

# EL FRENADO EN VEHÍCULOS DE CARRETERA

## DESCRIPCIÓN, CÁLCULO Y REGLAMENTACIÓN

SEGUNDA EDICIÓN

REVISIÓN 0

Santiago Baselga Ariño





**AUTOR:**

**Dr. Santiago Baselga Ariño  
Profesor de Automóviles y Ferrocarriles de la  
Universidad de Zaragoza**

**A Merche, Mario y Carolina.**



## **PRESENTACIÓN**

Esta publicación es el resultado del trabajo de estudio, desarrollo y recopilación de información llevada a cabo sobre diversas fuentes y autores de resonancia que han desarrollado una inestimable labor en el análisis y entendimiento del automóvil y su entorno, implementando un planteamiento didáctico, con desarrollos analíticos para cálculo de componentes y determinación de las conclusiones que se han ido obteniendo de la explicación de esta materia a ya múltiples promociones de alumnos de Ingeniería del Centro Politécnico Superior de Ingenieros de la Universidad de Zaragoza. Se ha buscado que el procedimiento seguido en la explicación de la temática sea el más adecuado para un rápido entendimiento de los conceptos estudiados.

La temática de esta colección corresponde a la descripción y cálculo de los elementos de frenada en vehículos terrestres, y al estudio de la dinámica básica aplicada al fenómeno de frenado.

Adicionalmente, se ha realizado una descripción minuciosa de los diversos componentes y su funcionamiento para los diferentes tipos de sistemas de frenado empleados más habitualmente en vehículos de carretera.

La metodología de cálculo y un programa de cálculo desarrollado son de aplicación directa a vehículos de cualquier categoría incluidos remolques y semirremolques. También se ha incluido la Reglamentación de la Unión Europea, sobre los dispositivos de frenado de determinadas categorías de vehículos a motor y de sus remolques.

Es interesante mencionar que a pesar de que es una colección que está pensada para el aprendizaje del estudiante de ingeniería, los modelos matemáticos se han explicado desde su base, por lo que es muy válido como manual de cálculo y de comprensión para todo aquel lector que sin ser un especialista, desee adentrarse con mayor detalle en el mundo del automóvil, y en particular en lo que a sistemas de frenado se refiere.

Sin más que agradecer al lector su interés mostrado por la publicación, es mi deseo que la calidad de la obra se vea justificada por la aprobación de aquellas personas que hagan un seguimiento de ella.



ÍNDICE ANALÍTICO	PÁGINA
<b>CAPÍTULO - 1 - TEORÍA GENERAL DE FRENOS</b>	<b>15</b>
1.1. Introducción	15
1.2. Ecuaciones de dinámica general longitudinal en frenado	15
1.3. Consideraciones básicas de un vehículo durante el frenado	25
1.3.1. Deceleración en el frenado	25
1.3.2. Movimiento uniformemente decelerado en recta	27
1.3.3. Tiempo de reacción del conductor	28
1.4. Movimiento real de un vehículo durante el frenado	29
1.5. Distancias recorridas en el frenado	31
1.6. Consecuencias del frenado	33
1.6.1. Efectos de un frenado desequilibrado	33
1.6.2. Características de un correcto frenado	34
1.6.3. Eficacia de frenado y deceleración	34
1.6.4. Reparto de la fuerza de frenado	36
<b>CAPÍTULO - 2 - TIPOLOGÍAS DE SISTEMAS DE FRENOS</b>	<b>39</b>
2.1 Generalidades	39
2.2 Componentes básicos del sistema de frenado	41

2.3	Sistema hidráulico de frenada	42
2.3.1	Pedal	45
2.3.2	Servofreno	46
2.3.3	Cilindro maestro	49
2.3.4	Canalizaciones de circuito	52
2.3.5	Líquido de frenos	53
2.3.6	Correctores de frenada	55
2.3.7	Dispersión del sistema hidráulico	57
2.3.8	Frenos de base o elementos de fricción	58
2.4	Sistema neumático de frenado	60
2.4.1	Descripción del sistema neumático	60
2.5	Componentes básicos de un sistema de frenado neumático	67
2.6	Sistemas auxiliares de retención	75
2.6.1	Freno eléctrico. Ralentizador	75
2.6.2	Retardadores “intarders” hidrodinámicos	85
2.6.3	Freno motor	89
<b>CAPÍTULO - 3 - SISTEMAS DE CONTROL DEL FRENADO</b>		<b>93</b>
3.1	Planteamiento	93
3.2	Sistema antibloqueo de frenado. ABS	96



3.3	Bases de funcionamiento del “ABS”	99
3.4	Componentes del “ABS”	99
3.4.1	Sensores de giro	101
3.4.2	Electroválvulas	101
3.4.3	Hidrogrupo	102
3.4.4	Unidad de control “ECU”	102
3.5	Frenada normal	103
3.6	Frenada de emergencia	104
3.7	Configuraciones “ABS”	105
3.8	“ABS”, “ASR” y “SL” en sistemas neumáticos	107
3.8.1	Centralita electrónica “ECU”	109
3.8.2	Válvula electroneumática proporcional	110
3.8.3	Válvula electroneumática para “ASR”	111
3.8.4	Sensor de vueltas y ruedas fónicas	111
3.9	Programa Electrónico de Estabilización “ESP”	112
3.10	Sistema de regulación de la dinámica de movimiento	114
3.11	Sistema total de regulación	114
3.11.1	El observador	115
3.11.2	Regulador de la dinámica de movimiento	115

3.11.3	Regulador de deslizamiento _____	116
3.12	Evolución de los sistemas de frenado _____	117
3.12.1	Evolución de los sistemas de control electrónico. Software _____	117
3.12.2	Sistemas de control electrónico de frenado en el mercado _____	120
3.12.3	Desarrollo de sistemas mecánicos de frenado. Hardware _____	123
<b>CAPÍTULO - 4 - CÁLCULO DE DISCOS Y TAMBORES _____</b>		<b>129</b>
4.1	Frenos de tambor _____	129
4.1.1	Freno de tambor "SIMPLEX" _____	131
4.1.2	Freno de tambor "TWIMPLEX" _____	131
4.1.3	Freno de tambor "DUO-SERVO" _____	132
4.2	Cálculo de los frenos con zapatas apoyadas _____	132
4.2.1	Superficie de los forros de las zapatas _____	132
4.2.2	Fuerzas que actúan en la zapata _____	133
4.2.3	Momento de la resultante y punto de aplicación _____	135
4.2.4	Par de frenada _____	136
4.2.5	Presiones de contacto _____	136
4.2.6	Radio equivalente del freno de tambor _____	138
4.3	Cálculo de frenos con zapatas articuladas _____	138
4.3.1	Esfuerzos característicos _____	138

4.3.2	Momento resultante de la zapata	141
4.3.3	Par de frenada	141
4.3.4	Reacciones en las articulaciones	142
4.4	Bombines o cilindros de frenos de tambor	142
4.4.1	Bombín de doble pistón	142
4.4.2	Bombín de émbolo único	143
4.4.3	Bombín de cilindros escalonados	143
4.5	Cálculo de frenos con pulmón de freno y leva tipo "S"	143
4.5.1	Apoyo flotante de leva	145
4.5.2	Apoyo rígido de leva	145
4.6	Frenos de disco	147
4.6.1	Superficie de las pastillas	151
4.6.2	Par de frenada	152
4.6.3	Radio equivalente	153
4.7	Cálculo de frenos con pulmón de freno y disco con husillo	153
<b>CAPÍTULO - 5 - PROPIEDADES Y SOLICITACIÓN DE LOS FRENOS</b>		<b>155</b>
5.1	Eficacia e inestabilidad de los frenos de tambor	155
5.2	Eficacia e inestabilidad en los frenos de disco	156
5.3	Materiales para discos y tambores	157

5.3.1	Resistencia a la abrasión _____	157
5.3.2	Resistencia mecánica _____	157
5.3.3	Conductibilidad térmica _____	158
5.3.4	Resistencia a la fisuración térmica _____	158
5.3.5	Estabilidad dimensional _____	159
5.4	Forros y pastillas de fricción _____	159
5.5	Esfuerzos en el pedal de freno _____	161
5.6	Fuerza transmitida del pedal de freno _____	164
5.7	Transmisión de esfuerzos en sistema hidráulico _____	166
5.7.1	Fuerza transmitida por el servofreno _____	166
5.7.2	Sección del cilindro maestro _____	168
5.7.3	Desplazamiento del pedal de freno _____	169
5.8	Transmisión de esfuerzos en sistema mecánico _____	171
5.9	Transmisión de esfuerzos en sistema neumático _____	171
<b>CAPÍTULO - 6 - CURVAS DE EQUIADHERENCIA _____</b>		<b>173</b>
6.1	Determinación de las curvas de equiadherencia _____	173
6.2	Interpretación de las curvas de equiadherencia y de frenado _____	181
6.3	La curva de equiadherencia en función de presiones _____	184
6.4	Efectos de los correctores de presión _____	186

<b>CAPÍTULO - 7 - DETERMINACIÓN DEL EQUIPO DE FRENOS</b>	<b>189</b>
7.1 Distancia técnica entre ejes	189
7.2 Planteamiento del sistema de frenos	192
7.2.1 Corrector de frenada	199
7.2.2 Consideraciones prácticas sobre el reparto de frenada	200
7.2.3 Análisis energético de los frenos	202
7.2.4 Tensiones de origen térmico	207
7.2.5 Presiones de funcionamiento del corrector de frenada	212
<b>CAPÍTULO - 8 - NORMATIVA</b>	<b>215</b>
8.1 Introducción	215
8.2 Funciones del dispositivo de frenado	217
8.3 Ensayos de frenado	218
8.3.1 Generalidades	218
8.3.2 Condiciones para ensayo del tipo 0. Categorías M (no M1), N y O	222
8.3.3 Rendimiento (o eficacia) del sistema de frenado. Categorías M y N223	
8.3.4 Rendimiento (o eficacia) del sistema de frenado. Categoría O	227
8.3.5 Tiempo de respuesta del sistema de frenado. Categorías M, N y O228	
8.4 Distribución del esfuerzo de frenado (Anexos: 10 R13 y 5 R13H)	229
8.4.1 Requisitos generales	229

8.4.2	Validación del desarrollo de la fuerza de frenado (Sólo Reglamento 13)	230
8.4.3	Requisitos para vehículos de motor de dos ejes	231
8.4.4	Requisitos para vehículos de motor de más de dos ejes	236
<b>CAPÍTULO - 9 - VERIFICACIÓN Y CONTROL DE LOS FRENOS</b>		<b>237</b>
9.1	Introducción	237
9.2	Síntomas que pueden presentarse en un sistema de frenos	238
9.3	Revisión de los frenos	243
9.3.1	Bomba de frenos	245
9.3.2	Freno de disco	245
9.3.3	Freno de tambor	247
9.3.4	Freno de mano	249
9.3.5	Purgador de los frenos	249
9.3.6	Verificación y control del servofreno	251
9.3.7	Prueba de los frenos	252
9.3.8	Verificación de los sistemas de freno con antibloqueo	254
9.4	Diagnóstico de problemas en forros de frenos de zapatas	255
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>267</b>