

# CONCEPTOS SOBRE LA SUSPENSIÓN EN VEHÍCULOS

PRIMERA EDICIÓN

REVISIÓN 1

Santiago Baselga Ariño





**AUTOR:**

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

**A Merche, a Mario y a Carolina**

## PRESENTACIÓN

Estimados lectores.

La temática de esta colección corresponde a la descripción y cálculo de los elementos básicos de la suspensión de vehículos terrestres, así como una introducción a los requisitos normativos que le son de aplicación.

Se ha dado un planteamiento progresivo de los conceptos explicados para facilitar el aprendizaje de la materia.

Los modelos matemáticos se han recopilado de diferentes fuentes.

Sin más, agradezco al lector su interés mostrado por la publicación.

Santiago

<b>ÍNDICE ANALÍTICO</b>	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO 1. CONFIGURACIONES DE SUSPENSIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Objeto de la suspensión	1
1.2 Tipos de suspensiones convencionales	2
1.2.1 Suspensiones rígidas	2
1.2.2 Suspensiones independientes	5
1.2.3 Suspensiones semirígidas	14
1.3 Estabilizadores mecánicos	16
<b>CAPÍTULO 2. SUSENSIONES PASIVAS ALTERNATIVAS</b>	<b>19</b>
2.1 Suspensión hidroneumática	19
2.2 Suspensión neumática	20
<b>CAPÍTULO 3. SUSENSIONES NO PASIVAS</b>	<b>21</b>
3.1 Definición	21
3.2 Suspensiones adaptativas	21
3.3 Suspensiones activas y semiactivas	22
<b>CAPÍTULO 4. CALCULO DE ELEMENTOS ELÁSTICOS</b>	<b>25</b>
4.1 Resorte helicoidal	25
4.2 Resorte torsional	27
4.3 Resorte laminar (ballesta)	28
4.3.1 Hojas de igual espesor y ancho con escalonamiento uniforme	28
4.3.2 Hojas de igual espesor y ancho, con escalonamiento no uniforme	30
4.3.3 Diferente espesor, mismo ancho y escalonamiento uniforme	31
4.3.4 Diferente espesor, mismo ancho y escalonamiento no uniforme	32

4.3.5	Ballestas parabólicas	33
4.4	Elemento estabilizador lateral	34
4.5	Elementos elásticos equivalentes	36
4.5.1	Resortes en serie	36
4.5.2	Resortes en paralelo	37
<b>CAPÍTULO 5. CÁLCULO DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA</b>		<b>39</b>
5.1	Masa de aire constante.	39
5.2	Masa de aire variable sin válvula niveladora	40
<b>CAPÍTULO 6. AMORTIGUACIÓN</b>		<b>41</b>
6.1	Definición	41
6.2	Amortiguadores de doble tubo (bitubo)	42
6.3	Amortiguadores monotubo	46
6.4	Amortiguadores magnetorreológicos	51
6.5	Modelos matemáticos de amortiguadores	52
6.5.1	Amortiguador tipo viscoso	53
6.5.2	Amortiguamiento de coulomb o de fricción seca	55
6.5.3	Amortiguamiento de histéresis	55
6.6	Elementos amortiguadores viscosos equivalentes	57
6.6.1	Amortiguadores en serie	58
6.6.2	Amortiguadores en paralelo	58
<b>CAPÍTULO 7. VIBRACIÓN DE MODELO DE 1 GDL</b>		<b>59</b>
7.1	Vibración libre con amortiguación viscosa	59
7.2	Vibración libre con amortiguamiento de histéresis	65
7.3	Vibración forzada	67

<b>CAPÍTULO 8. DINÁMICA VERTICAL. MODELOS</b>	<b>75</b>
8.1 Modelo simple de 1 GdL	76
8.2 Modelo de “De Carbon”, (2 GdL)	79
8.3 Sistema de (n) grados de libertad	83
8.3.1 Ecuación del movimiento	84
8.3.2 Solución por iteración matricial	87
8.3.3 Solución por método Stodola	87
8.3.4 Solución por método Holzer	88
8.3.5 Principio de la ortogonalidad	88
8.3.6 Análisis de Fourier	88
8.4 Análisis modal	89
8.4.1 Concepto	89
8.4.2 Matriz de transferencia	90
8.4.3 Fundamentos teóricos	91
<b>CAPÍTULO 9. CONFORT</b>	<b>97</b>
9.1 Introducción	97
9.2 Análisis experimental del confort	99
9.3 Evaluación del confort	101
9.3.1 Desplazamientos lineales	101
9.3.2 Movimiento de balanceo	104
9.4 Gamas de frecuencias típicas en vehículos	108
9.5 Conclusiones	109
<b>CAPÍTULO 10. TERRENO. VIBRACIONES ALEATORIAS</b>	<b>111</b>
10.1 Introducción	111

10.2	Espectro discreto de frecuencia	111
10.3	Espectro continuo de frecuencia	112
10.4	Densidad espectral discreta de potencia	113
10.5	Densidad espectral continua de potencia	114
10.6	Superficie de terreno como función aleatoria	115
10.7	Función de respuesta	118
<b>CAPÍTULO 11. CINEMÁTICA DE LA SUSPENSIÓN</b>		<b>121</b>
11.1	Centros de balanceo y eje de balanceo	121
11.1.1	Centro de balanceo de suspensión McPherson	121
11.1.2	Centro de balanceo de cuadrilátero articulado	124
11.2	Centro de balanceo en suspensión de eje rígido	127
11.3	Criterios de diseño por balanceo	128
11.4	Cabeceo, zambullida o hundimiento	128