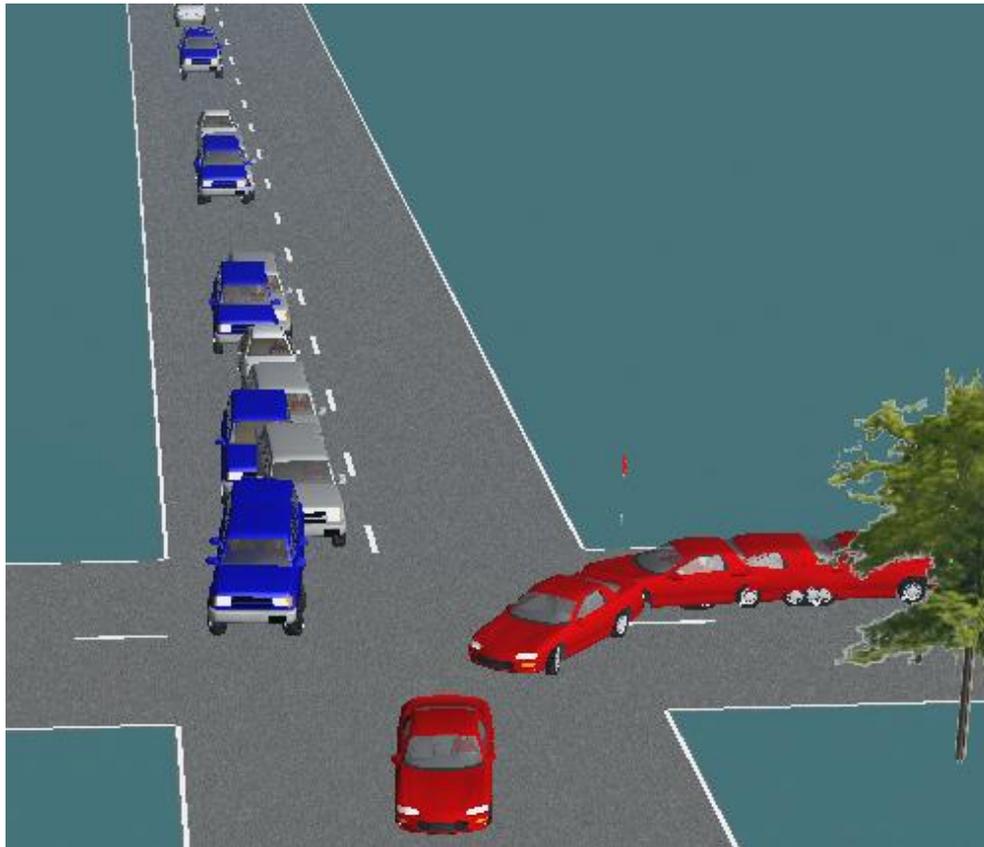


Figura 5.14: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera izda. inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 120 km/h

Del mismo modo, se puede apreciar que la situación es menos grave que las observadas en los apartados 5.2.1.1 y 5.2.1.2., ya que el vehículo se desvía pero no llega a producirse la pérdida de control que se aprecia en los anteriores casos. Este escenario es muy similar al del apartado 5.2.1.3., ya que sucede lo mismo pero para el lado contrario, motivo por el cual se han realizado menos simulaciones pues no parece aportar información complementaria.

Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento seco (Vídeo 5.27):

Tal y como se documenta en el vídeo 27 del presente apartado, así como en la figura 5.15, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al iniciar la frenada de emergencia con menor velocidad, la distancia y el ángulo girado por el vehículo son algo menores que en el caso en que circulaba a 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda trasera derecha.

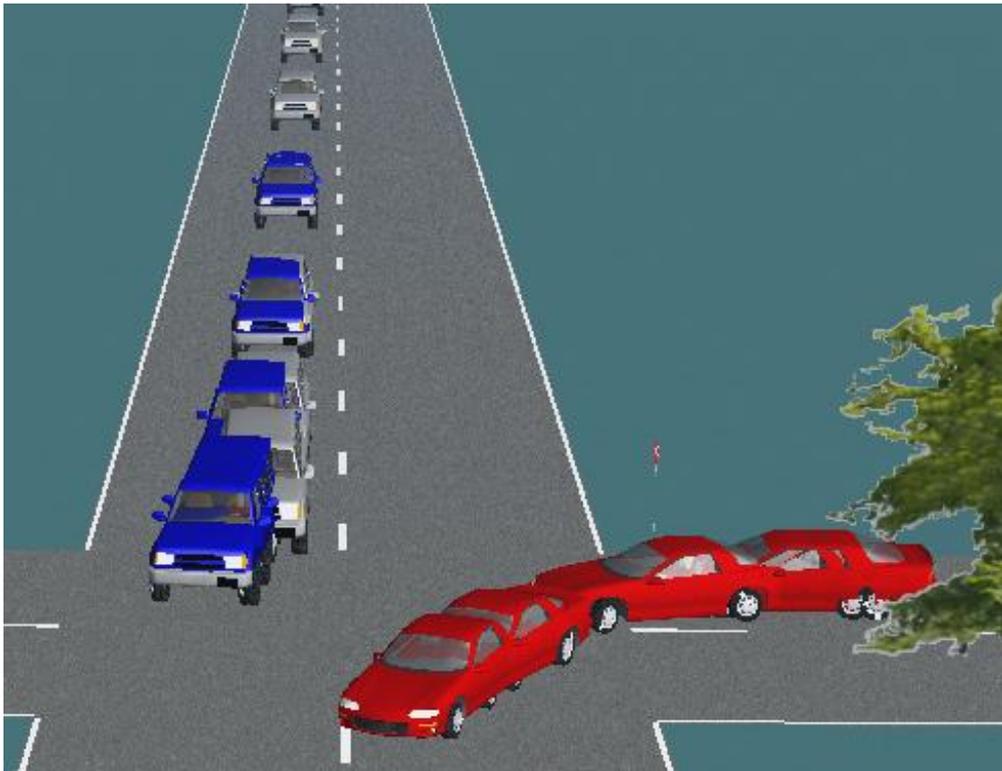


Figura 5.15: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera izda. inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Velocidad inicial: 80 km/h

Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento mojado (Vídeos: 5.28 y 5.29):

Tal y como se documenta en los vídeos 5.28 y 5.29 del presente apartado, así como en la figura 5.16, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al realizar la frenada de emergencia sobre un firme mojado, la distancia y el ángulo girado por el vehículo están comprendidos entre los observados para firme seco con velocidades iniciales de 80 km/h y 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda trasera derecha. En este caso, a diferencia de los anteriores, la simulación tiene lugar con pavimento mojado y un coeficiente de fricción de 0.5.

Se ha incluido una simulación desde la parte trasera del vehículo (vídeo 5.29), con el fin de ver cómo queda detenido un automóvil, obstáculo que hace necesaria una frenada de emergencia, en el centro de la intersección.

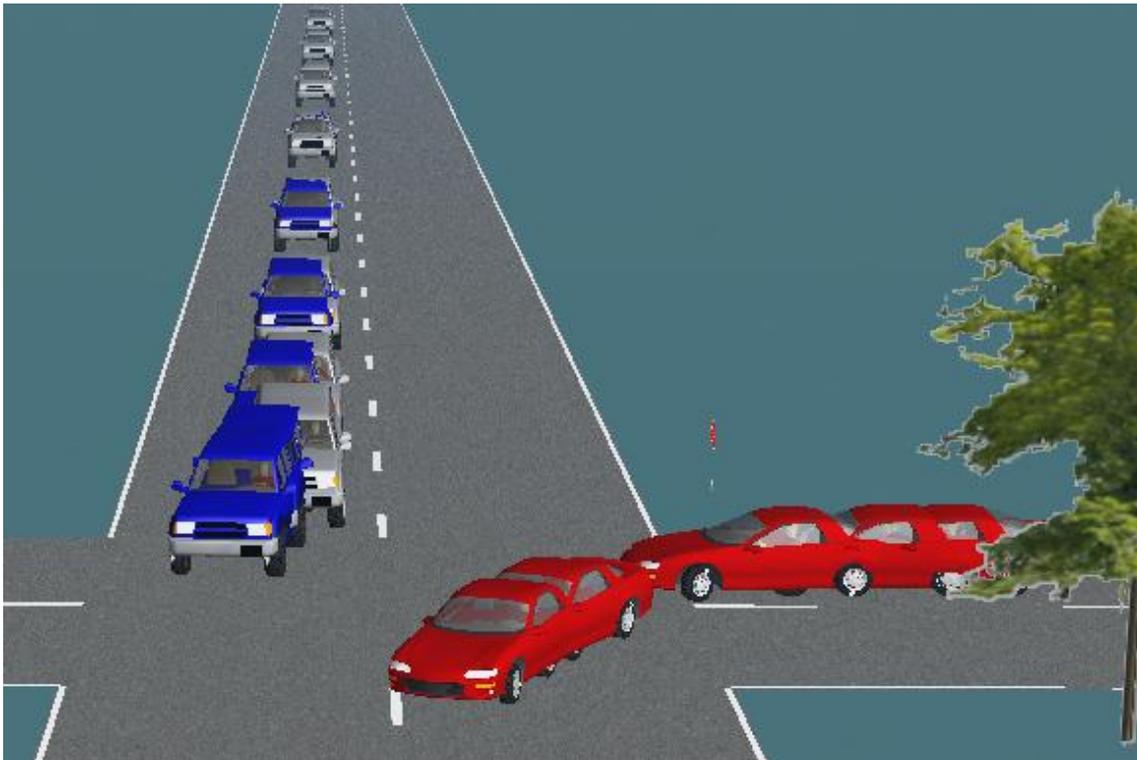


Figura 5.16: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda trasera izda. inoperante (azul) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$

### 5.2.1.5 Frenada de emergencia de un vehículo circulando por una autovía de tres carriles por sentido, con la rueda delantera derecha inoperante

Los casos en que se ha simulado una rueda inoperante han resultado ser especialmente representativos, ya que cualquier otra situación resulta ser similar pero menos grave, a excepción del agarre en una rueda que puede resultar aún más peligroso. Es por este motivo que se han simulado los mismos defectos vistos en apartados anteriores, pero modificando completamente el vehículo y el escenario. Para este caso, se ha utilizado un vehículo turismo de tres volúmenes (Sedan) circulando a 120 km/h y 80 km/h. Para esta última velocidad, se ha tomado en consideración tanto el caso de pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85), como pavimento mojado (coeficiente de fricción igual a 0.5).

El hecho de utilizar el nuevo vehículo permite mostrar las diferencias de comportamiento con un vehículo menos pesado, de menores dimensiones y menor altura del centro de gravedad. Como se ha podido ver, la distancia de frenado tiende a aumentar respecto al SUV, pero el ángulo girado es algo menor. No obstante, dichas diferencias resultan ser porcentualmente pequeñas, apreciándose un comportamiento muy similar.

*Vehículo circulando a 120 km/h (Vídeos: 5.30, 5.31, 5.32, 5.33 y 5.34):*

Tal y como se documenta en los vídeos 5.30, 5.31, 5.32, 5.33 y 5.34 del presente apartado, así como en las figuras 5.17 y 5.18, el hecho de tener la rueda delantera derecha inoperante provoca que el vehículo gire en torno a la rueda delantera izquierda (rueda con capacidad para frenar). Esto sucede así a causa del momento de guiñada generado cuando el vehículo presenta este tipo de fallo, tal y como ha sido descrito con anterioridad.

Con el fin de mostrar con total claridad todo cuanto sucede, se han incluido diferentes vídeos:

**Vídeo 5.30:** Muestra el vehículo en correcto estado y sin ningún obstáculo. De este modo, es posible seguir sin ninguna interferencia toda la trayectoria, pudiendo observar que el vehículo frena en línea recta y se detiene inmediatamente antes del inicio de la curva, evitando así el obstáculo.

**Vídeo 5.31:** Muestra el vehículo en correcto estado y con un obstáculo para poder identificar la causa de la frenada de emergencia. En este caso, se trata de un vehículo averiado (de color negro) detenido al inicio de la curva.

**Vídeo 5.32:** Muestra el vehículo en correcto estado (color azul) junto al vehículo con la rueda delantera derecha inoperante (color amarillo) y sin ningún obstáculo. De este modo, es posible seguir sin ninguna interferencia toda la trayectoria de ambos vehículos y poder comparar la diferencia de comportamiento.

**Vídeo 5.33:** Muestra el vehículo en correcto estado (color azul) junto al vehículo con la rueda delantera derecha inoperante (color amarillo) y un vehículo averiado (color negro) que obstaculiza la circulación. De este modo, es posible identificar la causa de la frenada de emergencia, aunque resulta más difícil seguir la trayectoria de los vehículos caracterizados.

**Vídeo 5.34:** Muestra el vehículo en correcto estado (color azul) junto al vehículo con la rueda delantera derecha inoperante (color amarillo) y un vehículo averiado (color negro) que obstaculiza la circulación. En este caso, a diferencia del anterior, se toma una vista desde detrás del vehículo para representar el punto de vista del conductor, pero desde el exterior del vehículo para ampliar el campo de visión y observar las trayectorias de todos los vehículos.



Figura 5.17: Trayectoria del vehículo a lo largo del proceso de frenado. Sedan en correcto estado (azul).  
Velocidad inicial: 120 km/h



Figura 5.18: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. dcha. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 120 km/h

*Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento seco (Vídeos: 5.35 y 5.36):*

Tal y como se documenta en los vídeos 5.35 y 5.36 del presente apartado, así como en la figura 5.19, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al iniciar la frenada de emergencia con menor velocidad, la distancia y el ángulo girado por el vehículo son algo menores que en el caso en que circulaba a 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda delantera izquierda.

También se muestra una vista desde detrás del vehículo, para apreciar con mayor claridad el obstáculo y la necesidad de realizar una frenada de emergencia.



*Figura 5.19: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. dcha. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h*

*Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento mojado (Vídeo 5.37):*

Tal y como se documenta en el vídeo 5.37 del presente apartado, así como en la figura 5.20, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al realizar la frenada de emergencia sobre un firme mojado, la distancia y el ángulo girado por el vehículo están comprendidos entre los observados para firme seco con velocidades iniciales de 80

km/h y 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda delantera izquierda. En este caso, a diferencia de los anteriores, la simulación tiene lugar con pavimento mojado y un coeficiente de fricción de 0.5.



Figura 5.20: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. dcha. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$

#### 5.2.1.6 Frenada de emergencia de un vehículo circulando por una autovía de tres carriles por sentido, con la rueda delantera izquierda inoperante

Para este caso, se ha utilizado un vehículo turismo de tres volúmenes (Sedan) circulando a 120 km/h y 80 km/h. Para esta última velocidad, se ha tomado en consideración tanto el caso de pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85), como pavimento mojado (coeficiente de fricción igual a 0.5).

Vehículo circulando a 120 km/h (Vídeos: 5.38, 5.39 y 5.40):

Tal y como se documenta en los vídeos 5.38, 5.39 y 5.40 del presente apartado, así como en la figura 5.21, el hecho de tener la rueda delantera izquierda inoperante provoca que el vehículo gire en torno a la rueda delantera derecha (rueda con capacidad para frenar). Esto sucede así a causa del momento de guiñada generado cuando el vehículo presenta este tipo de fallo, tal y como ha sido descrito con anterioridad.



Figura 5.21: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. izda. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 120 km/h

Con el fin de mostrar con total claridad todo cuanto sucede, se han incluido tres vídeos:

**Vídeo 5.38:** Muestra el vehículo en correcto estado (color azul) junto al vehículo con la rueda delantera izquierda inoperante (color amarillo) y sin ningún obstáculo. De este modo, es posible seguir sin ninguna interferencia toda la trayectoria de ambos vehículos y poder comparar la diferencia de comportamiento. Este caso resulta especialmente interesante porque al perder el control direccional no sólo cruza otros carriles de modo incontrolado, sino que, además, cuando colisiona con la pared de la autovía, el vehículo llega a volcar, mostrando lo peligroso que puede llegar a resultar un problema en el sistema de frenos.

**Vídeo 5.39:** Muestra el vehículo en correcto estado (color azul) junto al vehículo con la rueda delantera izquierda inoperante (color amarillo) y un vehículo averiado (color negro) que obstaculiza la circulación. De este modo, es posible identificar la causa de la frenada de emergencia, aunque resulta más difícil seguir la trayectoria de los vehículos caracterizados.

**Vídeo 5.40:** Muestra el vehículo en correcto estado (color azul) junto al vehículo con la rueda delantera izquierda inoperante (color amarillo) y un vehículo averiado (color negro) que obstaculiza la circulación. En este caso, a diferencia del anterior, se toma una vista desde detrás del vehículo para representar el punto de vista del conductor, pero desde el exterior del vehículo para ampliar el campo de visión y observar las trayectorias de todos los vehículos.

**Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento seco (Vídeo 5.41):**

Tal y como se documenta en el vídeo 5.41 del presente apartado, así como en la figura 5.22, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al iniciar la frenada de emergencia con menor velocidad, la distancia y el ángulo girado por el vehículo son algo menores que en el caso en que circulaba a 120 km/h. Por este motivo, no llega a colisionar con el muro, evitando así el vuelco del vehículo. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda delantera derecha.



*Figura 5.22: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. izda. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h*

**Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento mojado (Vídeos: 5.42 y 5.43):**

Tal y como se documenta en los vídeos 5.42 y 5.43 del presente apartado, así como en la figura 5.23, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al realizar la frenada

de emergencia sobre un firme mojado, la distancia y el ángulo girado por el vehículo están comprendidos entre los observados para firme seco con velocidades iniciales de 80 km/h y 120 km/h. En este caso llega a colisionar con el muro pero no tiene suficiente energía ni la posición adecuada para que se produzca el vuelco. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda delantera derecha. En este caso, a diferencia de los anteriores, la simulación tiene lugar con pavimento mojado y un coeficiente de fricción de 0.5.

También se muestra una vista desde detrás del vehículo (vídeo 5.43), para apreciar con mayor claridad el obstáculo y la necesidad de realizar una frenada de emergencia.



Figura 5.23: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda del. izda. inoperante (amarillo) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$

### 5.2.1.7 Frenada de emergencia de un vehículo circulando por una autovía de tres carriles por sentido, con la rueda trasera derecha inoperante

Para este caso, se ha utilizado un vehículo turismo de tres volúmenes (Sedan) circulando a 120 km/h y 80 km/h. Para esta última velocidad, se ha tomado en consideración tanto el caso de pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85), como pavimento mojado (coeficiente de fricción igual a 0.5).

Vehículo circulando a 120 km/h (Vídeos: 5.44 y 5.45):

Tal y como se documenta en los vídeos 5.44 y 5.45 del presente apartado, así como en la figura 5.24, el hecho de tener la rueda trasera derecha inoperante provoca que el vehículo gire en torno a la rueda trasera izquierda (rueda con capacidad para

frenar). Esto sucede así a causa del momento de guiñada generado cuando el vehículo presenta este tipo de fallo, tal y como ha sido descrito con anterioridad.

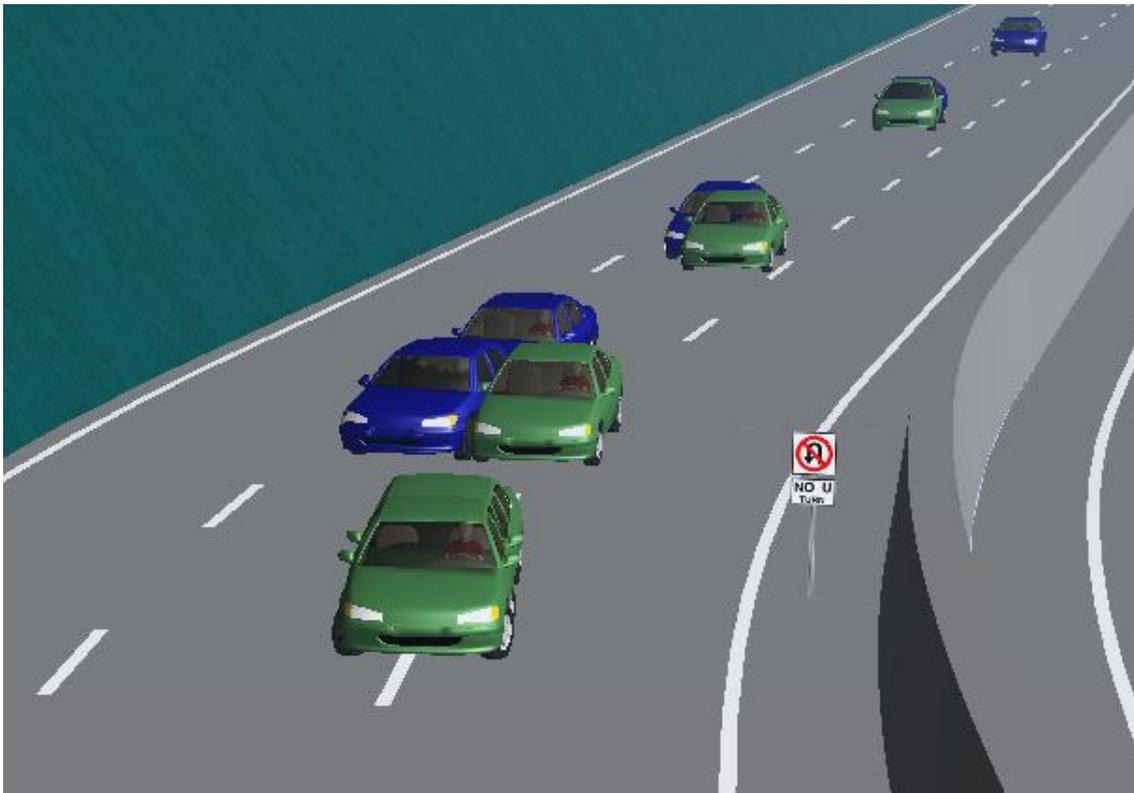


Figura 5.24: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. dcha. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 120 km/h

Con el fin de mostrar con total claridad todo cuanto sucede, se han incluido dos vídeos:

**Vídeo 5.44:** Muestra el vehículo en correcto estado (color azul) junto al vehículo con la rueda trasera derecha inoperante (color verde). De este modo, es posible seguir toda la trayectoria de ambos vehículos y poder comparar la diferencia de comportamiento. Resulta interesante destacar que el vehículo con problemas en el sistema de frenos invade el carril izquierdo durante la frenada, de modo que si hubiera algún vehículo circulando por dicho carril avanzaría hacia dicho vehículo sin capacidad para evitarlo.

**Vídeo 5.45:** Es muy similar al vídeo anterior, la única diferencia es la posición de la filmación, siendo ésta un poco más elevada para apreciar mejor el desplazamiento de un vehículo respecto al otro.

**Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento seco (Vídeo 5.46):**

Tal y como se documenta en el vídeo 5.46 del presente apartado, así como en la figura 5.25, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la

simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al iniciar la frenada de emergencia con menor velocidad, la distancia y el ángulo girado por el vehículo son algo menores que en el caso en que circulaba a 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda trasera izquierda.



Figura 5.25: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. dcha. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h

Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento mojado (Vídeo 5.47):

Tal y como se documenta en el vídeo 5.47 del presente apartado, así como en la figura 5.26, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al realizar la frenada de emergencia sobre un firme mojado, la distancia y el ángulo girado por el vehículo están comprendidos entre los observados para firme seco con velocidades iniciales de 80 km/h y 120 km/h. Sin embargo, el desplazamiento lateral resulta ser mayor que en los casos anteriores, invadiendo completamente el carril izquierdo. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda trasera izquierda. En este caso, a diferencia de los anteriores, la simulación tiene lugar con pavimento mojado y un coeficiente de fricción de 0.5.



Figura 5.26: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. dcha. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$

### 5.2.1.8 Frenada de emergencia de un vehículo circulando por una autovía, de tres carriles por sentido, con la rueda trasera izquierda inoperante

Para este caso se ha utilizado un vehículo turismo de tres volúmenes (Sedan) circulando a 120 km/h y 80 km/h. Para esta última velocidad, se ha tomado en consideración tanto el caso de pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85), como pavimento mojado (coeficiente de fricción igual a 0.5).

#### Vehículo circulando a 120 km/h (Vídeos: 5.48 y 5.49):

Tal y como se documenta en los vídeos 5.48 y 5.49 del presente apartado, así como en la figura 5.27, el hecho de tener la rueda trasera izquierda provoca que el vehículo gire en torno a la rueda trasera derecha (rueda con capacidad para frenar). Esto sucede así a causa del momento de guiñada generado cuando el vehículo presenta este tipo de fallo, tal y como ha sido descrito con anterioridad.



Figura 5.27: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. izda. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Vel. inicial: 120 km/h

El vídeo 5.48 muestra el vehículo en correcto estado (color azul) junto al vehículo con la rueda trasera izquierda inoperante (color verde). De este modo, es posible seguir toda la trayectoria de ambos vehículos y poder comparar la diferencia de comportamiento. Resulta interesante destacar que el vehículo con problemas en el sistema de frenos invade el carril derecho durante la frenada, de modo que si hubiera algún vehículo circulando por dicho carril avanzaría hacia dicho vehículo sin capacidad para evitarlo. El vídeo 5.49 muestra otra vista del mismo caso.

*Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento seco (Vídeos: 5.50 y 5.51):*

Tal y como se documenta en los vídeos 5.50 y 5.51 del presente apartado, así como en la figura 5.28, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al iniciar la frenada de emergencia con menor velocidad, la distancia y el ángulo girado por el vehículo son algo menores que en el caso en que circulaba a 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda trasera derecha.

También se muestra una vista desde detrás del vehículo (vídeo 5.51), para apreciar con mayor claridad el obstáculo y la necesidad de realizar una frenada de emergencia.



Figura 5.28: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda tras. izda. inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h

Vehículo circulando a 80 km/h sobre pavimento mojado (Vídeo 5.52):

Tal y como se documenta en el vídeo 5.52 del presente apartado, así como en la figura 5.29, el comportamiento mostrado por el vehículo es equivalente al visto en la simulación anterior. La diferencia fundamental es que, al realizar la frenada de emergencia sobre un firme mojado, la distancia y el ángulo girado por el vehículo están comprendidos entre los observados para firme seco con velocidades iniciales de 80 km/h y 120 km/h. Por lo demás, la situación es equivalente. Es decir, el vehículo gira en torno a la rueda trasera derecha. En este caso, a diferencia de los anteriores, la simulación tiene lugar con pavimento mojado y un coeficiente de fricción de 0.5.



Figura 5.29: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con rueda trasera izquierda inoperante (verde) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 80 km/h y  $\mu=0.5$

### 5.2.2 Desequilibrio de las fuerzas de frenado entre las ruedas de un mismo eje, superior al 30%

Este caso resulta menos interesante que el anterior desde el punto de vista de la peligrosidad del fallo, ya que va a implicar consecuencias equivalentes pero de menor magnitud. Es decir, el fenómeno ocurrido es muy semejante, pero será más leve ya que una rueda frenará menos que la otra, pero no dejará completamente de frenar. Así por ejemplo, el caso analizado en el punto 5.2.1.1 representaba la situación en que la rueda delantera derecha no frenaba, lo cual provocaba determinados efectos sobre el vehículo al tratar de efectuar una frenada de emergencia. Si en lugar de no frenar, dicha rueda tuviera capacidad de frenar un 50% menos que la rueda delantera izquierda, daría lugar a un comportamiento parecido en el vehículo pero de menor gravedad. El hecho de disponer de mayor capacidad de frenado en la rueda delantera izquierda produce en ambos casos un momento de guiñada en torno a esa rueda, pero será mayor cuando la rueda derecha no tenga ninguna capacidad de frenado. De ahí que los resultados sean más peligrosos pero equivalentes.

No obstante, tiene gran interés al permitirnos ver la diferencia entre un fallo considerado defecto leve, que será analizado en el apartado 5.2.3 y uno grave o muy grave, como será el analizado en este apartado.

Para la realización de estas simulaciones se ha seleccionado una intersección de carreteras con un carril por sentido. Únicamente se ha simulado el fallo en las ruedas del eje delantero, ya que en las del eje trasero tiene una influencia mucho menor y no resulta de especial interés desde el punto de vista visual. Por otra parte, no se ha variado el estado del pavimento ni el vehículo utilizado, ya que las diferencias debidas a estos tipos de condicionantes se han analizado detalladamente en apartados anteriores.

### 5.2.2.1 Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con desequilibrio en el eje delantero del 40% (rueda delantera derecha con menor capacidad de frenado)

Tal y como puede apreciarse en el vídeo 5.53, así como en la figura 5.30, el vehículo tiende a girar en torno a la rueda delantera con mayor capacidad de frenado, en este caso la rueda delantera izquierda. La distancia de frenado se ve poco afectada por dicho fenómeno, sin embargo, el vehículo no puede mantener la trayectoria, comprometiendo el control direccional del conductor.

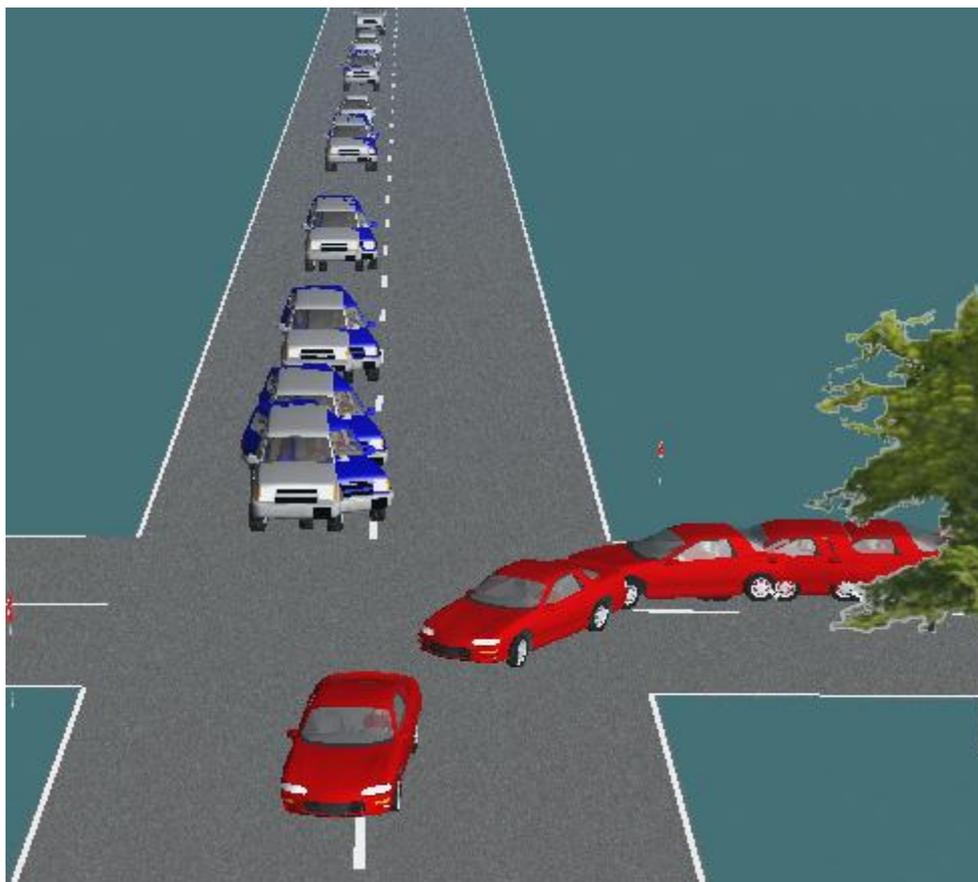


Figura 5.30: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha con menor capacidad de frenado (azul, desequilibrio del 40%) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$

### 5.2.2.2 Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con desequilibrio en el eje delantero del 40% (rueda delantera izquierda con menor capacidad de frenado)

Tal y como puede apreciarse en el vídeo 5.54, así como en la figura 5.31, el vehículo tiende a girar en torno a la rueda delantera con mayor capacidad de frenado, en este caso la rueda delantera derecha. La distancia de frenado se ve poco afectada por dicho fenómeno, sin embargo, el vehículo no puede mantener la trayectoria, comprometiendo el control direccional del conductor.



Figura 5.31: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda con menor capacidad de frenado (azul, desequilibrio del 40%) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$

### **5.2.3 Desequilibrio de las fuerzas de frenado entre las ruedas de un mismo eje, superior al 20% e inferior al 30%**

Este caso, al igual que el 5.2.2, resulta menos interesante que el apartado 5.2.1 desde el punto de vista de la peligrosidad del fallo, ya que va a implicar consecuencias equivalentes pero de menor magnitud. Es decir, el fenómeno ocurrido es muy semejante, pero será más leve ya que una rueda frenará menos que la otra, pero no dejará completamente de frenar.

No obstante, tiene gran interés al permitirnos ver la diferencia entre un fallo considerado defecto leve, que será analizado en este apartado y uno grave o muy grave, como es el analizado en el apartado 5.2.2.

Para la realización de estas simulaciones se ha seleccionado una intersección de carreteras con un carril por sentido. Únicamente se ha simulado el fallo en las ruedas del eje delantero, ya que en las del eje trasero tiene una influencia mucho menor y no resulta de especial interés desde el punto de vista visual. Por otra parte, no se ha variado el estado del pavimento ni el vehículo utilizado, ya que las diferencias debidas a estos tipos de condicionantes se han analizado detalladamente en apartados anteriores.

#### **5.2.3.1 Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con desequilibrio en el eje delantero del 25% (rueda delantera derecha con menor capacidad de frenado)**

Tal y como puede apreciarse en el vídeo 5.55, así como en la figura 5.32, el vehículo tiende a girar en torno a la rueda delantera con mayor capacidad de frenado, en este caso la rueda delantera izquierda. La distancia de frenado se ve poco afectada por dicho fenómeno, sin embargo, el vehículo no puede mantener la trayectoria, comprometiendo el control direccional del conductor. No obstante, este fenómeno es ya muy leve incluso en una frenada de emergencia.

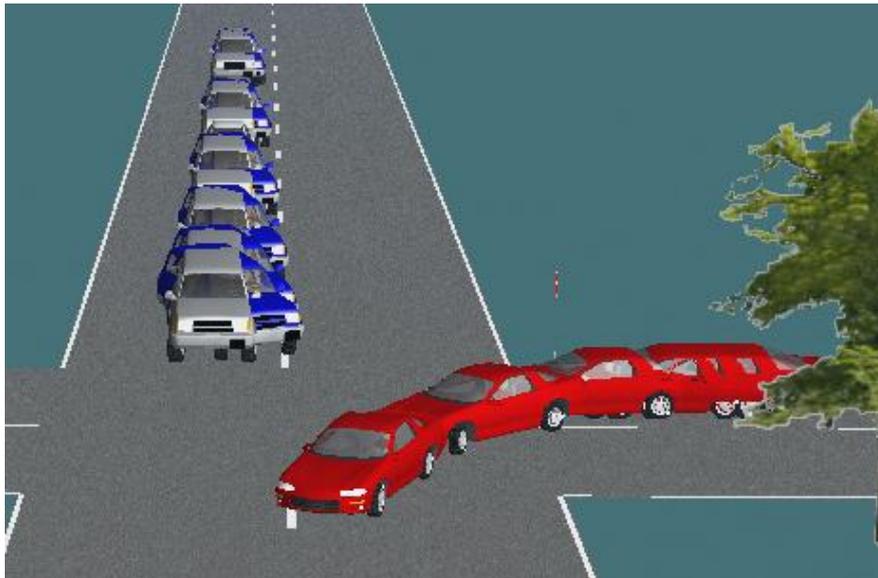


Figura 5.32: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha con menor capacidad de frenado (azul, desequilibrio del 25%) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$

### 5.2.3.2 Frenada de emergencia de un vehículo al aproximarse a una intersección con desequilibrio en el eje delantero del 25% (rueda delantera izquierda con menor capacidad de frenado)

Tal y como puede apreciarse en el vídeo 5.56, así como en la figura 5.33, el vehículo tiende a girar en torno a la rueda delantera con mayor capacidad de frenado, en este caso la rueda delantera derecha. La distancia de frenado se ve poco afectada por dicho fenómeno, sin embargo, el vehículo no puede mantener la trayectoria, comprometiendo el control direccional del conductor. No obstante, este fenómeno es ya muy leve incluso en una frenada de emergencia.



Figura 5.33: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda con menor capacidad de frenado (azul, desequilibrio del 25%) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$

#### 5.2.4 Progresión no gradual del freno (agarre)

Este caso resulta de gran interés ya que implica que uno de los neumáticos quede bloqueado en el proceso de frenado. Eso hace que su capacidad de frenado disminuya hasta un valor constante, que vendrá dado por el coeficiente de fricción en régimen dinámico entre rueda y pavimento. Esto hace que el comportamiento sea equivalente a tener una disminución de capacidad de frenado en dicha rueda. No obstante, dado que su comportamiento es igual que el de un vehículo en el que esa rueda frena menos, resulta idéntico a muchos de los casos ya simulados. Es por ese motivo que únicamente se ha incluido una simulación en el presente informe, sobre la cual será explicado el resultado de tener una rueda que presenta una progresión no gradual durante el frenado (agarre).

Para la realización de las simulaciones se ha seleccionado una intersección de carreteras con un carril por sentido. Únicamente se ha simulado el fallo en la rueda delantera izquierda, ya que es equivalente a lo analizado en aquellos casos en que la rueda delantera izquierda no frena o frena menos que la derecha. Es decir, el vehículo tiende a girar en torno a la rueda delantera derecha, ya que al bloquearse la rueda izquierda disminuye su capacidad de frenado.

Tal y como puede apreciarse en el vídeo 5.57, así como en la figura 5.34, el vehículo tiende a girar en torno a la rueda delantera con mayor capacidad de frenado. La distancia de frenado se ve poco afectada por dicho fenómeno, sin embargo, el vehículo no puede mantener la trayectoria, comprometiendo el control direccional del conductor.

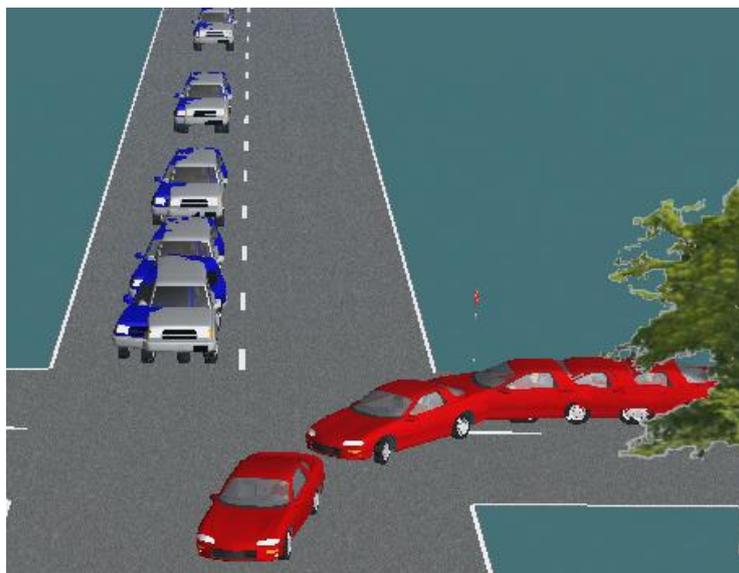


Figura 5.34: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera izquierda con progresión no gradual de frenado (azul) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$

### **5.2.5 Retraso anormal en el funcionamiento de los frenos en cualquiera de las ruedas**

Se ha podido comprobar que este caso muestra escasas diferencias con anteriores análisis realizados. Esto es debido a que cuando una rueda presenta un retraso en su funcionamiento durante el frenado supone una inoperancia de la misma durante un determinado tiempo. Es decir, el comportamiento es idéntico al descrito en el apartado 5.2.1, con la diferencia de que transcurrido un determinado tiempo, la rueda comenzaría a frenar. Esto haría que a partir de ese instante el vehículo comenzara a frenar aproximadamente en línea recta, y no seguiría girando. No obstante, esto se producirá antes o después en función del tiempo de retraso en el funcionamiento. Y es necesario tener en cuenta que cuando comienza a frenar en línea recta el vehículo ya no se encuentra en la dirección de circulación, sino que estará oblicuo al carril.

Por todo ello, los resultados obtenidos en las simulaciones son, en función del tiempo de retraso, muy semejantes a los mostrados en los apartados 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.3; no mostrando ninguna variación que haga interesante mostrar dichas simulaciones. De hecho, las únicas diferencias se han podido apreciar al analizar la trayectoria del centro de gravedad del vehículo, pero no gráficamente en las simulaciones.

### **5.2.6 Fluctuación superior al 55% de las fuerzas de frenado de una rueda**

Este caso resulta de gran interés ya que implica que uno de los neumáticos presente una fuerza de frenado alternante que hace que varíe la intensidad de frenado de un modo notable. Se ha podido comprobar que si la fuerza oscila en torno al valor medio de la fuerza de frenado de la otra rueda, el vehículo oscila pero no se aprecia un cambio sustancial en la dirección del mismo (apenas unos centímetros en una frenada de emergencia). Sin embargo, en el caso en que oscila en torno a otro valor que no es exactamente el valor medio de frenado de la otra rueda, el vehículo presenta un giro además de la vibración. Dado que en la simulación resulta casi imperceptible la vibración en el vehículo, se ha optado por simular este último caso, ya que además es el más probable cuando se da un fallo de estas características.

Para la realización de las simulaciones se ha seleccionado una intersección de carreteras con un carril por sentido. Únicamente se ha simulado el fallo en la rueda delantera derecha, ya que es equivalente a lo analizado en aquellos casos en que la rueda delantera derecha no frena o frena menos que la izquierda. Es decir, el vehículo tiende a girar en torno a la rueda delantera izquierda, ya que al oscilar la fuerza de frenado de la rueda derecha disminuye su capacidad de frenado.

Tal y como puede apreciarse en el vídeo 5.58, así como en la figura 5.35, el vehículo tiende a girar en torno a la rueda delantera con mayor capacidad de frenado. La distancia de frenado se ve poco afectada por dicho fenómeno, sin embargo, el vehículo no puede mantener la trayectoria, comprometiendo el control direccional del conductor.

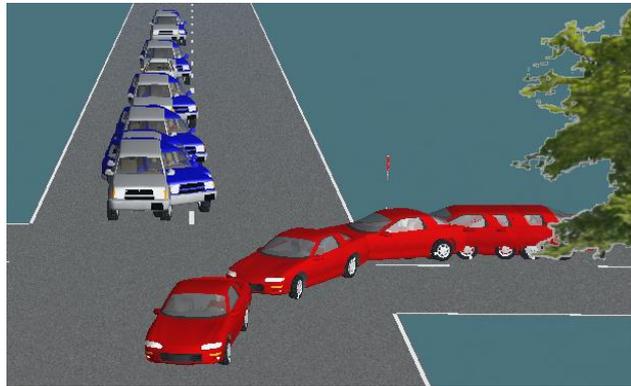


Figura 5.35: Trayectorias de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. SUV con rueda delantera derecha con fluctuación superior al 55% (azul) y en correcto estado (gris). Vel. inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$

### 5.2.7 Fluctuación superior al 30% e inferior al 55% de las fuerzas de frenado de una rueda

Este caso es muy similar al anterior, pero de consecuencias menos relevantes para la seguridad. Por otra parte, la trayectoria del vehículo es semejante a la que se ha mostrado en otros apartados, lo cual hace poco interesante mostrar simulaciones relacionadas con dicho caso. Más concretamente, las trayectorias son similares a las vistas en los apartados 5.2.3.1 y 5.2.3.2 en las que se simulaba un desequilibrio del 25%.

### 5.2.8 Existencia de fuerzas de frenado en ausencia de acción sobre el mando del freno

En este caso, se ha considerado innecesario realizar ninguna simulación, ya que cuando esto ocurre se pueden dar únicamente dos casos:

1. Las fuerzas son iguales en las ruedas de un mismo eje, lo cual no supone ninguna variación en el comportamiento del vehículo, pero aumenta su consumo, el desgaste de los componentes del sistema de freno y a menudo presentará ruidos o vibraciones atípicas.
2. Las fuerzas no son iguales, con lo que sería equivalente a casos simulados con anterioridad.

En ambos casos no resulta interesante realizar simulaciones, ya que no aportarían nada respecto a lo indicado hasta este punto.

### 5.2.9 Vehículo de la categoría 6 (M1): eficacia inferior al 50%

En este caso se han realizado diferentes simulaciones para distintos valores de eficacia, siempre inferiores al 50%. No obstante, dado que en todos los casos se observa una variación en la distancia de frenado, se ha optado por mostrar un único caso en el que el vehículo presenta exactamente una eficacia de frenado del 50%. De este modo, se puede apreciar cómo aumenta la distancia de frenado en un caso real que se sitúe exactamente en el límite establecido para este tipo de fallo.

Es posible observar en el vídeo 5.59, así como en la figura 5.36, cómo varía la distancia de frenado de un vehículo con eficacia de frenado del 50% respecto a otro vehículo en correcto estado. Para este caso, en una frenada de emergencia partiendo de 120 km/h, la distancia de frenado se incrementa más de 15 metros.



Figura 5.36: Posiciones finales de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con eficacia de frenado del 50% (negro) y en correcto estado (azul). Velocidad inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$

### 5.2.10 Inexistencia del dispositivo antibloqueo en vehículos obligados a llevarlo

Para ejemplificar este caso, se ha optado por simular el mismo vehículo con y sin ABS en una situación que permita ver con claridad qué mejoras supone tener operativo el dispositivo antibloqueo.

De este modo, es posible observar en los vídeos 5.60 y 5.61, así como en la figura 5.37, cómo varía la trayectoria en ambos casos. El vehículo con dispositivo antibloqueo en correcto estado puede frenar y girar sin mayores dificultades, pudiendo seguir una trayectoria curva o evitar un obstáculo. Por el contrario, el vehículo sin sistema antibloqueo mantiene una trayectoria rectilínea a lo largo de toda la frenada, sin posibilidad de variar la dirección. De esta manera, sin sistema ABS el vehículo no puede seguir en el carril durante la curva, invade el carril derecho sin ninguna capacidad de modificar la dirección y colisiona con el muro.

También se muestra una vista desde detrás del vehículo (vídeo 5.61), para apreciar con mayor claridad la trayectoria a lo largo de toda la frenada de emergencia. Correspondería con el punto de vista del conductor, pero desde el exterior del vehículo para ampliar el campo de visión y observar las trayectorias de ambos vehículos.



Figura 5.37: Posiciones finales de los vehículos a lo largo del proceso de frenado. Sedan con sistema antibloqueo (negro) y sin él (azul). Velocidad inicial: 120 km/h y  $\mu=0.85$

### 5.2.11 Defectos de estado que impidan su función

Este caso sería equivalente al anterior, ya que en caso de no funcionar el dispositivo antibloqueo se perdería el control direccional del vehículo. Es por este motivo que no se ha considerado necesario realizar simulaciones adicionales a las ya mostradas.

## 6. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

### 6.1 Condiciones seleccionadas para la realización de simulaciones

Si bien es cierto que las condiciones seleccionadas han de ser adaptadas al tipo de defecto simulado, en aras de un análisis y la obtención de resultados homogéneos, se han seguido las indicaciones dadas por la principal prueba de homologación llevada a cabo sobre el sistema de dirección para la verificación de la estabilidad direccional del vehículo. La norma ISO que define el ensayo principal para este sistema es la siguiente:

- ISO TR-3888-1 Passenger Cars. “Test track for a severe lane-change manoeuvre”, International Organization for Standardization, 1999 [16].

En dicha norma se establece una maniobra de esquiwa que debe ser superada a diferentes velocidades por los vehículos evaluados. Más concretamente, se define la geometría de la trayectoria a seguir, figura 6.1, y una sucesión de velocidades de ensayo hasta llegar a 80km/h (40, 60 y 80km/h). La prueba consiste en un cambio de carril para evitar un obstáculo y la vuelta al carril inicial para invadir el mínimo tiempo posible el carril contrario. En función de la velocidad que haya conseguido mantener el vehículo en la última prueba realizada correctamente (sin pérdida de control) se establece una valoración del mismo. Por otra parte, si es capaz de realizarla a una velocidad superior a 80km/h, se seguirán haciendo pruebas incrementando la velocidad a intervalos de 10km/h hasta establecer la máxima en la que se puede mantener el vehículo controlado durante toda la maniobra de esquiwa.

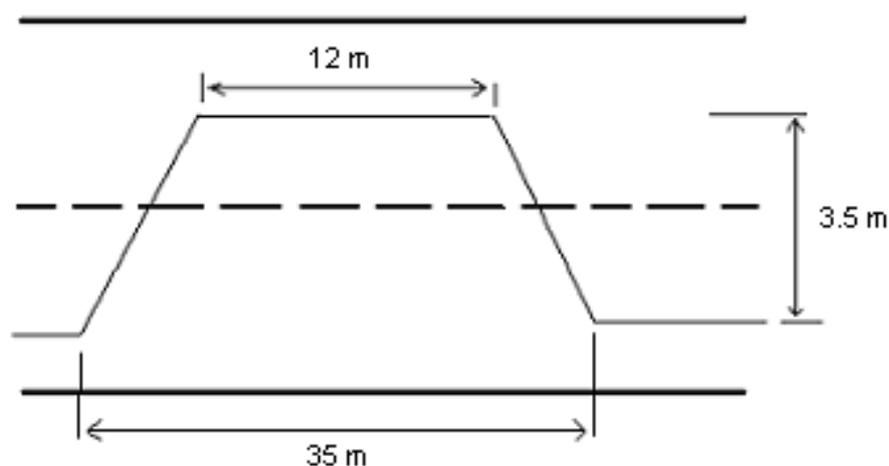


Figura 6.1: Trayectoria asintótica a seguir en la prueba DLC fijada por la norma ISO TR-3888-1

A partir de estas directrices, han sido seleccionadas las velocidades adecuadas para efectuar las comparaciones entre vehículos en perfecto estado y vehículos con algún defecto en el sistema de dirección. Estas velocidades dependerán del tipo de vehículo utilizado para superar la prueba y del coeficiente de adherencia. Así pues, se irá indicando para cada caso estudiado, ya que se buscará aquella velocidad límite que garantice que un vehículo en buenas condiciones es capaz de superar satisfactoriamente la prueba DLC.

Por otra parte, se va a proceder a realizar las simulaciones con diversos vehículos (turismos, todoterrenos, etc.) con el fin de obtener resultados completos, ya que en función del tipo de vehículo afectado por este tipo de defectos, los resultados pueden verse modificados de manera importante.

## **6.2 Estudio de los diferentes defectos en el sistema de dirección mediante herramientas de simulación**

La herramienta de simulación elegida para este estudio ha sido CarSim™ [Mechanical Simulation Corp.] [2, 13, 14]. El programa es un estándar en la industria del automóvil, está desarrollado especialmente para la simulación de la dinámica de vehículos con neumáticos. Permite estudiar cómo los vehículos responden dinámicamente a acciones del conductor y del entorno (pavimento y viento). Permite obtener el mismo tipo de datos y gráficas que pueden medirse con sistemas de ensayo instalados en vehículos. La aplicación está basada en parte en tecnologías desarrolladas por el University of Michigan Transportation Research Institute.

El modelo del vehículo está construido a partir del uso de diferentes componentes que son descritos matemáticamente por sus masas e inercias. Los movimientos de los diferentes componentes están restringidos de forma relativa por otros a través de elementos de conexión que a su vez también son descritos matemáticamente. Dispone de varios modelos de comportamiento del neumático, entre los que destacan el modelo de Pacejka 5.2, versión de la Fórmula Mágica, y modelos totalmente experimentales (matrices de datos obtenidos experimentalmente).

Las entradas al sistema consisten en una trayectoria (hace uso de un modelo de guiado) que el vehículo tiene que seguir a una cierta velocidad. Otras variables de entrada son fuerzas externas que actúan sobre el vehículo (fuerzas aerodinámicas), el ángulo de giro introducido en las ruedas, momentos en las ruedas motrices y excitaciones procedentes del pavimento.

Los datos de salida de la simulación pueden ser representados frente al tiempo o frente a otra variable incluida entre 500 parámetros como:

- Desplazamientos, velocidad y aceleración en cualquiera de los seis grados de libertad de la masa suspendida.
- Fuerzas y momentos en los neumáticos.
- Fuerzas y desplazamientos en muelles, amortiguadores, etc.

Mediante el uso de la herramienta de simulación descrita, se han analizado los diferentes casos de defecto del sistema de dirección. Con el fin de estructurar las diferentes simulaciones realizadas, se ha utilizado el orden seguido en el propio Manual de Procedimiento. De este modo, se analizará, apartado por apartado, cada uno de los Defectos indicados en el punto 7: Dirección. Se simularán todos los defectos recogidos en el manual, exceptuando aquellos que no dan lugar a simulación. Estos últimos serán explicados de forma pormenorizada, así como la razón de realizar simulaciones al respecto.

Asimismo, se han seleccionado algunas condiciones, por resultar especialmente representativas. A partir del estudio de los informes anuales de siniestralidad de la última década (datos públicos facilitados por la Dirección General de Tráfico), se puede observar cómo se distribuyen porcentualmente los accidentes mortales en ocho tipologías diferentes (porcentajes promediados para los años comprendidos entre 2003 y 2009) [15]:

1. Colisión frontal (19%)
2. Colisión lateral (4%)
3. Colisión fronto-lateral (17%)
4. Colisión múltiple y por alcance (8%)
5. Salida de vía (38%)
6. Atropello a peatón (9%)
7. Vuelco (2%)
8. Otros tipos de accidente (3%)

De estos 8 tipos de accidente, se ha podido comprobar que una parte importante de estos se producen por la presencia de algún obstáculo en la calzada (vehículo detenido o averiado, peatón u objeto obstaculizando la circulación normal de

vehículos), así como aproximación a cruces e incorporaciones. También ha sido posible ver que muchas de las salidas de vía se producen por pérdida de control en curva o durante un giro. Esto ha dado lugar a la elección del escenario más representativo para efectuar las diferentes simulaciones: Obstáculo en el carril por el que circula el vehículo. Además, para hacer énfasis en la importancia de mantenerse en el carril y no invadir los demás carriles, utilizar el arcén o, incluso, tener que salir de la vía, se ha realizado la simulación en una carretera con un único carril por sentido de circulación. Esto permite identificar claramente la necesidad de mantenerse en el carril el máximo tiempo posible, invadiendo lo mínimo posible los espacios adyacentes.

De este modo, quedan representados los casos que actualmente dan lugar a la mayor parte de siniestros. En dichas situaciones, es habitual tener que efectuar frenadas de emergencia y/o giros bruscos, siendo estos casos donde será más sencillo comprobar la influencia del fallo del sistema sobre la dinámica del vehículo.

### **6.2.1 Apartado 7.1. del Manual de Procedimiento: Desviación de ruedas**

En este apartado el manual establece que: *Se calificará como defecto grave (DG) cuando el vehículo presenta desalineación superior a 10 m/km en alguno de sus ejes directrices y se aprecia defecto de estado en la inspección en foso.*

Éste es uno de los casos más interesantes para el estudio, ya que permite observar algunas de las situaciones más desfavorables (sin llegar al caso del bloqueo de la dirección) y a menudo menos vigiladas, tal y como se comentará en detalle. Para la realización de estas simulaciones, se ha seleccionado una carretera de un único carril por sentido, tal y como se ha comentado, ya que esto implica tener que invadir el sentido contrario o la salida de la vía en cualquier maniobra de esquiwa.

En este caso, se han utilizado diferentes vehículos para comparar su comportamiento. De este modo, se podrá comprobar la influencia de la masa del vehículo, de la altura de su centro de gravedad, etc. Los distintos vehículos circularán a la máxima velocidad que les permita superar la maniobra de esquiwa sin pérdida de control, sirviendo de referencia para efectuar comparaciones con aquellos casos en que se producen fallos en el sistema de dirección. Dicha velocidad máxima para la maniobra se establecerá para pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85) y para pavimento mojado (coeficiente de fricción igual a 0.5).

### 6.2.1.1 Maniobra de esquiva realizada por un vehículo con el sistema de dirección en buen estado al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco

En este primer caso, se utiliza un vehículo de tamaño medio que estaría en el límite establecido entre el segmento C y el segmento D, ya que son las dimensiones más habituales de los vehículos de tipo turismo pertenecientes al parque automovilístico español.

Tal y como se documenta en el vídeo 6.1 del presente apartado, así como en la figura 6.2, el vehículo en buen estado permite esquivar el obstáculo y volver al carril inicial a una velocidad de 60 km/h. La velocidad seleccionada permite efectuar la maniobra manteniendo en todo momento el control del vehículo y, por tanto, las condiciones de seguridad.



*Figura 6.2: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiva. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 60 km/h*

En la figura 6.3 se observa la misma simulación desde un punto de vista cenital con el fin de mostrar con claridad la trayectoria seguida. En dicha imagen, se puede observar cómo el tramo de carril invadido es muy pequeño y, lo que es aún más importante, que la reincorporación al carril inicial se produce con total seguridad y manteniendo el vehículo bajo control. En posteriores comparativas se mostrarán imágenes equivalentes donde se superpongan los vehículos en buen y mal estado, así como la trayectoria que ha seguido el centro del vehículo. De este modo, a partir de las trayectorias seguidas por los diferentes vehículos, es posible relacionar los defectos en el sistema de dirección con la reducción de la seguridad en los mismos.

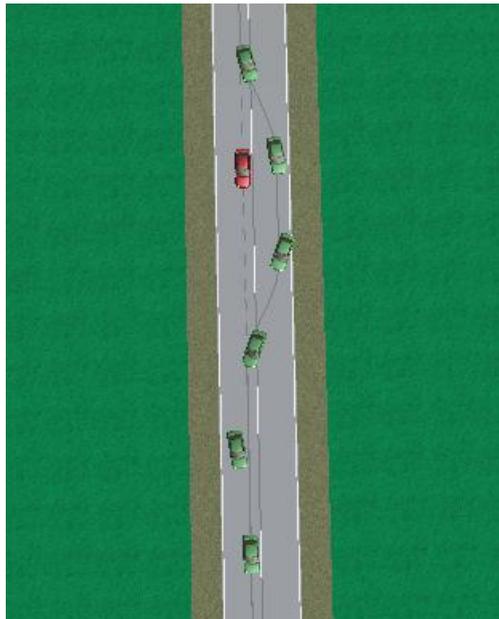


Figura 6.3: Trayectoria del vehículo en correcto estado. Velocidad: 60 km/h

### 6.2.1.2 Maniobra de esquiva realizada por un vehículo con desalineación en las ruedas delanteras al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco

La misma simulación que se ha estudiado en el apartado anterior ha sido realizada con un vehículo que presenta una desalineación en las ruedas delanteras. Es posible concluir que la desviación máxima permitida en la inspección técnica, 10 m/km, implica una desalineación aproximadamente igual a 2.5 grados en las ruedas de un mismo eje [17, 18, 19, 20, 21]. Por este motivo, se han realizado simulaciones con vehículos cuya desalineación es de 2 y 3 grados para ver qué sucede cuando estamos ligeramente por debajo y por encima del límite fijado como defecto en ITV.

Se ha comenzado con el caso en que el vehículo presentase desalineación pero estaría dentro de los límites de aceptación en ITV. De este modo, se ha utilizado el mismo vehículo que se utilizaba en el apartado anterior, modificando su convergencia hasta un valor de 2°. Como se puede observar en la figura 6.4, el vehículo puede aún efectuar la maniobra correctamente a esa velocidad. Sin embargo, resulta más complicado para el conductor, ya que se ve obligado a corregir la trayectoria en el regreso al carril e incluso tiene que hacer contravolante, como se puede apreciar en el vídeo 6.2.

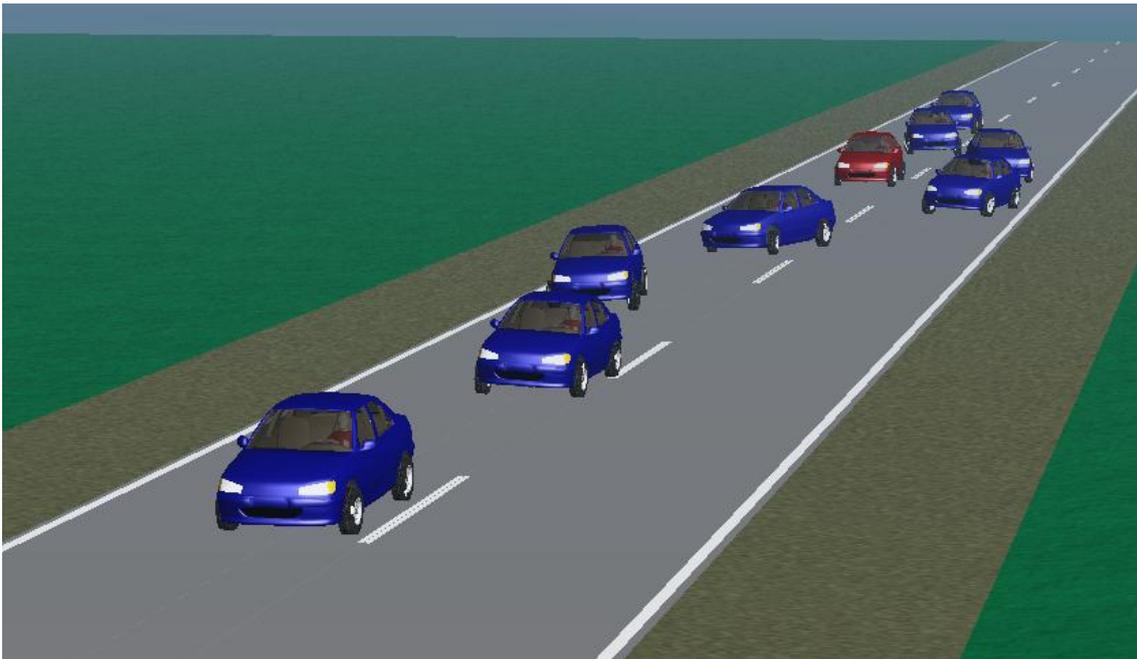


Figura 6.4: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiwa. El vehículo azul tiene el sistema de dirección con  $2^\circ$  de desalineación y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril.  
Velocidad: 60 km/h

En la figura 6.5 (vídeo 6.3) se muestra el mismo vehículo con un ángulo de convergencia de  $3^\circ$ . En este caso, el vehículo sería diagnosticado con un defecto grave en ITV, ya que su desalineación daría ligeramente por encima de 10 m/km (aproximadamente 12 m/km). Como se puede apreciar, el vehículo no es capaz de realizar correctamente la maniobra. Al intentar regresar al carril inicial se produce una pérdida de control direccional que lleva al conductor a tener que volver a invadir el carril contrario para evitar una salida de vía. Este caso supondría una situación de riesgo importante, por lo que resulta coherente que resulte diagnosticado como defecto grave en ITV.



*Figura 6.5: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiva. El vehículo amarillo tiene el sistema de dirección con 3° de desalineación y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 60 km/h*

A partir de las figuras 6.4 y 6.5, se puede apreciar un detalle interesante en la maniobra realizada. Los principales problemas para el conductor no tienen lugar en la primera parte de la maniobra, cuando se evita el obstáculo, sino al tratar de regresar al carril inicial. Esto se produce por la acumulación de esfuerzos laterales producidos en la segunda maniobra, y la dificultad para compensarlos por parte del conductor de un modo proporcionado. Dicho de otro modo, es lo que pilotos e instructores de conducción indican al plantear una maniobra de “contravolante”: la dificultad principal no está en iniciar el contravolante, sino al tratar de hacer la maniobra inversa y deshacerlo a tiempo sin sobrerreaccionar. En general, esto es complicado e implica la pérdida de control del vehículo.

### 6.2.1.3 Comparación entre las maniobras de esquiva realizadas por un vehículo en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento seco

Con el fin de mostrar con claridad la variación del comportamiento del vehículo al tener dicho defecto, se han comparado los tres vehículos simulados con diferentes desalineaciones. De este modo, en una sola imagen (figura 6.6) se puede ver la trayectoria que seguirían los tres vehículos ante la misma maniobra de esquiva y las mismas condiciones de velocidad, adherencia, etc.



Figura 6.6: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 60 km/h

Asimismo, se muestran las gráficas de fuerza lateral desarrollada por los neumáticos, y de aceleración lateral (figuras 6.7 y 6.8).

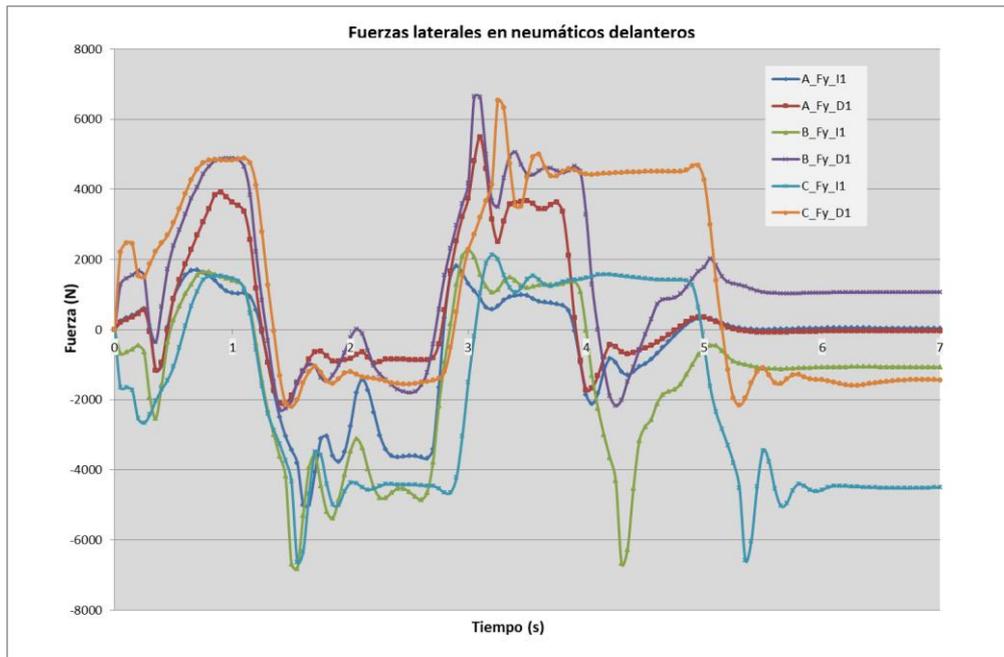


Figura 6.7: Fuerza lateral desarrollada por los neumáticos delanteros izquierdo (I) y derecho (D) de cada vehículo

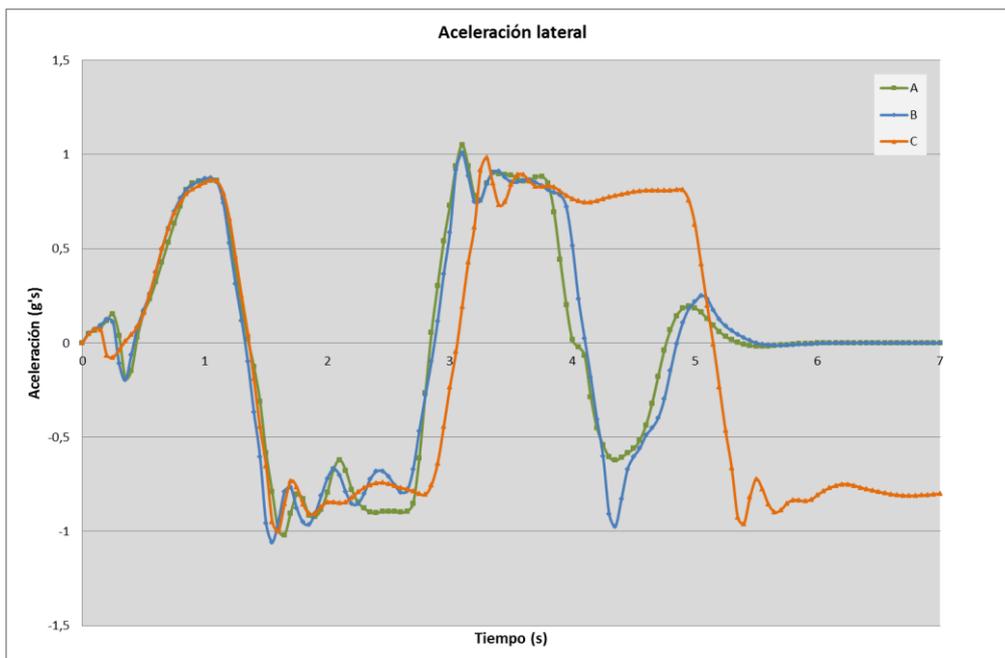


Figura 6.8: Aceleración lateral del centro de gravedad de cada vehículo

En las figuras 6.7 y 6.8 se puede observar el comportamiento de los tres vehículos denominados:

- A – Vehículo sin desalineación
- B – Vehículo con desalineación leve
- C – Vehículo con desalineación grave (Defecto grave, DG)

En la figura 6.7 se aprecia con claridad que las fuerzas laterales en los neumáticos de los vehículos A, B y C son muy diferentes desde el primer instante, es decir, en línea recta antes incluso de comenzar la maniobra. Más concretamente, se observa que el vehículo A parte con muy poca fuerza lateral, el B con mayores fuerzas y el C aún mayores fuerzas. Esto significa que, por el hecho de circular con desalineación, el neumático está sometido a mayores esfuerzos, incluso en línea recta. Así pues, sabiendo que la capacidad del neumático para transmitir esos esfuerzos es limitada, cuanto mayores son estos en línea recta, menor capacidad del neumático quedará disponible para efectuar maniobras de esquiva (ya sea giro o frenada).

Por su parte, la figura 6.8 nos muestra la aceleración lateral, que podrá ser tanto mayor cuanto mayor sea la capacidad dinámica de nuestro vehículo para superar el obstáculo. En este caso, se observa que el vehículo con mayor capacidad dinámica y que, por tanto, registra mayor aceleración lateral (1,006 g's) es el vehículo A. Esto le permite seguir una mejor trayectoria que, en la parte final de la maniobra, se traduce en un comportamiento más suave y con menor aceleración lateral.

Por último, analizando la trayectoria del centro de gravedad de cada vehículo, se puede apreciar con mayor nitidez la posición del vehículo en cada instante de la maniobra. Esto permite ver con claridad que la trayectoria del vehículo A es la más cercana a la óptima (el vehículo abandona y recupera su carril en el mínimo espacio y tiempo posible con un buen control en todo momento), el B está muy próximo también al óptimo y el C genera una clara situación de peligro (dificultad en el control de vehículo e invasión del carril izquierdo).

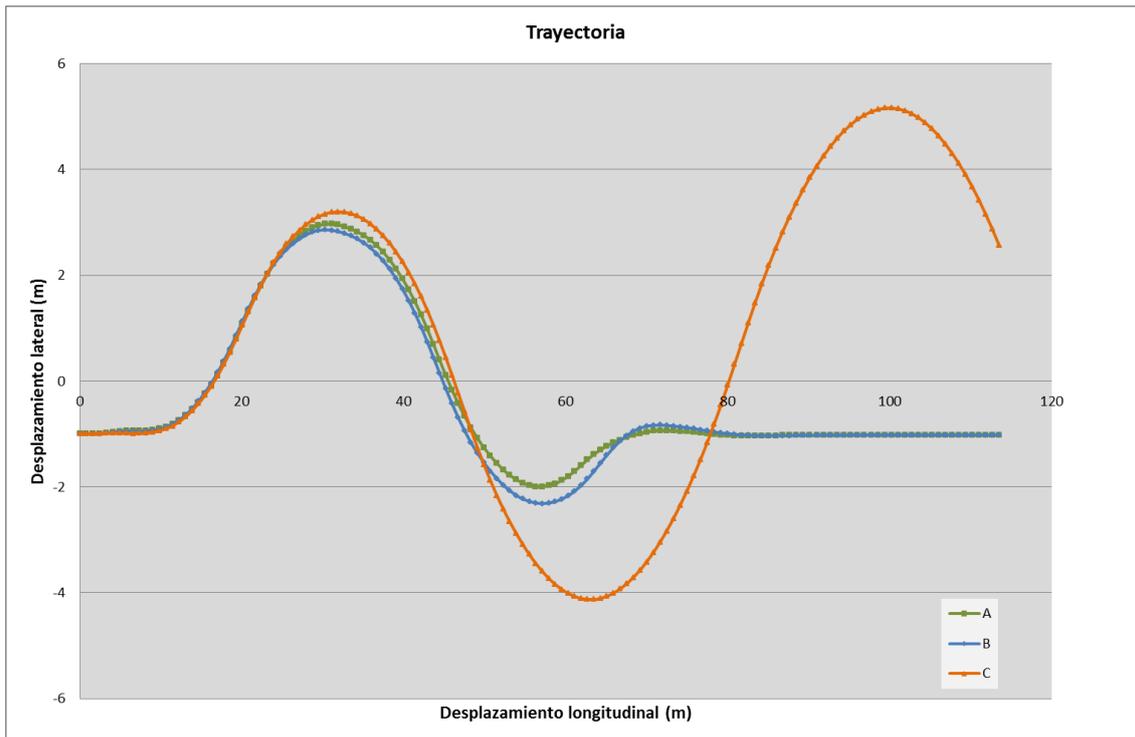


Figura 6.9: Trayectoria del centro de gravedad de cada vehículo

#### 6.2.1.4 Comparación entre las maniobras de esquiva realizadas por un vehículo en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento mojado

El análisis del defecto de desalineación muestra resultados similares cuando se plantea en una carretera con el pavimento mojado pero, tal y como se puede observar en las figuras 6.10 y 6.11 y en el vídeo 6.4, estas condiciones acentúan la problemática descrita. Se puede observar que la velocidad máxima para efectuar esta trayectoria es de 35 km/h. Sin embargo, aun siendo inferior la velocidad, la pérdida de control del vehículo debida a la desalineación es aún mayor que en el anterior caso estudiado, y las trayectorias descritas por los centros de gravedad de los vehículos se desvían aún más de la trayectoria ideal (ver figura 6.12).

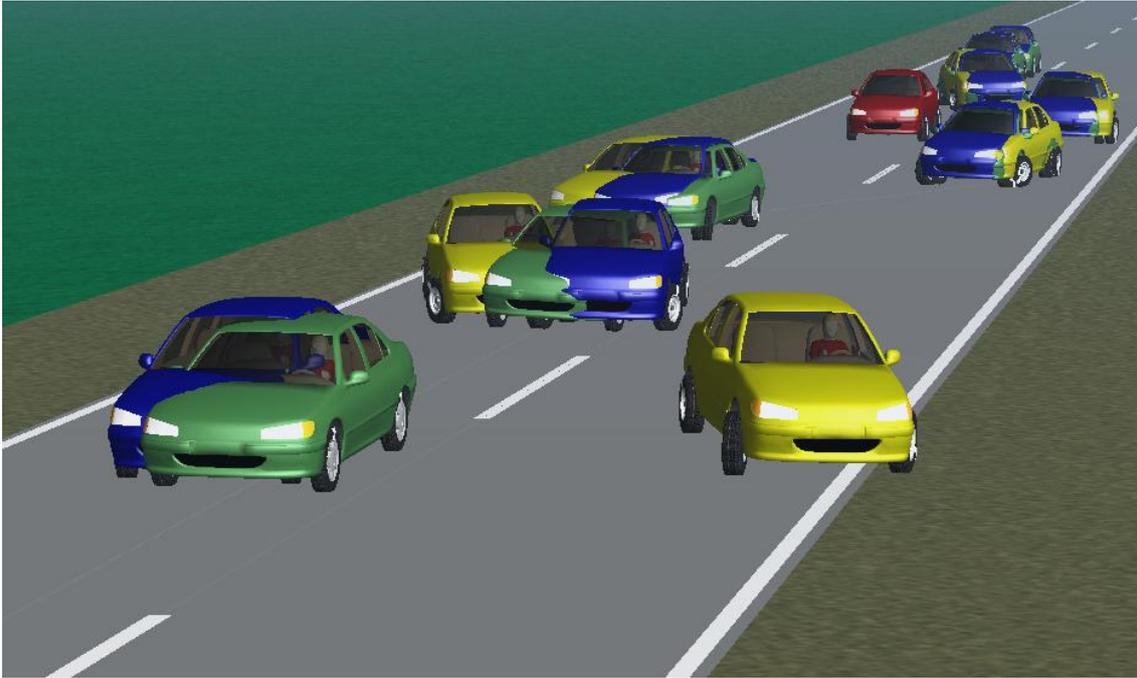


Figura 6.10: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa (a). Velocidad: 35 km/h

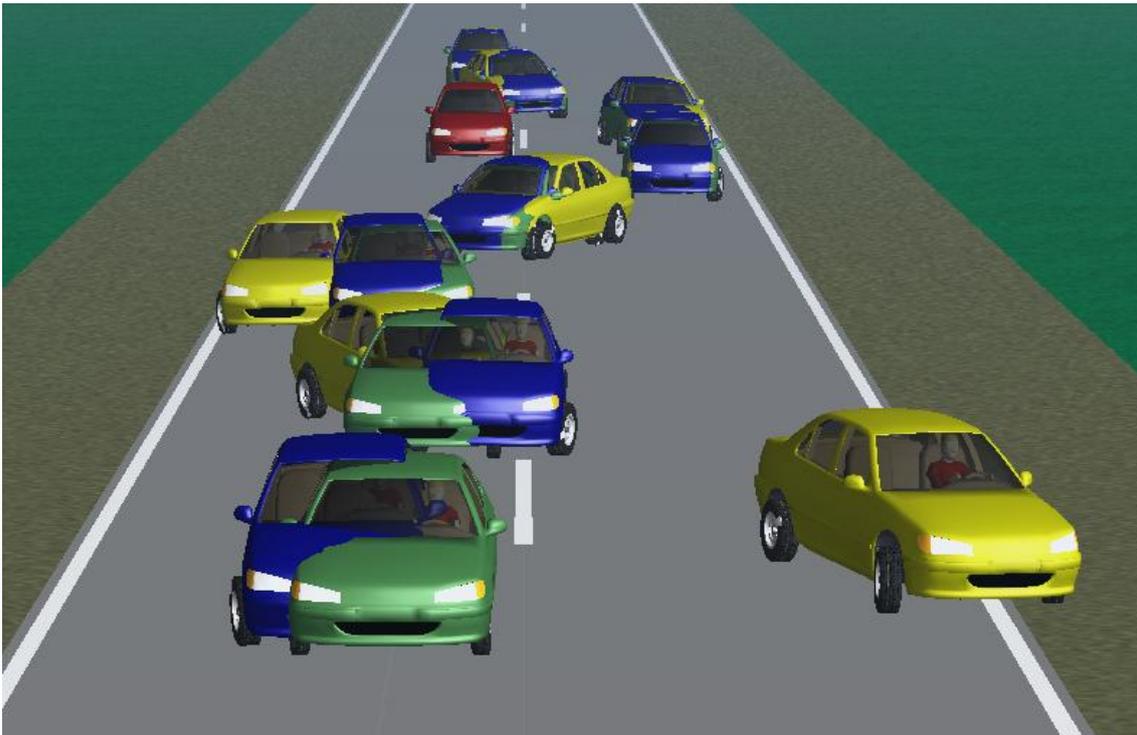


Figura 6.11: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa (b). Velocidad: 35 km/h

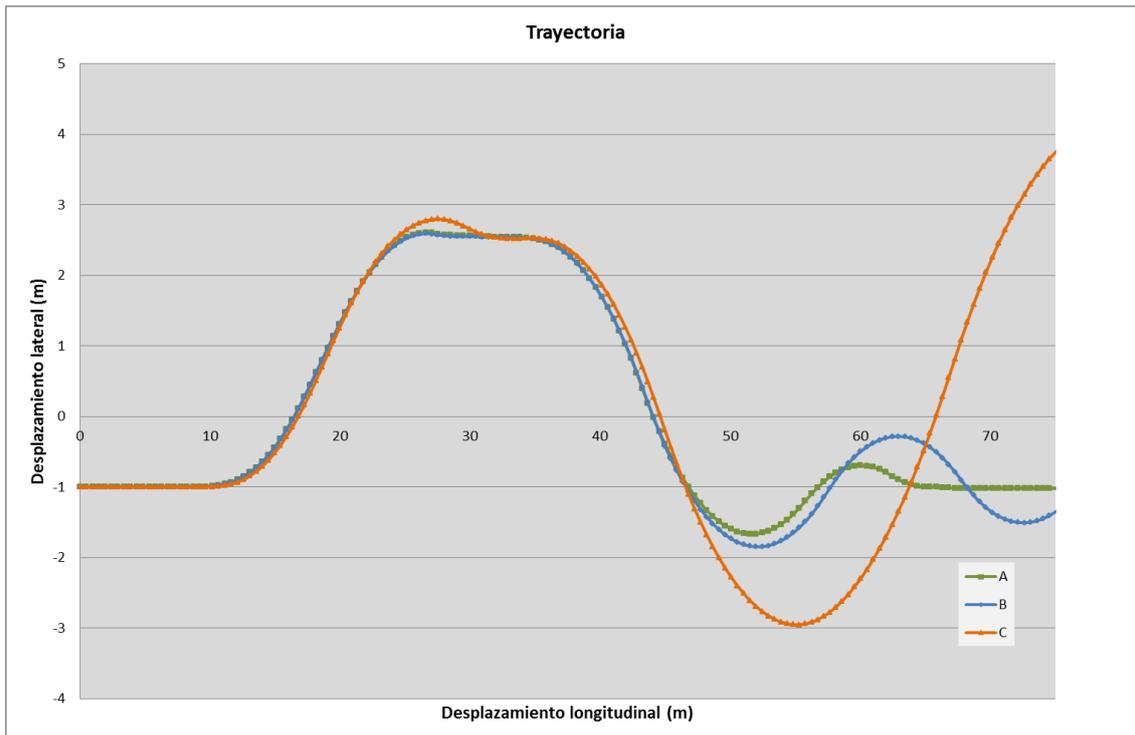


Figura 6.12: Trayectoria del centro de gravedad de cada vehículo

Analizando nuevamente la gráfica de fuerza lateral desarrollada por los neumáticos y la gráfica de aceleración lateral (figuras 6.13 y 6.14), se puede apreciar que el comportamiento es muy semejante al mostrado en pavimento seco pero con importantes variaciones cuantitativas. Nuevamente, se ha utilizado la denominación A para el vehículo sin desalineación, B para el vehículo con leve desalineación y C para el vehículo con desalineación grave (Defecto grave, DG).

En la figura 6.13 se aprecia con claridad que las fuerzas laterales en los neumáticos de los vehículos A, B y C son muy diferentes desde el primer instante, es decir, en línea recta antes incluso de comenzar la maniobra. Más concretamente, se observa que el vehículo A parte con muy poca fuerza lateral, el B con mayores fuerzas y el C aún mayores fuerzas. Esto significa que, por el hecho de circular con desalineación, el neumático está sometido a mayores esfuerzos, incluso en línea recta. Así pues, sabiendo que la capacidad del neumático para transmitir esos esfuerzos es limitada, cuanto mayores son en línea recta, menor capacidad del neumático quedará disponible para efectuar maniobras de esquivas (ya sea giro o frenada). En este caso, a diferencia de la figura 6.7, se han incluido los esfuerzos laterales en todos los neumáticos con el fin de mostrar que todos los neumáticos que se mueven paralelos a la línea media del vehículo no desarrollan fuerzas laterales al moverse en línea recta. Además, se observa que sobre el pavimento mojado es mucho menor la capacidad para transmitir fuerzas (las fuerzas desarrolladas en estas condiciones son aproximadamente la mitad de las obtenidas en pavimento seco).

Por su parte, la figura 6.14 nos muestra la aceleración lateral, que podrá ser tanto mayor cuanto mayor sea la capacidad dinámica de nuestro vehículo para superar el obstáculo. En este caso, se observa que el vehículo con mayor capacidad dinámica y que, por tanto, registra mayor aceleración lateral (0,54 g's) es el vehículo A. Esto le permite seguir una mejor trayectoria que, en la parte final de la maniobra, se traduce en un comportamiento más suave y con menor aceleración lateral. Al igual que sucedía con las fuerzas laterales, se aprecia una clara disminución de los valores alcanzados en la figura 6.8. Así pues, la aceleración lateral máxima que se puede obtener sobre pavimento mojado en esta maniobra es, aproximadamente, la mitad de la alcanzada en pavimento seco.

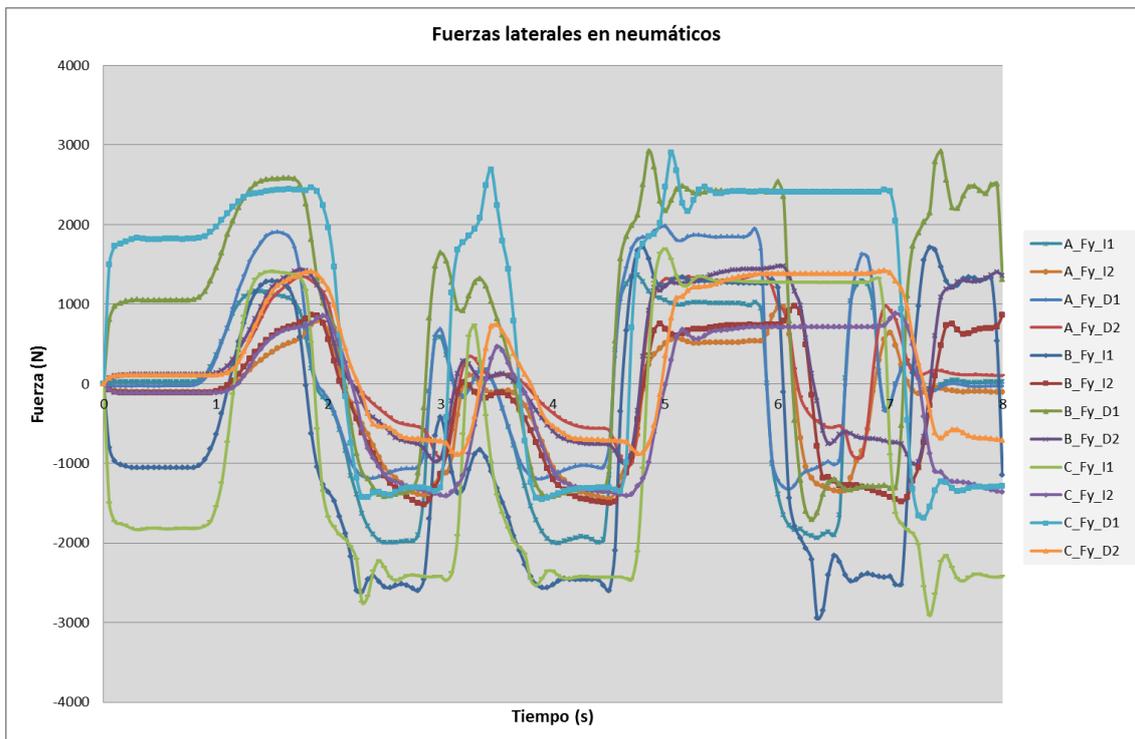


Figura 6.13: Fuerzas laterales de los neumáticos de cada vehículo

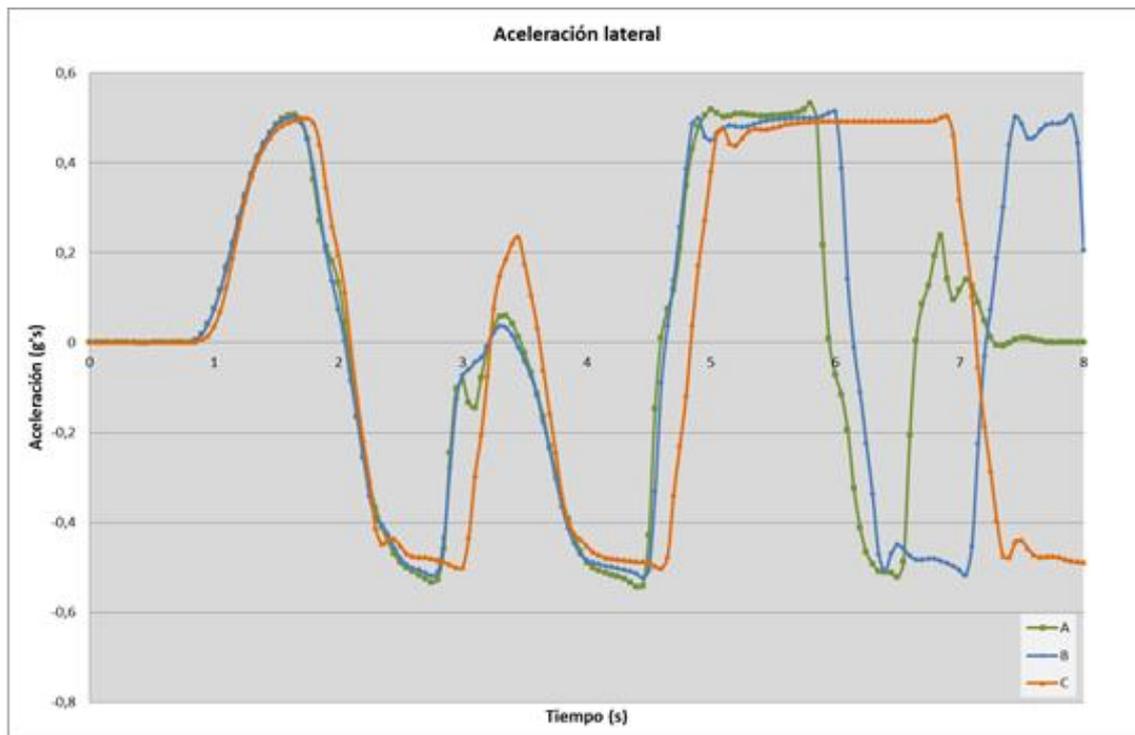


Figura 6.14: Aceleración lateral del centro de gravedad de cada vehículo

### 6.2.1.5 Comparación entre las maniobras de esquiva realizadas por un vehículo de pequeñas dimensiones en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento seco

En este caso se ha tomado un vehículo de pequeñas dimensiones (utilitario urbano del segmento A). De este modo, se podrá observar cómo influye el mismo defecto en vehículos de diferente tamaño y masa. Además, permite establecer también una comparación del comportamiento de los diferentes vehículos en la trayectoria de esquiva de doble cambio de carril. En primer lugar, se muestra la maniobra del vehículo en buen estado (figura 6.15) y la velocidad límite a la que puede realizarla sin pérdida de control (75 km/h permitiendo que el vehículo invada el arcén derecho). Tal y como se puede apreciar, se ha cambiado ligeramente la configuración de la carretera y se han incluido arcenes con el fin de visualizar diferentes alternativas. A continuación, con la finalidad de mostrar con claridad la variación del comportamiento del vehículo al tener dicho defecto, se han comparado los tres vehículos simulados con diferentes desalineaciones. De este modo, en una sola imagen (figura 6.16, vídeo 6.5) se puede ver la trayectoria que seguirían los tres vehículos ante la misma maniobra de esquiva y las mismas condiciones de velocidad, adherencia, etc. Además de la imagen de los tres vehículos, se muestra la gráfica de la trayectoria seguida por el centro de gravedad de todos ellos para apreciar exactamente las desviaciones con respecto a la trayectoria objetivo (figura 6.17).



Figura 6.15: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiua. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 75 km/h



Figura 6.16: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiua. Velocidad: 75 km/h

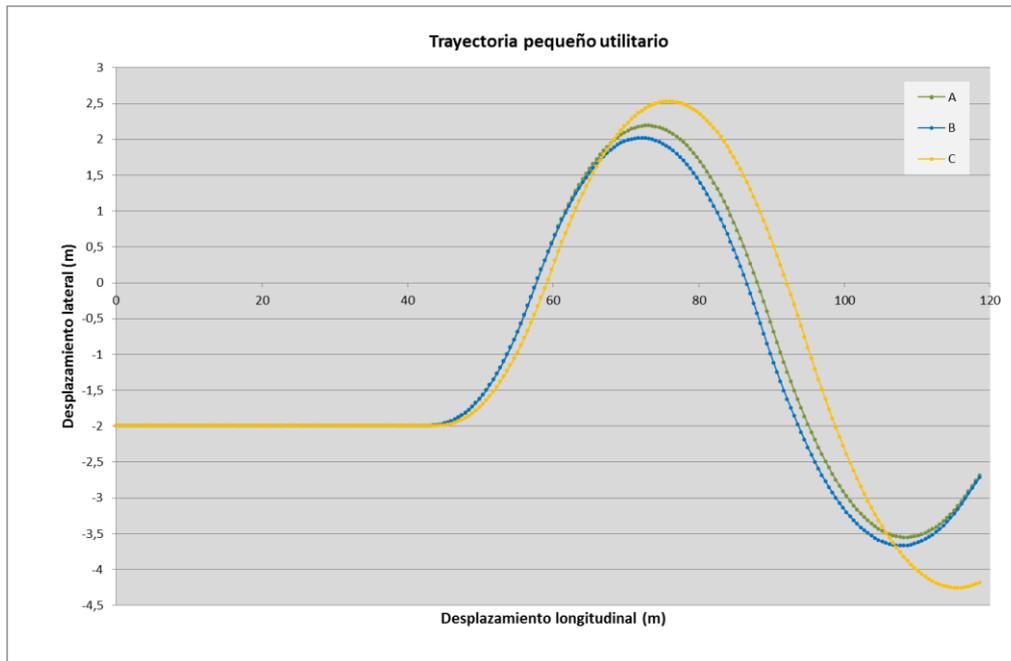


Figura 6.17: Trayectoria de los centros de gravedad de los tres vehículos

Con este vehículo se ha superado la prueba a una velocidad de 75 km/h. No obstante, es necesario indicar que, a diferencia de las simulaciones anteriores, se ha aceptado el uso del arcén derecho para realizar la maniobra. Si no se hubiera permitido utilizar el arcén, los resultados mostrados serían muy similares pero reduciendo la velocidad límite a 65-70 km/h. Esta modificación se ha hecho en aras de una mejor comprensión de la maniobra y de los márgenes que la limitan. Tal y como se aprecia en las figuras 6.16 y 6.17, los vehículos A (sin desalineación) y B (ligera desalineación) tienen un comportamiento muy semejante, aunque el B llega a salir levemente de la calzada. Por el contrario, el vehículo C sale completamente de la calzada por el margen derecho y, a su regreso, invade el carril izquierdo (esto último no lo muestran las imágenes para poder mantener una escala que nos permita ver correctamente el inicio de la maniobra).

No se considera necesario incluir figuras adicionales de fuerzas laterales en los neumáticos ni aceleración lateral, ya que redundan en la información comentada para los casos anteriores. En el caso concreto de la aceleración lateral, cabe destacar que se alcanzan valores de 1 g (este valor máximo lo alcanza, nuevamente, el vehículo en buen estado).

### 6.2.1.6 Comparación entre las maniobras de esquiva realizadas por un vehículo todoterreno en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento seco

Para esta simulación, se ha tomado un vehículo de gran tamaño y peso, un todoterreno de elevado centro de gravedad. De este modo, se observa la influencia del mismo defecto en vehículos de diferente tamaño y masa. Además, permite establecer también una comparación del comportamiento de los diferentes vehículos en la trayectoria de esquiva de doble cambio de carril. En primer lugar, se muestra la maniobra del vehículo en buen estado (figura 6.18) y la velocidad límite a la que puede realizarla sin pérdida de control (60 km/h permitiendo que el vehículo invada el arcén derecho). A continuación, con el fin de mostrar con claridad la variación del comportamiento del vehículo al tener dicho defecto, se han comparado los tres vehículos simulados con diferentes desalineaciones. De este modo, en una sola imagen (figura 6.19, vídeo 6.6) se puede ver la trayectoria que seguirían los tres vehículos ante la misma maniobra de esquiva y las mismas condiciones de velocidad, adherencia, etc. Además de la imagen de los tres vehículos, se muestra la gráfica de la trayectoria seguida por el centro de gravedad de todos ellos para apreciar exactamente las desviaciones con respecto a la trayectoria objetivo (figura 6.20).



*Figura 6.18: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiva. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 60 km/h*



Figura 6.19: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 60 km/h

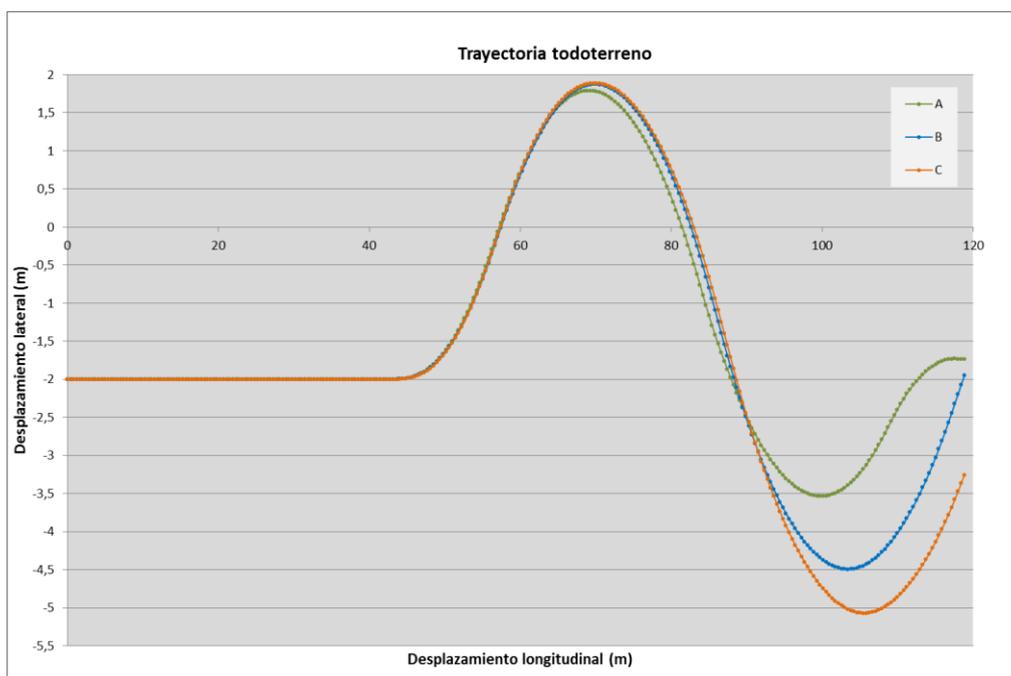


Figura 6.20: Trayectoria del centro de gravedad de los tres vehículos

Con este vehículo se ha superado la prueba a una velocidad de 60 km/h. Tal y como se aprecia en las figuras 6.19 y 6.20, el vehículo A (sin desalineación) mantiene bien la trayectoria deseada, el vehículo B (ligera desalineación) tienen un comportamiento peor y llega a salirse de la calzada, y el vehículo C sale completamente de la calzada por el margen derecho y, a su regreso, invade el carril izquierdo (esto último no lo muestran las imágenes para poder mantener una escala que nos permita ver correctamente el inicio de la maniobra).

Así pues, una de las primeras conclusiones que nos muestra este estudio es que la altura del centro de gravedad y la masa del vehículo tienen una influencia muy importante en este tipo de maniobras. Al aumentar la altura del centro de gravedad y

la masa (ambos parámetros están vinculados en los vehículos automóviles), resulta necesario reducir la velocidad para realizar correctamente la maniobra. En este sentido, hay que tener en cuenta que la fuerza que generan lateralmente los neumáticos debe equilibrar la fuerza centrífuga que se genera en curva, para que no se produzca una pérdida de control por deslizamiento lateral:

$$m \cdot g \cdot \mu_y = m \cdot \frac{V^2}{R}$$

Donde la masa (m) por la aceleración de la gravedad (g) y por la adherencia lateral ( $\mu_y$ ) es igual a la fuerza centrífuga (donde V es la velocidad del vehículo y R el radio de la curva que describe). Se observa, por tanto, que la masa afecta a ambos lados del igual, por lo que el incremento de masa no debería suponer un problema para la maniobra. Sin embargo, la transferencia de masa lateral influye en el valor del coeficiente de adherencia ( $\mu_y$ ) reduciéndolo y disminuyendo la capacidad de transmitir fuerzas transversales.

Se sabe que, al trazar la masa del vehículo que soporta cada rueda, se desplaza de las ruedas interiores a la curva hacia las exteriores. Más concretamente, la carga soportada por las ruedas exteriores será la carga inicial (en recta) más la fuerza centrífuga por la altura del centro de gravedad (h) y dividido por el ancho de vía (B):

$$F_{ze} = F_z + \frac{m \cdot V^2 \cdot h/R}{B}$$

$$F_{zi} = F_z - \frac{m \cdot V^2 \cdot h/R}{B}$$

Como es lógico, la fuerza que se transfiere hacia las ruedas exteriores es la que se está detrando de las ruedas interiores.

Cuanto mayor es la diferencia de fuerza vertical entre ruedas de un mismo eje, menor es la fuerza lateral que se puede generar, tal y como se ilustra en la figura 6.21. En dicha figura, se toma un vehículo con 400 N sobre las ruedas izquierdas y derechas, sin transferencia de masa, que pasan a ser 200N en las ruedas interiores a la curva y 600 N en las ruedas exteriores a la curva. La fuerza lateral que es capaz de transmitir el vehículo pasa de 8000 N (4000 N en cada lado) a 7100 N (1900 N en el interior y 5200 en el exterior):

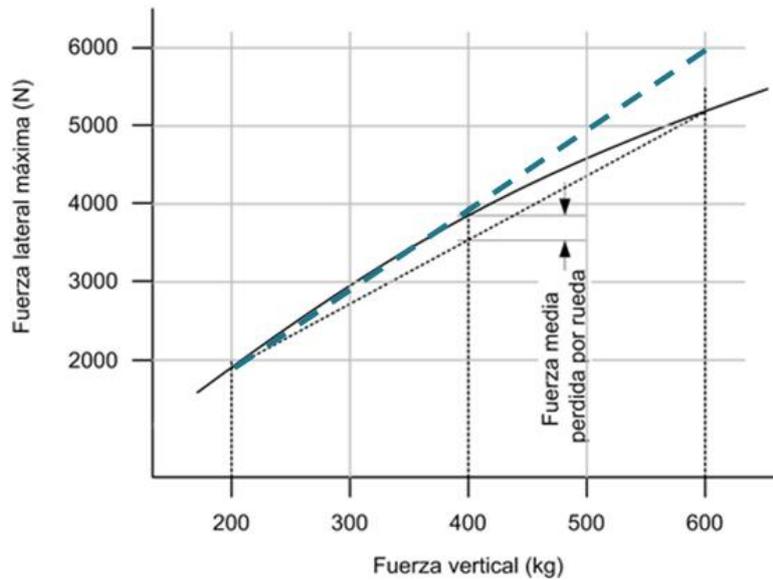


Figura 6.21: Variación de la adherencia en función de la transferencia de masa

Con todo esto, se pone de manifiesto la importancia de la altura del centro de gravedad y de la masa (también del ancho de vía, aunque esto presenta menores variaciones dentro del parque automovilístico). El incremento de estas variables limita el comportamiento direccional del vehículo, por lo que este tipo de vehículos sean más sensibles a los defectos estudiados, pudiendo comprometer su seguridad de un modo aún más marcado.

No se considera necesario incluir figuras adicionales de fuerzas laterales en los neumáticos ni aceleración lateral, ya que redundan en la información comentada para los casos anteriores. En el caso concreto de la aceleración lateral, cabe destacar que se alcanzan valores de 0,77 g's (este valor máximo lo alcanza, nuevamente, el vehículo en buen estado).

### 6.2.1.7 Comparación entre las maniobras de esquiva realizadas por un vehículo todoterreno en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento seco con un remolque

Para esta simulación se ha tomado el mismo vehículo todoterreno de gran tamaño y peso que se simulaba en el apartado anterior, pero con un remolque. Aunque el remolque esté en perfecto estado (este es el caso que se simula), influirá de un modo determinante la variación en el comportamiento del vehículo que lo remolca. De este modo, se observa cómo influye en el remolque el defecto de desalineación del vehículo que lo remolca. En primer lugar, se muestra la maniobra del vehículo en buen estado (figura 6.22) y la velocidad límite a la que puede realizarla sin pérdida de control (56 km/h permitiendo que el vehículo invada el arcén derecho). A continuación, con el fin de mostrar con claridad la variación del comportamiento del

vehículo al tener dicho defecto, se han comparado los tres vehículos simulados con diferentes desalineaciones. De este modo, en una sola imagen (figura 6.23, vídeo 6.7) se puede ver la trayectoria que seguirían los tres vehículos ante la misma maniobra de esquiva y las mismas condiciones de velocidad, adherencia, etc. Además de la imagen de los tres vehículos, se muestra la gráfica de la trayectoria seguida por el centro de gravedad de todos ellos y sus remolques para apreciar exactamente las desviaciones con respecto a la trayectoria objetivo (figura 6.24).



*Figura 6.22: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiva. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 56 km/h*



*Figura 6.23: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 56 km/h*

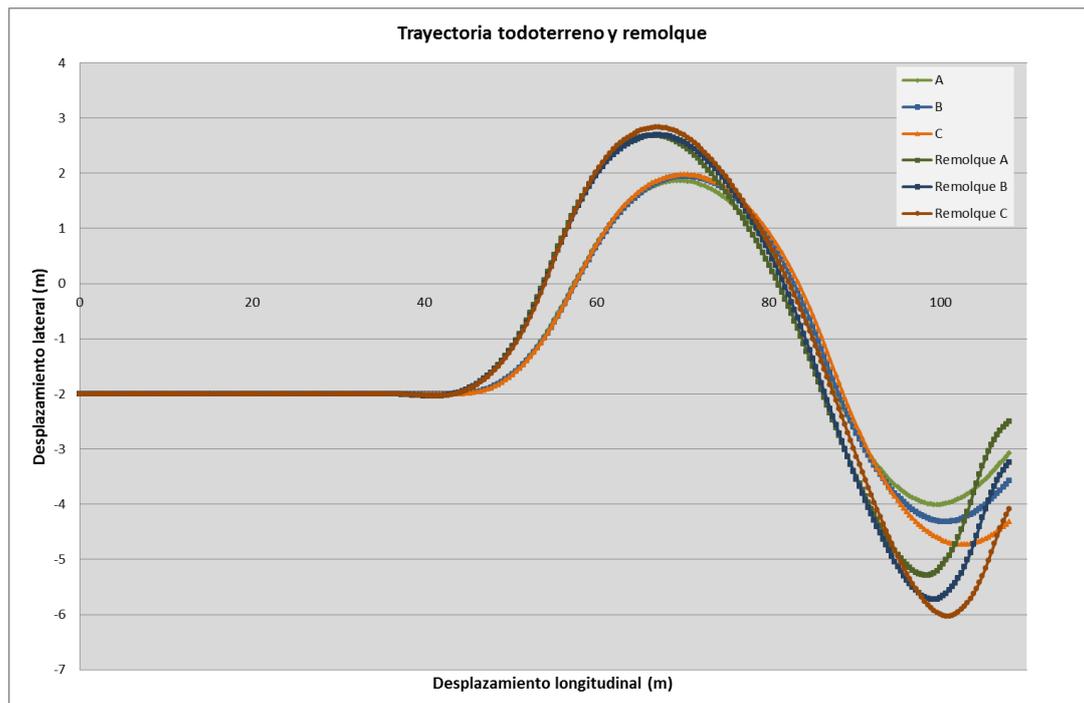


Figura 6.24: Trayectoria del centro de gravedad de los tres vehículos y sus remolques

Se observa que el comportamiento es similar al estudiado en el caso del vehículo todoterreno solo. No obstante, a causa del remolque, resulta necesario realizar la maniobra a menor velocidad. Como era de esperar, con el remolque se dificulta notablemente la maniobra y para cualquier velocidad a partir de 50km/h dicho remolque se empieza a salir de los límites de la calzada. Se aprecia con claridad en la figura 6.24 que la trayectoria del remolque es más amplia que la del vehículo que lo remolca, por lo que supone un elemento fundamental en este tipo de maniobras.

De nuevo, tal y como se aprecia en las figuras 6.23 y 6.24, el vehículo A (sin desalineación) mantiene bien la trayectoria deseada, el vehículo B (ligera desalineación) tienen un comportamiento peor y llega a salirse de la calzada y el vehículo C es el que manifiesta un comportamiento peor. En cuanto a los remolques, a pesar de estar en perfecto estado, manifiestan las limitaciones dinámicas de sus vehículos tractores al presentar defectos. Así pues, las trayectorias de los remolques siguen la pauta de empeoramiento descrita para los todoterreno, quedando en el caso C muy cerca de la pérdida completa de estabilidad por el fenómeno conocido como “tijera” (giro relativo entre vehículo tractor y remolque que hace que la orientación de ambos vehículos haga imposible su control).

En este caso, al igual que los anteriores, no se considera necesario incluir figuras adicionales de fuerzas laterales en los neumáticos ni aceleración lateral, ya que redundan en la información comentada para los casos anteriores. En el caso concreto de la aceleración lateral, cabe destacar que se alcanzan valores de 0,7 g’s con el

todoterreno y 0,68 g's con el remolque (estos valores máximos los alcanza, nuevamente, el vehículo en buen estado).

### 6.2.1.8 Comparación entre las maniobras de esquiva realizadas por un vehículo de pequeñas dimensiones en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento mojado

En este caso se ha tomado un vehículo de pequeñas dimensiones (utilitario urbano del segmento A) y se ha realizado la misma prueba que se llevó a cabo en el punto 4.1.5., pero sobre firme mojado. De este modo, se podrá observar cómo influye el mismo defecto en vehículos de diferente tamaño y masa sobre diferente pavimento. Además, permite establecer también una comparación del comportamiento de los diferentes vehículos en la trayectoria de esquiva de doble cambio de carril. En primer lugar, se muestra la maniobra del vehículo en buen estado (figura 6.25) y la velocidad límite a la que puede realizarla sin pérdida de control (45 km/h permitiendo que el vehículo invada el arcén derecho). A continuación, con el fin de mostrar con claridad la variación del comportamiento del vehículo al tener dicho defecto, se han comparado los tres vehículos simulados con diferentes desalineaciones. De este modo, en una sola imagen (figura 6.26, vídeo 6.8) se puede ver la trayectoria que seguirían los tres vehículos ante la misma maniobra de esquiva y las mismas condiciones de velocidad, adherencia, etc.



*Figura 6.25: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiva. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 45 km/h*



Figura 6.26: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa. Velocidad: 45 km/h

Con este vehículo se podía superar esta misma maniobra a 75 km/h sobre pavimento seco, por lo que se puede ver la drástica reducción de velocidad (30 km/h) necesaria para realizar la maniobra sobre pavimento mojado. No obstante, a pesar de dicha reducción de velocidad, se observa que los vehículos B y C se comportan mucho peor de lo que lo hacían en pavimento seco. Es necesario resaltar que la simulación se lleva a cabo reduciendo el valor del coeficiente de adherencia, ya que es ese el efecto que tendría un asfalto mojado. Sin embargo, este mismo efecto vendría dado por unos neumáticos en mal estado, por lo que se pone de manifiesto lo importante que es el estado del pavimento y de los neumáticos (ambos influyen de manera crítica en la adherencia disponible). Por tanto, se puede concluir que, al menos para este tipo de vehículo, la peligrosidad de una desalineación en el sistema de dirección se acentúa sobre pavimento deslizante y/o neumáticos en mal estado.

No se considera necesario incluir figuras adicionales de trayectoria de centros de gravedad, fuerzas laterales en los neumáticos ni aceleración lateral, ya que redundan en la información ya comentada para los casos anteriores. En el caso concreto de la aceleración lateral, cabe destacar que se alcanzan valores de 0,43 g's (este valor máximo lo alcanza, nuevamente, el vehículo en buen estado).

### **6.2.1.9 Comparación entre las maniobras de esquiwa realizadas por un vehículo todoterreno en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento mojado**

Para esta simulación se ha tomado un vehículo de gran tamaño y peso, un todoterreno de elevado centro de gravedad. De este modo, se observa la influencia del mismo defecto en vehículos de diferente tamaño y masa sobre firme mojado. Además, permite establecer también una comparación del comportamiento de los diferentes vehículos en la trayectoria de esquiwa de doble cambio de carril. En primer lugar, se muestra la maniobra del vehículo en buen estado (figura 6.27) y la velocidad límite a la

que puede realizarla sin pérdida de control (35 km/h permitiendo que el vehículo invada el arcén derecho). A continuación, con el fin de mostrar con claridad la variación del comportamiento del vehículo al tener dicho defecto, se han comparado los tres vehículos simulados con diferentes desalineaciones. De este modo, en una sola imagen (figura 6.28, vídeo 6.9) se puede ver la trayectoria que seguirían los tres vehículos ante la misma maniobra de esquiwa y las mismas condiciones de velocidad, adherencia, etc.



*Figura 6.27: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiwa. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 35 km/h*



*Figura 6.28: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa. Velocidad: 35 km/h*

Con este vehículo se podía superar esta misma maniobra a 60 km/h sobre pavimento seco, por lo que se puede ver la drástica reducción de velocidad (25 km/h) necesaria para realizar la maniobra sobre pavimento mojado. No obstante, a pesar de dicha reducción de velocidad, se observa que los vehículos B y C se comportan mucho peor de lo que lo hacían en pavimento seco. Es necesario resaltar que la simulación se lleva a cabo reduciendo el valor del coeficiente de adherencia, ya que es ese el efecto

que tendría un asfalto mojado. Sin embargo, este mismo efecto vendría dado por unos neumáticos en mal estado, por lo que se pone de manifiesto lo importante que es el estado del pavimento y de los neumáticos (ambos influyen de manera crítica en la adherencia disponible). Por tanto, se puede concluir que la peligrosidad de una desalineación en el sistema de dirección se acentúa sobre pavimento deslizante y/o neumáticos en mal estado. Este resultado se puede considerar generalizable ya que se ha podido comprobar para vehículos de muy distinto tamaño (segmentos A, C y E).

No se considera necesario incluir figuras adicionales de trayectoria de centros de gravedad, fuerzas laterales en los neumáticos ni aceleración lateral, ya que redundan en la información ya comentada para los casos anteriores. En el caso concreto de la aceleración lateral, cabe destacar que se alcanzan valores de 0,42 g's (este valor máximo lo alcanza, nuevamente, el vehículo en buen estado).

#### **6.2.1.10 Comparación entre las maniobras de esquiva realizadas por un vehículo todoterreno en buen estado y uno que presente desalineación en las ruedas delanteras sobre pavimento mojado con un remolque**

Para esta simulación se ha tomado el mismo vehículo todoterreno de gran tamaño y peso que se simulaba en el apartado anterior, pero con un remolque. Aunque el remolque esté en perfecto estado (este es el caso que se simula), influirá de un modo determinante la variación en el comportamiento del vehículo que lo remolca. De este modo, se observa cómo influye en el remolque el defecto de desalineación del vehículo que lo remolca sobre pavimento mojado. En primer lugar, se muestra la maniobra del vehículo en buen estado (figura 6.29) y la velocidad límite a la que puede realizarla sin pérdida de control (35 km/h permitiendo que el vehículo invada el arcén derecho). A continuación, con el fin de mostrar con claridad la variación del comportamiento del vehículo al tener dicho defecto, se han comparado los tres vehículos simulados con diferentes desalineaciones. De este modo, en una sola imagen (figura 6.30, vídeo 6.10) se puede ver la trayectoria que seguirían los tres vehículos ante la misma maniobra de esquiva y las mismas condiciones de velocidad, adherencia, etc.



*Figura 6.29: Trayectoria del vehículo a lo largo de la maniobra de esquiwa. El vehículo verde tiene el sistema de dirección con perfecto estado y encuentra un vehículo detenido (de color rojo) en su carril. Velocidad: 35 km/h*



*Figura 6.30: Trayectoria de los tres vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa. Velocidad: 35 km/h*

Con este vehículo se podía superar esta misma maniobra a 56 km/h sobre pavimento seco, por lo que se puede ver la notable reducción de velocidad (21 km/h) necesaria para realizar la maniobra sobre pavimento mojado. No obstante, a pesar de dicha reducción de velocidad, se observa que los vehículos B y C se comportan mucho peor de lo que lo hacían en pavimento seco. Es necesario resaltar que la simulación se lleva a cabo reduciendo el valor del coeficiente de adherencia, ya que es ese el efecto que tendría un asfalto mojado. Sin embargo, este mismo efecto vendría dado por unos neumáticos en mal estado, por lo que se pone de manifiesto lo importante que es el estado del pavimento y de los neumáticos (ambos influyen de manera crítica en la adherencia disponible). Por tanto, se puede concluir que la peligrosidad de una desalineación en el sistema de dirección se acentúa sobre pavimento deslizante y/o neumáticos en mal estado.

No se considera necesario incluir figuras adicionales de trayectoria de centros de gravedad, fuerzas laterales en los neumáticos ni aceleración lateral, ya que redundan en la información ya comentada para los casos anteriores. En el caso concreto de la aceleración lateral, cabe destacar que se alcanzan valores de 0,43 g's en el todoterreno y 0,4 en el remolque (estos valores máximos se alcanzan, nuevamente, con el vehículo en buen estado).

### **6.2.2 Apartado 7.2. del Manual de Procedimiento: Volante y columna de dirección**

En este apartado el manual establece que:

- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe una fijación defectuosa del volante a la columna y/o de la columna a la caja o cremallera.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe un juego excesivo en la columna de dirección.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe una holgura excesiva o fisura en las juntas cardan o en los fletores.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe un recorrido libre del volante excesivo.*
- *Se calificará como defecto leve (DL) cuando se observe un defecto de estado en los elementos inspeccionados. Dicho defecto pasará a considerarse grave (DG) cuando se observe alguno de los siguientes casos: reparaciones defectuosas, modificaciones inadecuadas o estructura resistente rota.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe defecto de estado y/o la inexistencia de los topes de dirección.*

Este tipo de defectos implican imprecisiones y pérdida de estabilidad durante el accionamiento de la dirección. Resulta muy complicado simular este tipo de defectos debido a la inmensa cantidad de problemas que pueden quedar incluidos dentro de esta clasificación. Así pues, se procederá a simular la holgura en la columna de dirección como defecto más representativo del apartado 7.2.

Nuevamente, para la realización de estas simulaciones se ha seleccionado una carretera de un único carril por sentido, tal y como se ha comentado, ya que esto implica tener que invadir el sentido contrario o la salida de la vía en cualquier maniobra de esquiwa.

En este caso, se han utilizado diferentes vehículos para comparar su comportamiento. De este modo, se podrá comprobar la influencia de la masa del vehículo, de la altura de su centro de gravedad, etc. Los distintos vehículos circularán a la máxima velocidad que les permita superar la maniobra de esquiwa sin pérdida de control, sirviendo de referencia para efectuar comparaciones con aquellos casos en que se producen fallos del sistema de dirección. Dicha velocidad máxima para la maniobra se establecerá para pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85). En este caso no se estudia el caso de pavimento mojado ya que no aporta información adicional.

### 6.2.2.1 Maniobra de esquiwa realizada por un vehículo con el sistema de dirección en buen estado y otro que presenta holguras en dicho sistema al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco

En este caso, se utiliza un vehículo de tamaño medio que estaría en el límite establecido entre el segmento C y el segmento D, ya que son las dimensiones más habituales de los vehículos de tipo turismo pertenecientes al parque automovilístico español.

Tal y como se documenta en el vídeo 6.11 del presente apartado, así como en la figura 6.31, el vehículo en buen estado (color verde) permite esquivar el obstáculo y volver al carril inicial a una velocidad de 60 km/h. La velocidad seleccionada permite efectuar la maniobra manteniendo en todo momento el control del vehículo y, por tanto, las condiciones de seguridad.

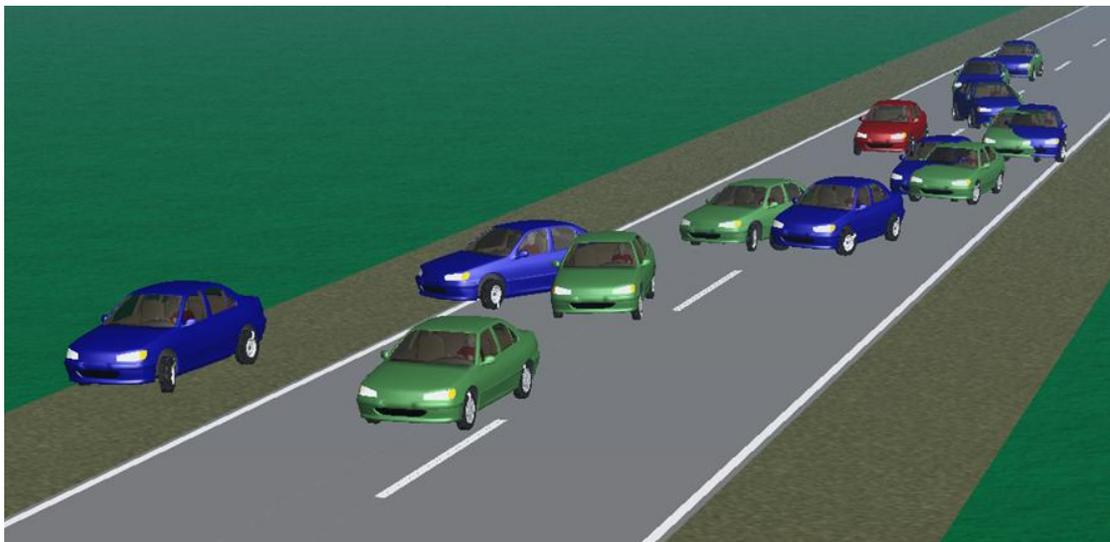


Figura 6.31: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa. Velocidad: 60 km/h



Figura 6.32: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 60 km/h

Las figuras 6.31 y 6.32 reflejan claramente que el vehículo con holguras en el sistema de dirección (vehículo azul), es mucho más inestable y no tiene capacidad dinámica para realizar la maniobra a esa velocidad sin salirse de la carretera. El modo en que se han modelizado las holguras en el sistema de dirección ha sido introduciendo 2 mm de holgura en la junta cardan de la columna de suspensión. No obstante, sería el equivalente a que se aflojara una de las tuercas de apriete de las barras del mecanismo de dirección o que se deteriorase algunas de las juntas de goma.

La holgura introducida muestra un claro empeoramiento del control direccional del vehículo debido a la pérdida de precisión en el movimiento y a la introducción de movimientos indeseados e inesperados en el vehículo.

Con el fin de ampliar la información obtenida en estas simulaciones, se incluyen las gráficas de aceleraciones laterales (figura 6.33) y trayectoria del centro de gravedad (figura 6.34).

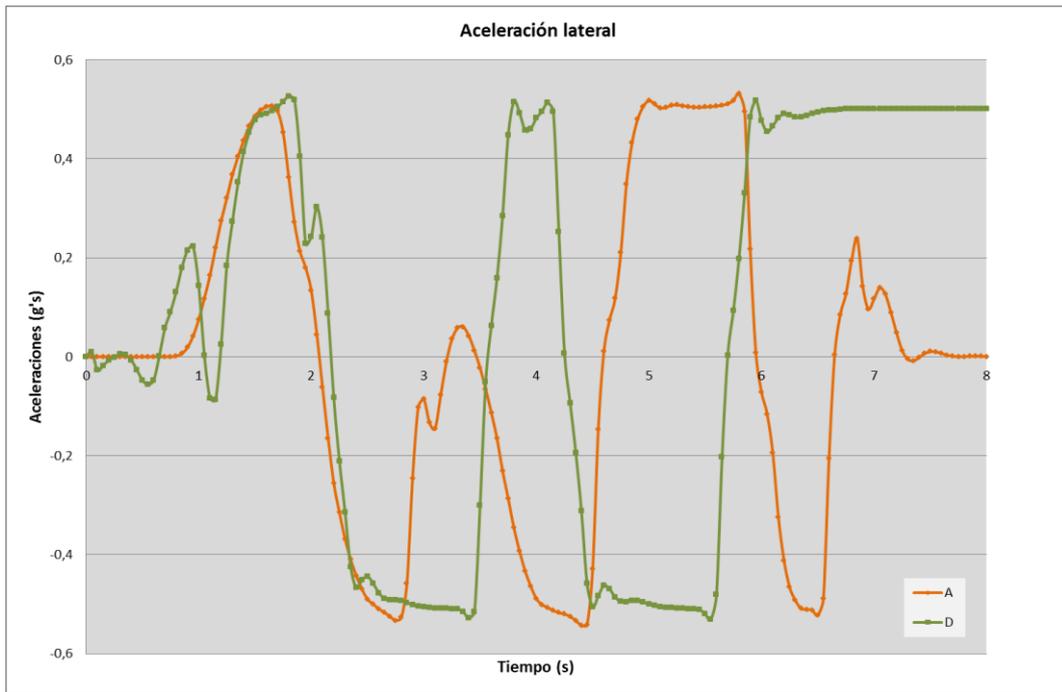


Figura 6.33: Aceleraciones laterales obtenidas en el centro de gravedad de cada vehículo

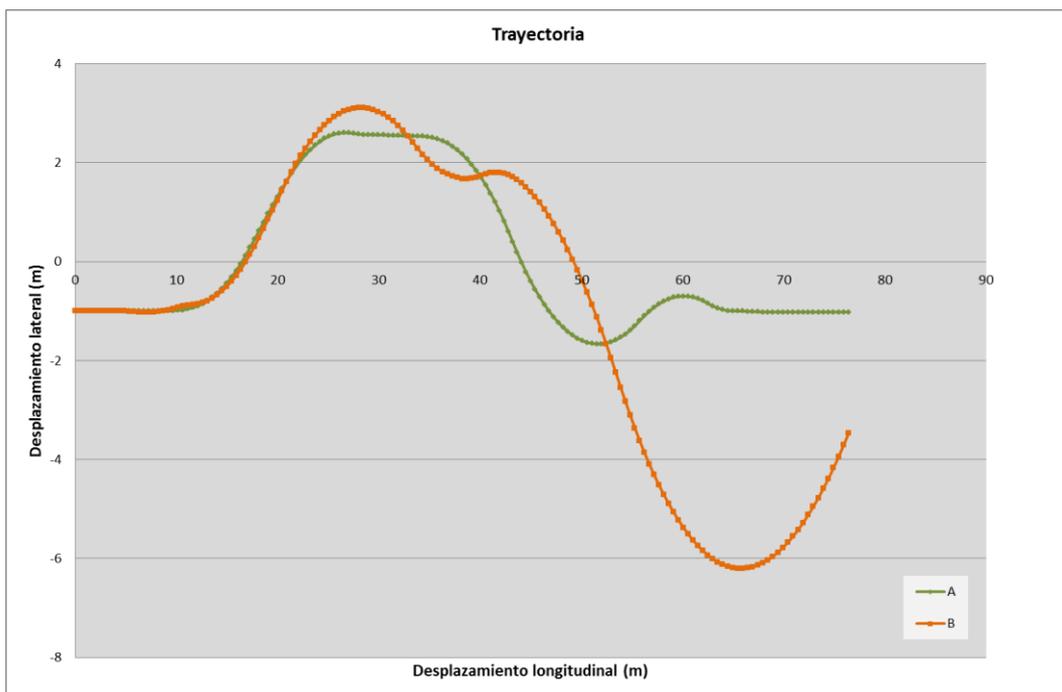


Figura 6.34: Trayectorias de los centros de gravedad de cada vehículo

### 6.2.2.2 Maniobra de esquiva realizada por un vehículo de pequeñas dimensiones con el sistema de dirección en buen estado y otro que presenta holguras en dicho sistema al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco

En este caso, se utiliza un vehículo de pequeño tamaño perteneciente al segmento A. Tal y como se documenta en el vídeo 6.12 del presente apartado, así como en la figura 6.35, el vehículo en buen estado (color verde) permite esquivar el obstáculo y volver al carril inicial a una velocidad de 65 km/h. La velocidad seleccionada permite efectuar la maniobra manteniendo en todo momento el control del vehículo y, por tanto, las condiciones de seguridad.



Figura 6.35: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 65 km/h

La figura 6.35 refleja claramente que el vehículo con holguras en el sistema de dirección (vehículo azul) es mucho más inestable y no tiene capacidad dinámica para realizar la maniobra a esa velocidad sin salirse de la carretera. Al igual que el caso anterior, la holgura introducida muestra un claro empeoramiento del control direccional del vehículo debido a la pérdida de precisión en el movimiento y a la introducción de movimientos indeseados e inesperados en él.

Para este caso se ha evitado la utilización del arcén por parte del vehículo en buen estado. Esto ha dado lugar a una reducción de velocidad próxima a 10km/h. Esto refleja con claridad la influencia de disponer de más espacio para realizar la misma maniobra, así como la necesidad de poner especial atención en la velocidad cuando se circula por carreteras estrechas o pavimentos deslizantes.

Con el fin de ampliar la información obtenida en estas simulaciones, se incluye la gráfica de la trayectoria del centro de gravedad (figura 6.36). Se observa que la trayectoria en este caso es algo más suave y se controla mejor el vehículo a pesar del fallo mecánico. Asimismo, se comprueba que el vehículo de pequeñas dimensiones

con menor peso y altura de gravedad presenta menores inercias y un control más sencillo y preciso.

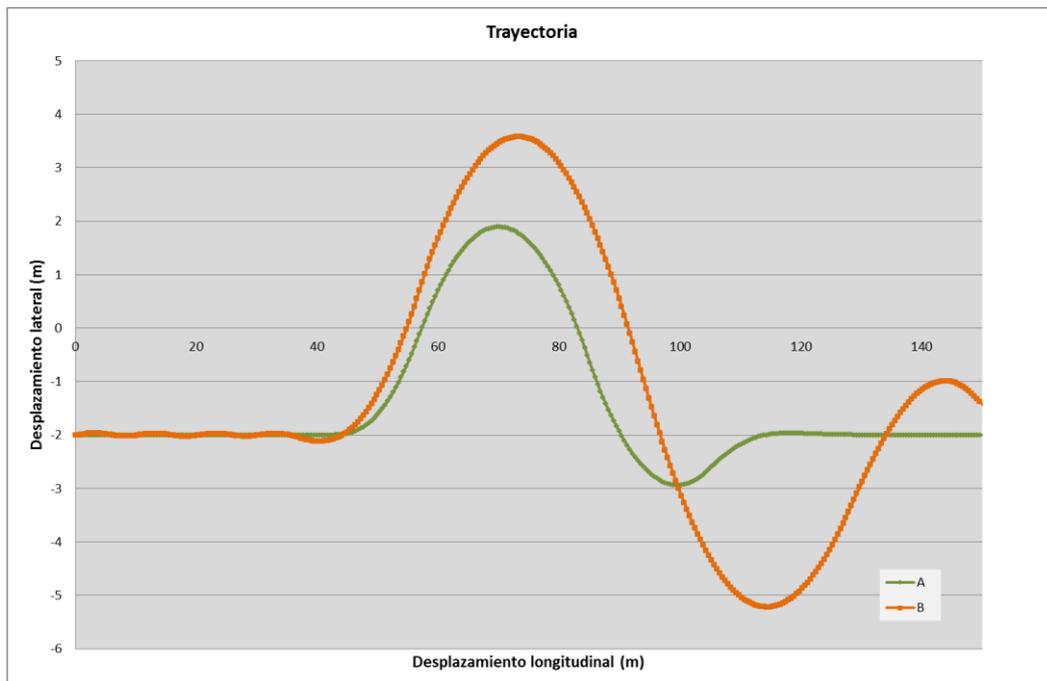


Figura 6.36: Trayectorias de los centros de gravedad de cada vehículo

### 6.2.2.3 Maniobra de esquiwa realizada por un vehículo todoterreno con el sistema de dirección en buen estado y otro que presenta holguras en dicho sistema al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco

En este caso, se utiliza un vehículo de gran tamaño y peso, un todoterreno de elevado centro de gravedad. De este modo se observa la influencia del mismo defecto en vehículos de diferente tamaño y masa. Tal y como se documenta en el vídeo 6.13 del presente apartado, así como en la figura 6.37, el vehículo en buen estado (color verde) permite esquivar el obstáculo y volver al carril inicial a una velocidad de 55 km/h. La velocidad seleccionada permite efectuar la maniobra manteniendo en todo momento el control del vehículo y, por tanto, las condiciones de seguridad.

La figura 6.37 refleja claramente que el vehículo con holguras en el sistema de dirección (vehículo azul) es mucho más inestable y no tiene capacidad dinámica para realizar la maniobra a esa velocidad sin salirse de la carretera. Al igual que el caso anterior, la holgura introducida muestra un claro empeoramiento del control direccional del vehículo debido a la pérdida de precisión en el movimiento y a la introducción de movimientos indeseados e inesperados en él.



Figura 6.37: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa. Velocidad: 55 km/h

Con el fin de ampliar la información obtenida en estas simulaciones, se incluye la gráfica de la trayectoria del centro de gravedad (figura 6.38). Nuevamente se comprueba la influencia negativa del aumento de peso y de la altura del centro de gravedad, agravándose la inestabilidad direccional.

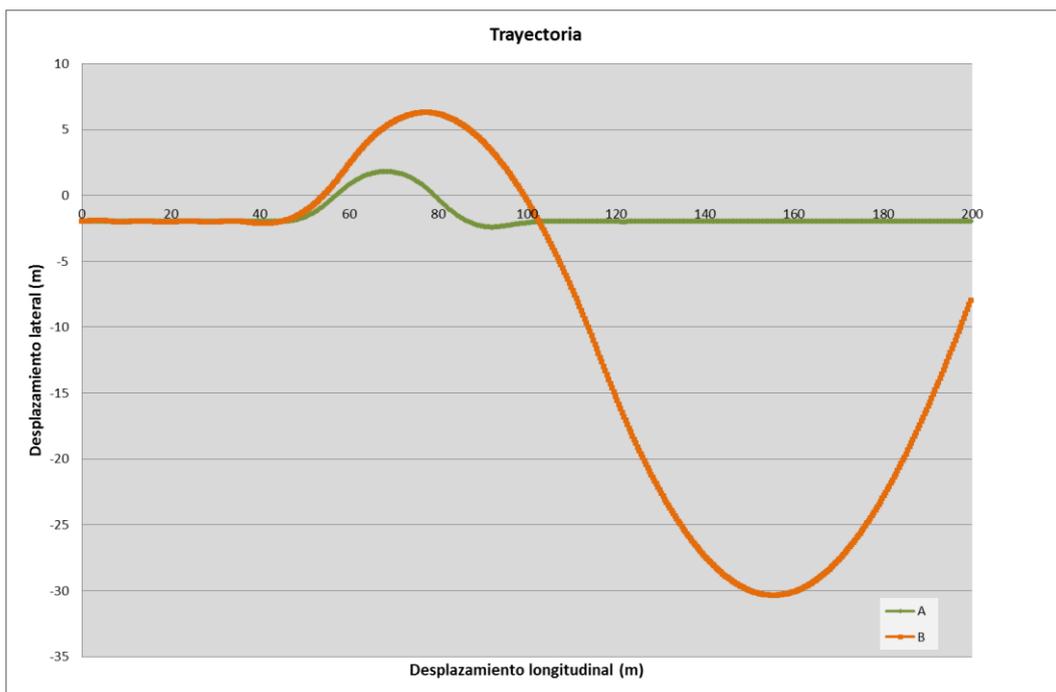


Figura 6.38: Trayectorias de los centros de gravedad de cada vehículo

### 6.2.3 Apartado 7.3. del Manual de Procedimiento: Caja de dirección

En este apartado el manual establece que:

- *Se calificará como defecto leve (DL) cuando se observe una fijación defectuosa de la caja de dirección al chasis. Dicho defecto será grave (DG) si faltase algún perno o algún punto de amarre estuviese roto.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe una resistencia al giro excesiva, pudiendo llegar a ser defecto muy grave (DMG) si se observa que la caja de dirección está agarrotada.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe una holgura excesiva de la caja de dirección.*
- *Se calificará como defecto leve (DL) cuando se observe un defecto de estado de la caja de dirección. Dicho defecto pasará a considerarse grave (DG) cuando se observe que existe rotura o pérdida de líquido con goteo continuo.*
- *Se calificará como defecto leve (DL) cuando se observe deterioro de los guardapolvos.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe rotura o inexistencia de los guardapolvos.*

Este tipo de defectos implican nuevamente imprecisiones y pérdida de estabilidad durante el accionamiento de la dirección, incluso pueden llevar a que no se pueda girar el volante (caso de agarrotamiento), con lo que no sería posible efectuar la maniobra de esquivas. Dado que la simulación de defectos arrojaría resultados muy similares a los ya expuestos para el apartado 7.2., se ha considerado adecuado elegir el caso de agarrotamiento para realizar las simulaciones, siendo este caso el más representativo del apartado 7.3.

Una vez más, para la realización de estas simulaciones se ha seleccionado una carretera de un único carril por sentido, tal y como se ha comentado, ya que esto implica tener que invadir el sentido contrario o la salida de la vía en cualquier maniobra de esquivas.

En este caso, se han utilizado diferentes vehículos para comparar su comportamiento. De este modo, se podrá comprobar la influencia de la masa del vehículo, de la altura de su centro de gravedad, etc. Los distintos vehículos circularán a la máxima velocidad que les permita superar la maniobra de esquivas sin pérdida de control, sirviendo de referencia para efectuar comparaciones con aquellos casos en

que se producen fallos en el sistema de dirección. Dicha velocidad máxima para la maniobra se establecerá para pavimento seco y en buen estado (coeficiente de fricción igual a 0.85).

### **6.2.3.1 Maniobra de esquiwa realizada por un vehículo con el sistema de dirección en buen estado y otro que presenta agarrotamiento en dicho sistema al aproximarse a un obstáculo que ocupa todo su carril sobre pavimento seco**

En este caso se utiliza un vehículo de tamaño medio que estaría en el límite establecido entre el segmento C y el segmento D, ya que son las dimensiones más habituales de los vehículos de tipo turismo pertenecientes al parque automovilístico español.

Tal y como se documenta en el vídeo 6.14 del presente apartado, así como en la figura 6.39, el vehículo en buen estado (color verde) permite esquivar el obstáculo y volver al carril inicial a una velocidad de 60 km/h. La velocidad seleccionada permite efectuar la maniobra manteniendo en todo momento el control del vehículo y, por tanto, las condiciones de seguridad.



*Figura 6.39: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiwa. Velocidad: 60 km/h*

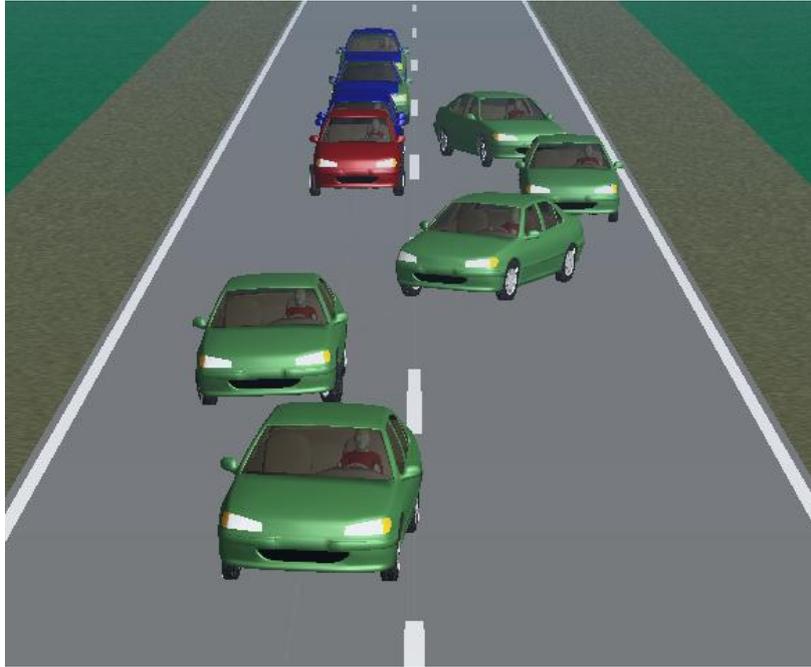


Figura 6.40: Trayectoria de los dos vehículos a lo largo de la maniobra de esquiva. Velocidad: 60 km/h

Las figuras 6.39 y 6.40 reflejan claramente que el vehículo con agarrotamiento en el sistema de dirección (vehículo azul) no puede girar, por lo que no puede esquivar el obstáculo. Esto podría suceder al intentar girar el volante o en cualquier posición intermedia del giro. No obstante, en cualquiera de estas circunstancias el resultado es el mismo ya que se pierde completamente el control direccional al producirse dicho agarrotamiento.

Atendiendo al tipo de fallo simulado, no se considera necesario incluir ninguna gráfica adicional, ya que se trata de un caso extremo en el que no se puede controlar direccionalmente el vehículo. Asimismo, tampoco aporta información adicional estudiar diferentes tipos de vehículo.

#### 6.2.4 Apartado 7.4. del Manual de Procedimiento: Timonería y rótulas

En este apartado el manual establece que:

- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe defecto de estado de las bielas y/o barras y/o el pivote.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observen holguras excesivas en rótulas, articulaciones y, en su caso, el pivote.*
- *Se calificará como defecto leve (DL) cuando se observe algún guardapolvos deteriorado.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe inexistencia o rotura de algún guardapolvos.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe defecto de estado y/o fijación del amortiguador, en su caso.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observen fisuras o existencia de soldaduras de reparación en bielas y/o barras de dirección.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe fijación de rótulas y, en su caso, del pivote, defectuosa.*

Este caso implica problemas de estabilidad e imprecisión en la dirección similares a los descritos en el apartado 7.2., por lo que no se ha considerado adecuado realizar ninguna simulación adicional.

### 6.2.5 Apartado 7.5. del Manual de Procedimiento: Servodirección

En este apartado el manual establece que:

- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe mal funcionamiento del sistema.*
- *Se calificará como defecto leve (DL) cuando se observe existencia de fugas sin goteo. Dicho defecto pasará a considerarse grave (DG) cuando se observe que la fuga es con goteo continuo.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe que la fijación de la bomba y/o canalizaciones es defectuosa.*
- *Se calificará como defecto leve (DL) cuando se observen defectos de estado de algún elemento que no impida el funcionamiento del sistema. Dicho defecto pasará a considerarse grave (DG) cuando se observe que el defecto de estado impide el funcionamiento.*
- *Se calificará como defecto leve (DL) cuando se observe correa destensada.*
- *Se calificará como defecto leve (DL) cuando se observe nivel de fluido insuficiente.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe que el indicador de funcionamiento del EPS permanece encendido estando el motor en marcha.*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe que no existe correspondencia entre el ángulo de volante y el de las ruedas directrices (vehículos equipados con EPS).*
- *Se calificará como defecto grave (DG) cuando se observe que la asistencia de la dirección no funciona (vehículos equipados con EPS).*

Este caso, nuevamente, implica problemas de estabilidad e imprecisión en la dirección similares a los descritos en el apartado 7.2. Asimismo, puede dar lugar a agarrotamiento de la dirección, con la consiguiente imposibilidad de girar. Esta circunstancia también es simulada en el apartado 7.3., por lo que no se ha considerado adecuado realizar ninguna simulación adicional.

## 7. Conclusiones

Con toda esta información, resulta más sencillo comparar el modo en que se modifica el comportamiento del vehículo al presentar determinados fallos en el sistema de frenado o en el sistema de dirección, pudiendo establecer relaciones concretas entre trayectorias y distancias de frenado, para el caso del análisis de frenos, y relaciones concretas entre trayectorias, para el análisis de la dirección.

Comparar el modo en que se modifica el comportamiento del vehículo al presentar determinados fallos en el sistema de frenado o en el sistema de dirección, resulta fundamental para concienciar a la sociedad de la importancia que tiene mantener en buen estado los diferentes sistemas del vehículo, y en concreto los analizados en este proyecto, y para poner de manifiesto la necesidad de realizar inspecciones periódicas en las instalaciones de ITV. Para tal fin, la posibilidad de mostrar de un modo claro y detallado las consecuencias de los fallos en estos sistemas supone una vía de concienciación particularmente eficaz. De este modo, simulando o reconstruyendo las situaciones que se dan en un vehículo que plantea problemas en una inspección técnica, informa a los diferentes agentes involucrados de la peligrosidad real que supone un vehículo rechazado en una inspección periódica.

### 7.1 Conclusiones obtenidas sobre el estudio del sistema de frenado en vehículos

A partir de la información mostrada en los anteriores apartados se pueden inferir las siguientes conclusiones:

- El caso más desfavorable es el primero de los analizados, cuando el vehículo tiene una rueda inoperante. Se puede observar que cualquier otro fallo relacionado con la eficacia, el desequilibrio, o con la fluctuación en las fuerzas de frenado, muestra consecuencias semejantes, generalmente de menor gravedad. Esto ha hecho particularmente interesante el análisis de dicho fallo, motivo por el cual se han realizado múltiples simulaciones.
- Se observa que en los casos de desequilibrio y fluctuación de las fuerzas de frenado el comportamiento de un vehículo es exactamente igual al de los casos en que se tiene una rueda inoperante, pero con menor gravedad. Asimismo, cuando los valores estudiados están en el rango caracterizado como Defecto Leve, su influencia en la seguridad es relativamente pequeña, no entrañando excesivo riesgo para los ocupantes del vehículo. Sin embargo, claramente, los valores que dan lugar a Defecto Grave suponen un elevado riesgo para la seguridad.
- Del análisis de la eficacia de frenado se puede inferir que al disminuir el valor de la misma se ve aumentada la distancia de frenado, resultando excesiva la distancia

de frenado cuando la eficacia es inferior al 50%, límite que determina el Defecto Grave. Así pues, si bien es cierto que el aumento en la distancia de frenado siempre supone una reducción en la seguridad del vehículo, cuando el vehículo presenta un Defecto Grave dicha reducción resulta ser muy peligrosa.

- La influencia de la velocidad es muy importante, haciendo que diferentes fallos puedan presentar consecuencias semejantes. Se ha podido comprobar, por ejemplo, que un determinado fallo por desequilibrio a cierta velocidad, presenta una trayectoria semejante al caso en que se tiene una rueda inoperante y se circula a una velocidad inferior. Es decir, se puede comprobar que la velocidad es una variable de gran influencia que agrava las consecuencias de cualquiera de los fallos estudiados.
- La adherencia es también una importante variable de influencia, agravando las consecuencias de un fallo en el sistema de frenado.
- El tamaño del vehículo no ha mostrado una influencia significativa en las consecuencias generadas por los fallos analizados, si bien es cierto que al aumentar la masa y la altura del centro de gravedad se pueden ver trayectorias algo superiores a las de vehículos de menores dimensiones.

## **7.2 Conclusiones obtenidas sobre el estudio del sistema de dirección en vehículos**

A partir de la información mostrada en los anteriores apartados se pueden inferir las siguientes conclusiones:

- Los defectos especificados en el manual de ITV pueden ocasionar inestabilidad en el giro, reducción de las capacidades dinámicas del vehículo e incluso la pérdida del control direccional. Esto lleva a situaciones de riesgo en todos los casos, por lo que resulta de interés general que los aspectos mencionados se revisen periódicamente para mejorar la seguridad en nuestras carreteras.
- Los problemas de desalineación reducen la capacidad adherente y, por tanto, dinámica del vehículo. Esto se manifiesta de un modo más acusado cuanto mayor sea el tamaño del vehículo (mayor altura del centro de gravedad y masa).
- Los problemas en el sistema direccional de un vehículo se manifiestan de un modo amplificado en caso de incorporar un remolque. Aunque dicho remolque se encuentre en perfecto estado, las deficiencias en el vehículo remolcador supondrán una disminución de la seguridad en el conjunto vehículo-remolque.
- Se comprueba que los defectos en el sistema de dirección se manifiestan en mayor medida al disminuir el coeficiente de adherencia. Esto hace que sobre



pavimento mojado o cuando los neumáticos están en mal estado, los defectos en el sistema de dirección resultan ser mucho más peligrosos.

- En último término, fallos importantes en el sistema de dirección, como puede ser el agarrotamiento, suponen un peligro inadmisibile en nuestras carreteras, por lo que resulta imprescindible comprobar con especial atención este tipo de fallos en un sistema fundamental para la seguridad, como es el sistema de dirección.

## 8. DESARROLLOS FUTUROS

Para mejorar el presente estudio, se plantean los siguientes desarrollos futuros, con vistas a asegurar la concienciación de las personas sobre las consecuencias que conlleva tener un vehículo en condiciones inadecuadas para la seguridad según el Manual de ITV.

Centrándonos en el apartado 8 del Manual de ITV a la presentación de este proyecto, se propone realizar una serie de simulaciones que aclararían significativamente las consecuencias de ciertos fallos: en ejes (apartado 8.1.), ruedas (apartado 8.2.), neumáticos (apartado 8.3.) y suspensión (apartado 8.4.). El objetivo principal sería la simulación de fallos que supongan un defecto grave o muy grave en una inspección de ITV.

También se ha considerado importante hacer hincapié en el apartado 6 del Manual de ITV, referente a frenos, con la posible realización de simulaciones de los fenómenos de alabeo en discos de freno y ovalidad en tambores.

El alabeo en discos de freno, y la ovalidad en tambores, será una deformación permanente de los mismos que genera una fuerza oscilante durante el proceso de frenado. Este fenómeno puede dar lugar a vibraciones e ineficacias durante el frenado, pudiendo llegar a generar inestabilidad direccional. Por todo esto, se considera necesaria la representación de manera visual de las posibles consecuencias de conducir un vehículo con alabeo u ovalidad en su sistema de frenado.

Por último, sería interesante realizar un estudio sociológico para ver el impacto que genera tanto en los usuarios de vehículos como en los técnicos de ITV, la visualización de vídeos simulando fallos en vehículos por unas condiciones incorrectas estos.

## 9. ANEXO I

# MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES I.T.V.

### 6 - Frenos

#### 6.1 - Freno de servicio

##### a.- ESPECIFICACIONES GENERALES

El frenado de servicio debe permitir controlar el movimiento del vehículo y detenerlo de una forma segura, rápida y eficaz, cualesquiera que sean las condiciones de velocidad y de carga y para cualquier pendiente ascendente o descendente en la que el vehículo se encuentre. Su acción debe ser regulable.

El conductor deberá poder conseguir ese frenado desde su asiento, sin separar las manos del órgano de dirección.

El dispositivo de frenado de servicio, deberá actuar sobre todas las ruedas del vehículo.

- **Rendimiento:**

Un dispositivo de frenado tiene por función disminuir progresivamente la velocidad de un vehículo en marcha, hacer que se detenga o mantenerlo inmóvil si se encuentra ya detenido. Dentro de su campo normal de funcionamiento, y sea en el momento de accionar o en el de soltar el freno, el frenado proporcionado debe ser regulable, entendiéndose por tal aquel en cuyo transcurso:

- El conductor pueda en todo momento aumentar o disminuir la intensidad de frenado actuando sobre el mando.
- La fuerza de frenado actúe en el mismo sentido que la acción sobre el mando.
- Sea posible efectuar fácilmente una regulación suficientemente precisa de la intensidad de frenado.

Se entiende por desequilibrio la diferencia de esfuerzos de frenado entre las ruedas de un mismo eje. La medida del desequilibrio se efectuará, por consiguiente, por cada eje y se hallará como porcentaje de la rueda que frena menos respecto a la que frena más. Se tomarán para cada rueda como esfuerzo de frenado el valor máximo que indique el frenómetro.

Sean  $F_d$  y  $F_i$  los valores máximos de las fuerzas de frenado de las ruedas derecha e izquierda de un eje, siendo  $F_d$  la mayor de ambas en un momento dado. El desequilibrio  $D$ , en dicho momento, vendrá expresado por:

$$D = \frac{100 (F_d - F_i)}{F_d}$$

Se considera el desequilibrio máximo registrado en el momento de la máxima frenada.

Sólo se medirá el desequilibrio en el caso de que la mayor de ambas fuerzas,  $F_d$  o  $F_i$ , sea igual o superior a 600 N en vehículos ligeros o 2.400 N en vehículos pesados.

De igual forma se define la *fluctuación de las fuerzas de frenado* ( $d$ ) en un tambor o disco de freno, siendo en este caso  $F_{max}$  y  $F_{min}$  las fuerzas de frenado máxima y mínima registradas en una rueda, manteniendo una fuerza constante sobre el pedal de mando, pero suficiente para apreciar dicha deformación:

$$d = \frac{100 (F_{max} - F_{min})}{F_{max}}$$

Sólo se medirá la fluctuación de fuerzas de frenada en el caso de que  $F_{max}$  sea igual o superior a 600 N en vehículos ligeros o 2.400 N en vehículos pesados.

Tanto el desequilibrio como la *fluctuación de las fuerzas de frenado* producen sobre el vehículo un par de fuerzas que tiende a desestabilizar el vehículo, desviándolo de su trayectoria.

- **Eficacia:**

Se entiende por eficacia ( $E$ ) la relación de las fuerzas de frenado respecto a la masa máxima autorizada (M.M.A.) o, si se trata de semirremolques, a la suma de las cargas por eje autorizadas.

Se deducirá por la fórmula:

$$E = \frac{F}{M.M.A. \cdot g} 100$$

$E$  = Valor de la eficacia en %.

$F$  = Suma de todas fuerzas de frenado en Newton (suma de las lecturas del frenómetro para todas las ruedas en Newton)

M.M.A.= Masa Máxima Autorizada del vehículo en kg (si se trata de semirremolques, suma de las masas máximas autorizadas por eje en kg)

$g$  = aceleración de la gravedad (aproximada a  $9.8 \text{ m/s}^2$ )

En el caso de vehículos de  $MMA \leq 3.500 \text{ kg}$ , se referenciará la eficacia al valor de la masa del vehículo en orden de marcha.

Este dato de eficacia vendrá dado en tanto por ciento y es un valor indicativo del estado y actuación global del sistema de frenos del vehículo.

Como norma general, los vehículos con  $MMA > 3.500 \text{ kg}$  se inspeccionarán en un estado de carga tal que permita alcanzar los valores de eficacia mínimos definidos en el método. La carga del vehículo no podrá suponer peligros o molestias para el personal o usuarios de la estación.

Las estaciones de inspección de vehículos que dispongan de métodos de simulación de carga podrán aplicar dichos métodos en función de las características técnicas del vehículo.

Las estaciones que dispongan de los medios adecuados podrán someter a los vehículos de más de  $3.500 \text{ kg}$  de MMA con sistema de frenado puramente neumático a la prueba de frenado según el método de extrapolación descrito en la norma ISO 21069-1:2004 o método equivalente. Esta opción sólo se aplicará a vehículos con conexiones de prueba para la medida de presiones de frenado normalizadas, accesibles y operativas

## **b.- MÉTODO**

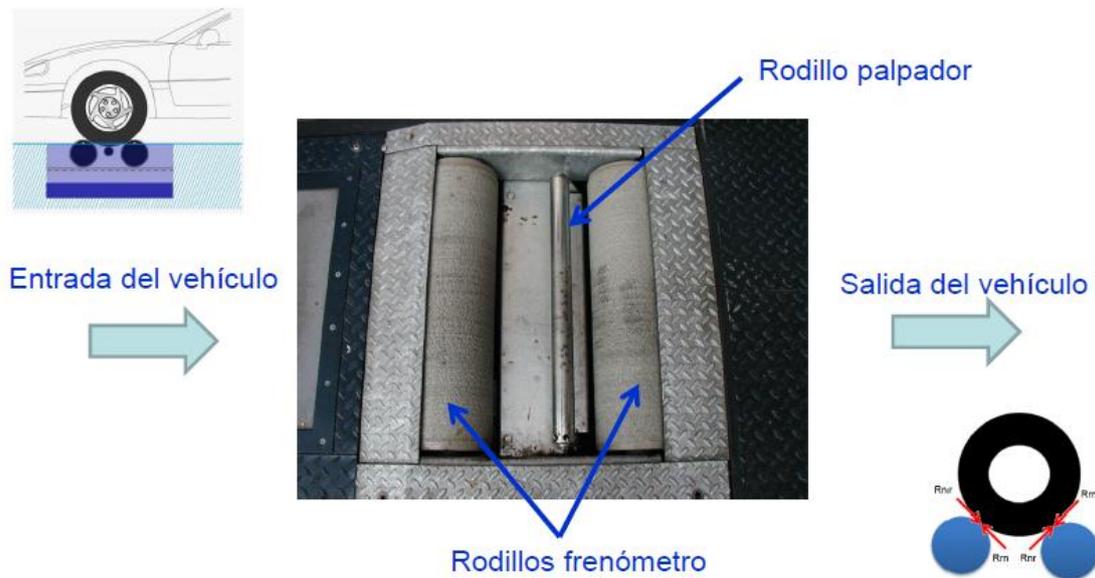
### **Inspección mecanizada**

Esta inspección se hará por medio de un frenómetro o dispositivo adecuado. Se verificará en el mismo cada uno de los ejes del vehículo, comprobando:

- El frenado de las ruedas.
- El desequilibrio de las fuerzas de frenado entre las ruedas de un mismo eje.
- La progresión no gradual del frenado (agarre).
- El retraso anormal en el funcionamiento de los frenos en cualquiera de las ruedas.
- La fluctuación de las fuerzas de frenado de una rueda. Esta medida se realizará manteniendo la fuerza sobre el pedal aproximadamente constante durante un intervalo de tiempo de entre 4 y 8 segundos, cuando la fuerza en rueda señalada por el frenómetro esté en el entorno de  $800 \text{ N}$  en vehículos ligeros y  $2.500 \text{ N}$  en

vehículos pesados (si durante el ensayo no fuese posible alcanzar este valor de frenado en rueda, la interpretación de los resultados quedará a criterio del inspector).

- La existencia de fuerzas de frenado en ausencia de acción sobre el mando del freno.
- La eficacia.



Al utilizar el frenómetro para la realización de esta inspección, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- No se realizará la prueba de frenado cuando alguno de los neumáticos presente un grado de deformación por desinflado apreciable visualmente.
- En algunos casos de vehículos dotados de sistema antibloqueo, se puede encender el testigo de avería del sistema al entrar en funcionamiento los rodillos del frenómetro. Para corregir este problema una vez que el vehículo haya salido del frenómetro, se parará el motor y se efectuará una nueva puesta en marcha del motor, con lo cual el testigo se apagará tras el chequeo del sistema. En algunos casos habrá que realizar un pequeño recorrido para que éste se apague.
- En algunos vehículos dotados de sistema de control de tracción, para efectuar la prueba en el frenómetro será necesario parar el motor y con la llave de contacto en la posición stop, proceder normalmente. Si el vehículo posee un dispositivo que deje fuera de servicio el sistema, se procederá a su desconexión antes de posicionarlo en el frenómetro.

- Los vehículos con sistema de tracción integral mecánico, que no puedan ser desacoplados manualmente, tendrán que ser inspeccionados teniendo en cuenta las características que presenta dicho sistema.

En aquellos vehículos tractores en los que no es posible la comprobación mediante frenómetro, sólo se comprobará la eficacia de frenado mediante decelerómetro en prueba en pista u otros dispositivos adecuados.

Mediante el método de inspección mecanizada por medio de un frenómetro o dispositivo adecuado, se verificará en el mismo si la relación de las fuerzas de frenado respecto a la masa máxima autorizada o, si se trata de semirremolques, a la suma de las cargas por eje autorizadas, siempre que sea posible el cálculo, es superior a los valores siguientes:

Valores de eficacia mínimos de frenado según la Directiva 2010/48/UE:

Vehículos matriculados después del 1 de enero de 2012:

- *Categoría N1, N2; N3; M2 y M3: 50%*
- *Categoría M1: 58%*
- *Categoría O3 y O4:*
- *Semi-remolques: 45%*
- *Remolques: 50%*

Vehículos matriculados antes del 1 de enero de 2012:

- *Categoría N1, M2 y M3: 50%*
- *Categoría N2 y N3: 45%*
- *Categoría M1: 50%*
- *Categoría O3 y O4: 43%*
- *Taxis y ambulancias: 50%*

Cuando se emplee decelerómetro con unidades en  $m/s^2$ , para determinar la eficacia (E) a partir de la deceleración (a) proporcionada por el instrumento empleando la siguiente fórmula:  $E = a/g \cdot 100$ .

Siendo: E = valor de la eficacia en %; a = deceleración medida en  $m/s^2$ ; g = aceleración de la gravedad (aproximada a  $9,8 m/s^2$ ).

## Inspección visual

Mediante inspección visual se comprobará:

En todos los vehículos se comprobarán los elementos visibles del sistema de frenado de servicio no incluidos en otros apartados, para detectar:

- Daños o corrosión que afecten al sistema de freno de servicio,
- Pérdidas de aire o líquidos,
- Riesgo de desprendimiento,
- Modificaciones o reparaciones inadecuadas.

En los vehículos que dispongan de sistema de frenado EBS:

- Deficiencias de funcionamiento en el indicador de averías del sistema,
- Eventuales averías detectadas por el indicador de averías del sistema.

Si en la prueba de eficacia de frenado se utilizan las conexiones de prueba neumática, se comprobará:

- Si están dañadas, de manera que se impida su utilización,
- Si existen fugas.

### c.- REGLAMENTACIÓN DE REFERENCIA

General: Reglamento General de Vehículos, Art. 12.8 y Anexo VIII.

Particular: Directiva 71/320/CEE.

Reglamento CEPE/ONU 13 R.

ISO 21069-1:2004



**d.- INTERPRETACIÓN DE DEFECTOS**

	Calificación		
	DL	DG	DMG
1.- Frenado inoperante en una o más ruedas .....		X	(X)
2.- Desequilibrio de las fuerzas de frenado entre las ruedas de un mismo eje, superior al 30% .....		X	(X)
3.- Desequilibrio de las fuerzas de frenado entre las ruedas de un mismo eje, superior al 20% e inferior al 30% .....	X		
4.- Progresión no gradual del freno (agarre) .....		X	(X)
5.- Retraso anormal en el funcionamiento de los frenos en cualquiera de las ruedas .....		X	
6.- Fluctuación superior al 55% de las fuerzas de frenado de una rueda .....		X	
7.- Fluctuación superior al 30% e inferior al 55% de las fuerzas de frenado de una rueda.....	X		
8.- Existencia de fuerzas de frenado en ausencia de acción sobre el mando del freno.....		X	
16.- El vehículo no alcanza la eficacia requerida .....		X	
17.- Elementos del sistema de frenado de servicio no incluidos en otros apartados, dañados, corroídos, con fugas o riesgo de desprendimiento.....		X	
18.- El indicador de averías del EBS no funciona adecuadamente .....		X	
19.- El indicador de averías del EBS indica avería.....		X	
20.- En su caso, conexiones de prueba dañadas de manera que no se puedan utilizar.....		X	
21.- Conexiones de prueba con fugas.....		X	
22.- El vehículo no alcanza la mitad de la eficacia mínima requerida para el freno de servicio .....		X	X
23.- Condiciones inadecuadas para el ensayo .....		X	

## 6.5 - Dispositivo antibloqueo

### a.- ESPECIFICACIONES GENERALES

Los vehículos indicados a continuación estarán equipados con dispositivos antibloqueo:

CATEGORÍA	Fecha de Matriculación
M <sub>3</sub> > 12 t interurbano y de línea (1)	01/01/1993
N <sub>3</sub> > 16 t autorizados a remolcar O <sub>4</sub> (1)	01/01/1993
O <sub>4</sub> (3)	01/01/1993
O <sub>3</sub> (4)	31/03/2002
Todo M distinto de M <sub>1</sub> (2)	31/03/2002
Todo N distinto de N <sub>1</sub> (2)	31/03/2002

(1) Art. 2.2.1.22. de Directiva 88/194/CEE

(2) Art. 2.2.1.22. de Directiva 98/12/CE

(3) Art. 2.2.2.13. de Directiva 88/194/CEE

(4) Art 2.2.2.13. Corrección errores de Directiva 98/12/CE

Por dispositivo de frenado antibloqueo se entiende el elemento del dispositivo de frenado que regula automáticamente el grado de deslizamiento en el sentido de rotación de la rueda o ruedas, en una o varias ruedas durante el frenado del vehículo.

El conductor deberá ser advertido de cualquier fallo que se produzca en el dispositivo antibloqueo mediante una señal óptica específica. En algunos casos en los vehículos dotados de dispositivo antibloqueo se puede encender el testigo de avería del sistema al entrar en funcionamiento los rodillos del frenómetro. Para corregir este problema una vez que el vehículo haya salido del frenómetro, se parará el motor y se efectuará una nueva puesta en marcha del motor, con lo cual el testigo se apagará tras el chequeo del sistema. En algunos casos habrá que realizar un pequeño recorrido, con velocidad superior a 10 km/h, para que ésta se apague.

En los vehículos en los que sea obligatoria la instalación del dispositivo de frenado antibloqueo, no están autorizados los dispositivos manuales que desconecten o cambien el modo de control del dispositivo de frenado antibloqueo, excepto en los vehículos todo terreno de las categorías N2 o N3.

Adicionalmente al dispositivo antibloqueo de frenado (ABS), algunos vehículos pueden estar equipados con sistemas electrónicos de control de estabilidad con denominación diversa en función del fabricante: ESC, ESP, VCA,...

## b.- MÉTODO

Mediante inspección visual se comprobará:

- La existencia del dispositivo antibloqueo de frenado.
- Si la señal óptica de aviso de fallo en el dispositivo antibloqueo (ESP; ESC; VCA) de frenado indica fallo en el sistema.
- La función de la señal óptica: por ejemplo, poniendo la llave de contacto en posición de marcha, el testigo debe encenderse y apagarse tras un periodo corto de tiempo durante el cual se chequea el sistema.
- Que el testigo de funcionamiento del sistema de control de estabilidad del vehículo no señala ninguna avería del sistema (esta comprobación deberá realizarse antes de que el vehículo se haya sometido a la prueba de frenado en el frenómetro o de control de funcionamiento de velocímetros, porque estas pruebas pueden generar avisos de error del sistema)
- Cuando sea posible, el estado de los componentes de los dispositivos anteriores (antibloqueo de frenado y control de estabilidad)

## c.- REGLAMENTACIÓN DE REFERENCIA

General: Reglamento General de Vehículos Art. 12.8 y Anexo VIII.

Particular: Directiva 71/320/CEE.

Reglamento CEPE/ONU 13 R

## d.- INTERPRETACIÓN DE DEFECTOS

	Calificación		
	DL	DG	DMG
1.- Inexistencia del dispositivo antibloqueo en vehículos obligados a llevarlo .....		X	
2.- Señal óptica de aviso de fallo del ABS encendida .....		X	
En vehículos no obligados a llevarlo .....	X		
3.- Señal óptica de aviso de fallo no funciona.....		X	
En vehículos no obligados a llevarlo .....	X		
4.- Indicación de fallo en el sistema de control de estabilidad (ESC, ESP, VCA) .....	X		
5.- Defectos de estado que impidan su función .....		X	

## 10. ANEXO II

# MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES I.T.V.

### 7 - Dirección

#### 7.1 - Desviación de ruedas

##### a.- ESPECIFICACIONES GENERALES

Todo vehículo a motor debe estar provisto de un mecanismo adecuado que permita al conductor mantener la dirección del vehículo y modificarla con facilidad, rapidez y seguridad.

##### b.- MÉTODO

Para realizar esta inspección se utilizará un alineador al paso o dispositivo adecuado.

El vehículo deberá pasar alineado por la placa, circulando a marcha lenta y se comprobará la desalineación de las ruedas del eje o de los ejes directrices.

Esta inspección deberá ser complementada con una inspección visual en foso o elevador, comprobándose desgastes irregulares en los neumáticos y el estado general de los órganos de dirección.



Figura.....: Placa para la inspección de la dirección

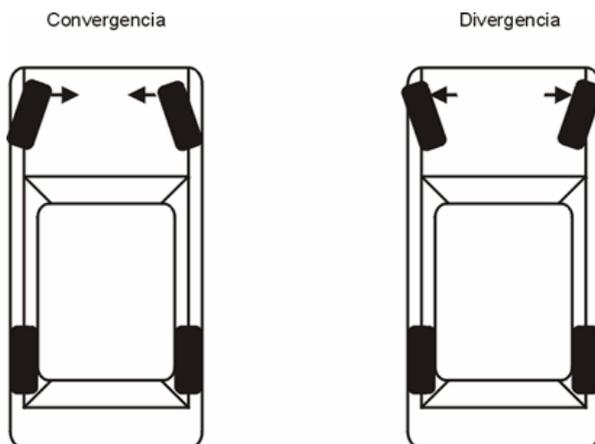


Figura.....: Posibles desviaciones de las ruedas

**c.- REGLAMENTACIÓN APLICABLE**

General: Reglamento General de Vehículos, Art. 11.5

Particular: Ninguna.

**d.- INTERPRETACIÓN DE DEFECTOS**

- 1.- El vehículo presenta desalineación superior a 10 m/km en alguno de sus ejes directrices y se aprecia defecto de estado en la inspección en foso.....

Calificación		
DL	DG	DMG
	X	

## 7.2 - Volante y columna de dirección

### a.- ESPECIFICACIONES GENERALES

Todo vehículo a motor debe estar provisto de un mecanismo adecuado que permita al conductor mantener la dirección del vehículo y modificarla con facilidad, rapidez y seguridad.

Los remolques estarán dotados de un dispositivo que obligue a sus ruedas a seguir una trayectoria análoga a la del vehículo tractor.

### b.- MÉTODO

Mediante inspección visual se comprobará, en foso o elevador, con el vehículo apoyado normalmente sobre sus ruedas y girando la dirección a ambos lados:

- La fijación del volante a la columna de la dirección (no debe existir movimiento relativo entre ambos)
- La ausencia de juego en la columna de la dirección.
- Las holguras o posibles fisuras de las juntas cardan en los diferentes tramos de la columna de la dirección y en los flectores.
- El recorrido libre del volante (movimiento de volante sin orientación de ruedas)
- El estado general, incluyendo reparaciones o modificaciones defectuosas.
- La fijación de la caja de dirección.
- La existencia y estado de los topes de dirección.

### c.- REGLAMENTACIÓN DE REFERENCIA

General: Reglamento General de Vehículos Art.11. 5, 11.8 y 13.2.

Particular: Directiva 70/311/CEE

Reglamento CEPE/ONU 79 R.



**d.- INTERPRETACIÓN DE DEFECTOS**

	Calificación		
	DL	DG	DMG
1.- Fijación defectuosa del volante a la columna y/o de la columna a la caja o cremallera .....		X	
2.- Juego excesivo en la columna de dirección .....		X	
3.- Holgura excesiva o fisura en las juntas cardan o en los flectores .....		X	
4.- Recorrido libre del volante excesivo .....		X	
5.- Defectos de estado .....	X		
Reparaciones defectuosas, modificaciones inadecuadas o estructura resistente rota .....		X	
6.- Defectos de estado y/o inexistencia de los topes de dirección .....		X	

## **7.3 - Caja de dirección**

### **a.- ESPECIFICACIONES GENERALES**

La caja de dirección, así como los soportes de la misma, deberán estar adecuadamente sujetos y exentos de holguras y desperfectos que puedan producir el fallo del mecanismo.

De igual forma, los guardapolvos deberán presentar el estado de conservación adecuado.

### **b.- MÉTODO**

El vehículo se situará en un foso o elevador, apoyado normalmente sobre sus ruedas. Moviendo el volante a derecha e izquierda, o en su caso mediante el detector de holguras, por inspección visual se comprobará:

- El estado de los anclajes, incluyendo que el sistema de dirección no ceda en los propios anclajes al chasis y la ausencia de elementos de anclaje.
- Las posibles resistencias al giro.
- Las posibles holguras.
- El estado de la caja de dirección.
- La existencia y estado de los guardapolvos.

### **c.- REGLAMENTACIÓN DE REFERENCIA**

General: Reglamento General de Vehículos Art.11.5.

Particular: Directiva 70/311/CEE

Reglamento CEPE/ONU 79 R.



**d.- INTERPRETACIÓN DE DEFECTOS**

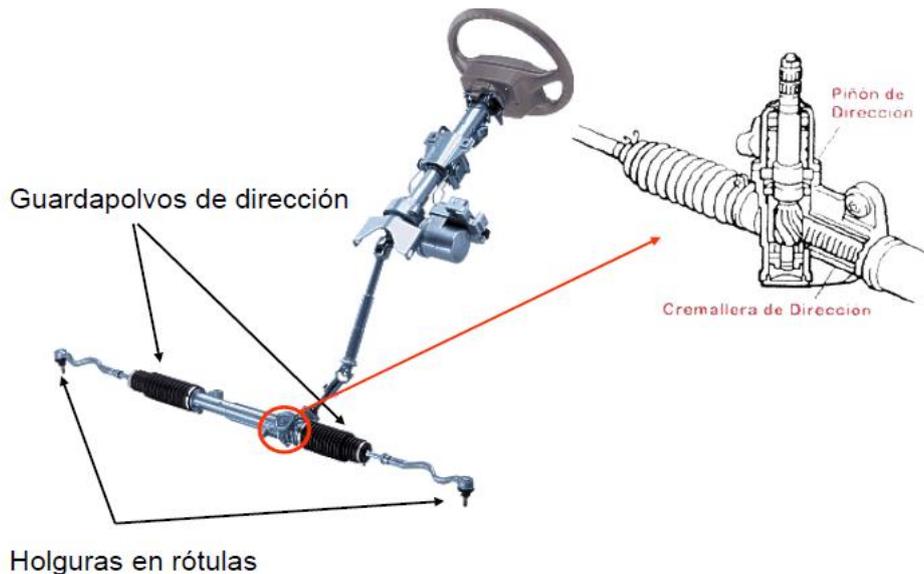
	Calificación		
	DL	DG	DMG
1.- Fijación defectuosa al chasis ..... Falta algún perno o algún punto de amarre está roto.....	X	X	
2.- Resistencia al giro excesiva ..... Agarrotada .....		X	X
3.- Holguras excesivas .....		X	
4.- Defectos de estado de la caja de dirección ..... Con roturas o pérdidas de líquido con goteo continuo .....	X	X	
5.- Guardapolvos deteriorados .....	X		
6.- Guardapolvos inexistentes o rotos .....		X	

## 7.4 - Timonería y rótulas

### a.- ESPECIFICACIONES GENERALES

Los elementos que componen la timonería del sistema de dirección, tales como bielas y barras, no deberán presentar grietas, torceduras, señales de calentamiento locales, soldaduras de reparación, etc.

Las rótulas y articulaciones de los elementos que componen la timonería del sistema de dirección deberán estar adecuadamente sujetas y exentas de holgura.



### b.- MÉTODO

El vehículo se situará en un foso o elevador, apoyado normalmente sobre sus ruedas. Moviendo el volante a derecha e izquierda, o en su caso mediante el detector de holguras, por inspección visual se comprobará:

- El estado de las bielas y barras de dirección y la posible existencia de soldaduras de reparación.
- En caso de remolque con eje directriz, el estado del pivote giratorio del eje del remolque.
- Las holguras de rótulas y articulaciones.
- La existencia y estado de los guardapolvos.
- En su caso, el estado general y fijación del amortiguador de la dirección.
- La fijación de rótulas.



### c.- REGLAMENTACIÓN DE REFERENCIA

General: Reglamento General de Vehículos Art.11.5.

Particular: Ninguna.

### d.- INTERPRETACIÓN DE DEFECTOS

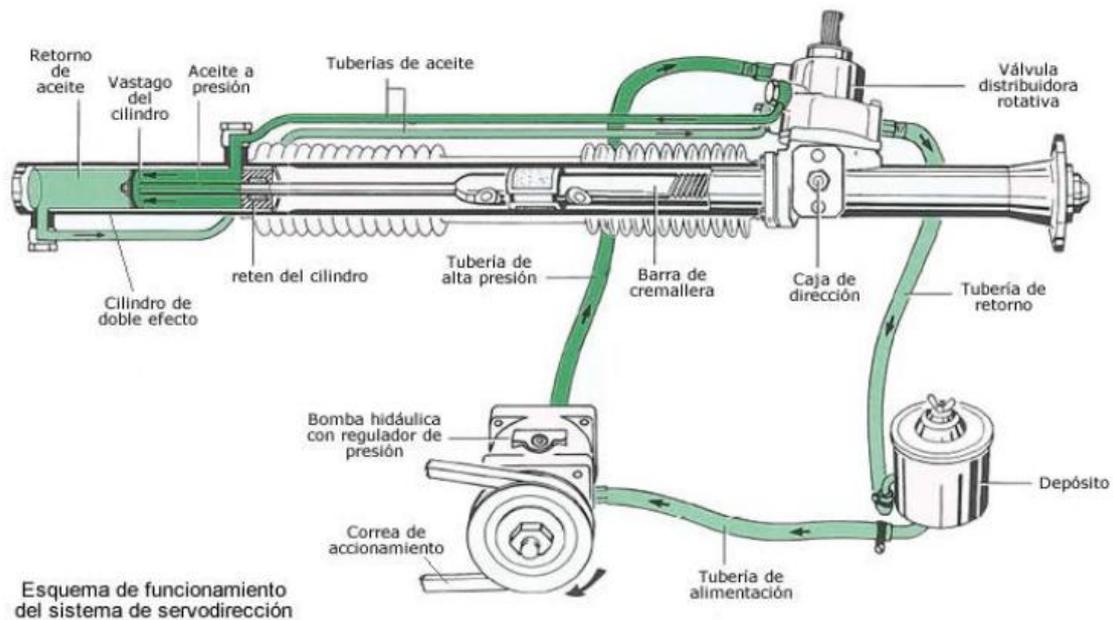
	Calificación		
	DL	DG	DMG
1.- Defectos de estado de las bielas y/o barras y/o el pivote .....		X	
2.- Holguras excesivas en rótulas, articulaciones y, en su caso, el pivote .....		X	
3.- Guardapolvos deteriorados .....	X		
4.- Guardapolvos inexistentes o rotos .....		X	
5.- Defectos de estado y/o fijación del amortiguador, en su caso .....		X	
6.- Fisuras o existencia de soldaduras de reparación en bielas y/o barras de dirección .....		X	
7.- Fijación de rótulas y, en su caso, del pivote, defectuosa .....		X	

## 7.5 - Servodirección

### a.- ESPECIFICACIONES GENERALES

La servodirección y su bomba deberán estar en correcto estado. Estos elementos no deberán presentar fugas de fluido hidráulico o defectos de funcionamiento que puedan dar lugar al fallo del sistema de dirección.

Las tuberías hidráulicas del sistema de dirección no deberán presentar aplastamientos, obstrucciones, grietas u otros defectos que puedan poner en peligro el funcionamiento del sistema de dirección.



### b.- MÉTODO

El vehículo se situará en un foso o elevador y se comprobará el funcionamiento del sistema.

Mediante inspección visual se comprobará:

- La existencia de fugas.
- La fijación de la bomba y canalizaciones.
- El estado de la bomba y canalizaciones y, en su caso, cilindros de ayuda.
- La tensión de la correa si la incorpora.
- El nivel de fluido, si es posible.

En el caso de vehículos dotados con dirección con asistencia eléctrica, controlada o no electrónicamente, cuando se enciende y se apaga el motor, se comprobará adicionalmente:

- Si el indicador de avería del sistema indica problemas.
- La correspondencia entre el ángulo del volante y el de las ruedas directrices.
- Accionando el volante, el funcionamiento de la asistencia.

**c.- REGLAMENTACIÓN DE REFERENCIA**

General: Reglamento General de Vehículos Art.11.5.

Particular: Ninguna.

**d.- INTERPRETACIÓN DE DEFECTOS**

	Calificación		
	DL	DG	DMG
1.- Mal funcionamiento del sistema .....		X	
2.- Existencia de fugas:	X		
Sin goteo .....		X	
Con goteo continuo .....			
3.- Fijación defectuosa de la bomba y/o canalizaciones .....		X	
4.- Defectos de estado de algún elemento:	X		
No impide funcionamiento .....			
Impide funcionamiento .....		X	
5.- Correa destensada .....	X		
6.- Nivel de fluido insuficiente .....	X		
7.- El indicador de funcionamiento del EPS permanece encendido estando el motor en marcha .....		X	
8.- No correspondencia entre el ángulo de volante y el de las ruedas directrices (vehículos equipados con EPS) .....		X	
9.- La asistencia de la dirección no funciona (vehículos equipados con EPS).....		X	

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Manual de Procedimiento de Inspección de las estaciones ITV. Ministerios de Industria, Turismo y Comercio de España. (Revisión 7ª, Enero de 2012)
- [2] Mechanical Simulation Corporation, “CarSim™ Reference Manual”, 2005.
- [3] Reglamento de Obras Públicas y Transporte (España). Consejo de Transporte Público. Secretaría Ejecutiva. Gaceta del 29-4-2002.
- [4] Directiva 2002/78/CE de la Comisión de 1 de Octubre de 2002. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 267/23, 4 de Octubre de 2002.
- [5] Van Schoor, O., van Niekerk, J.L., Grobbelaar, B., 2001. Mechanical failures as a contributing cause to motor vehicle accidents- South Africa. Accident Analysis and Prevention 33, 713-721, 2001.
- [6] Directiva 96/96/CE. Aproximación de las legislaciones de los Estados miembros relativas a la inspección técnica de los vehículos a motor y de sus remolques, 20 de Noviembre de 1996.
- [7] Directiva 2010/48/UE de la Comisión de 5 de Julio de 2010 por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 2009/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la inspección técnica de los vehículos a motor y sus remolques. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L173/74, 8 de Julio de 2010.
- [8] Recomendación de la Comisión de 5 de Julio de 2010 sobre la evaluación de los defectos detectados durante las inspecciones técnicas efectuadas de conformidad con la Directiva 2009/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la inspección técnica de los vehículos a motor y sus remolques. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L173/74, 8 de Julio de 2010.
- [9] Recomendación número 10, Uniformización de criterios para la evaluación de defectos diagnosticados durante la inspección de vehículos. Comité Internacional de inspección técnica de automóviles, CITA, con fecha de adopción 18 de Junio de 1999.
- [10] “Teoría de los vehículos automóviles”. Francisco Aparicio. Publicaciones ETSIIM. Madrid 1995.
- [11] Directiva 71/320/CEE del Consejo, de 26 de julio de 1971. La Comisión de las Comunidades Europeas, 1971.
- [12] Directiva 98/12/CE de la Comisión de 27 de enero de 1998. La Comisión de las Comunidades Europeas, 1998.

[13] M.W. Sayers, C.W. Mousseau, T.D. Gillespie, "Using simulation to learn about vehicledynamics", *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 29, Nos. 1/2, pp.112-127,2002.

[14] G.J. Heydinger, J.G. Howe, "Analysis of vehicle response data measured during severemaneuvers", SAE Paper 2000-01-1644, 2000.

[15] Informes anuales de siniestralidad de los años: 2003-2009, Dirección General de tráfico (D.G.T.)

[16] ISO TR-3888-1 Passenger Cars. "Test track for a severe lane-change manoeuvre", International Organization for Standardization, 1999.

[17] D. García-Pozuelo, V. Díaz, M. J. L. Boada, "Methodology to test the steering system of an automobile by means of forces measurement". FISITA 2010 World Automotive Congress (30 may - 4 june 2010. Budapest, Hungría). ISBN: 978-963-9058-29-3

[18] V. Díaz, D. García-Pozuelo, M. J. L. Boada, A. Gauchia, "Steering inspection by means of tyre force measure". *Diagnostyka*, vol. 47, nº 3, ISSN 1641-6414

[19] V. Díaz, D. García-Pozuelo, M. J. L. Boada, A. Gauchía, "Diagnóstico del sistema de dirección de un vehículo automóvil mediante medida de fuerzas". IX Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Las Palmas de Gran Canaria (España), 18-20 de Noviembre de 2009

[20] V. Díaz, D. García-Pozuelo, M. J. L. Boada, A. Gauchia, "Steering inspection by means of tyre force measure". *IV Internacional Congress on Technical diagnostics*, ISBN: 978-83-927690-0-2, 9-12 de Septiembre de 2008

[21] D. García-Pozuelo, J.A. Calvo, A. Gauchia, V.Diaz, "Measurement of lateral tire force as vehicle inspection instrument". IFToMM Congress, Besançon Francia. 18-21 Junio 2007

Páginas de interés, informes y proyectos consultados:

[22] [www.mecanicavirtual.com](http://www.mecanicavirtual.com) (fecha de última consulta: 10/02/2014)

[23] PFC: Estudio y mejora de la suspensión de un vehículo automóvil. Mario Martín Reyes, 2007

[24] PFC: Estudio de la influencia de los ángulos de dirección en la transmisión de fuerzas en el contacto neumático-calzada. Raúl Muñoz Egea, 2010

[25] PFC: Estudio del comportamiento direccional de un vehículo. Pablo Álvaro Gutiérrez