
INDICE

CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES. BASTIDOR Y CARROCERÍA	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS.....	1
1.2.1 En función de la homologación.....	1
1.2.2 Tipologías	3
1.2.3 Clasificación de vehículos automóviles.....	4
1.2.4 Segmentos del automóvil	7
1.3 DIMENSIONADO Y SISTEMA DE REFERENCIA	8
1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS VEHÍCULOS.....	9
1.5 BASTIDOR Y CARROCERÍA	10
1.5.1 Según su construcción	11
1.5.2 Según número de volúmenes	15
1.5.3 Según la forma	16
1.5.4 Según el estilo de trasera.....	17
1.5.5 Según el estilo de techo	18
1.6 CHASIS DE MOTOCICLETAS.....	19
1.7 COEFICIENTE AERODINÁMICO.....	22
1.8 DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD	28
1.8.1 Reparto de cargas	28
1.8.2 Cálculo del centro de gravedad.....	33

CAPÍTULO 2: NEUMATICOS	35
2.1 INTRODUCCION	35
2.2 CONSTITUCIÓN DEL NEUMATICO	36
2.2.1 Estructura de la cubierta.....	36
2.2.2 Configuración de la Banda de Rodadura y Flancos.....	37
2.2.3 Denominación de los neumáticos.....	38
2.3 ASPECTOS TRIBOLÓGICOS DEL CONTACTO ENTRE EL NEUMÁTICO Y LA SUPERFICIE DE RODADURA	39
2.3.1 Adhesión	40
2.3.2 Deformación.....	40
2.3.3 Desgaste y erosión	41
2.3.4 Fricción total	41
2.4 RESISTENCIA A LA RODADURA.....	41
2.4.1 Fuerza normal debida al peso	43
2.4.2 Rigidez radial	44
2.5 ESFUERZOS LONGITUDINALES: TRACCIÓN Y FRENADO.....	45
2.5.1 Esfuerzo de tracción.....	45
2.5.2 Esfuerzo de frenado	46
2.5.3 Coeficiente de adherencia: valor máximo y valor de deslizamiento puro.....	46
2.5.4 Cálculo de la fuerza longitudinal desarrollada en el contacto neumático-calzada.....	47
2.6 ESFUERZOS TRANSVERSALES	48
2.6.1 Variación de la fuerza transversal de contacto con el ángulo de deriva	50
2.7 ESFUERZOS COMBINADOS: COMPORTAMIENTO LATERAL DEL NEUMATICO.....	51
2.7.1 Comportamiento lateral del vehículo	52
2.8 ACUAPLANING O HIDROPLANEIO	55
2.9 EQUILIBRADO DE NEUMÁTICOS	57
2.9.1 Equilibrado estático y dinámico	57
2.10 EFECTO SHIMMY	58
2.11 DEFECTOLOGÍA DE LOS NEUMÁTICOS.....	60
2.11.1 Influencia de la presión de inflado sobre el rendimiento de los neumáticos.....	60
2.11.2 Análisis de defectos.....	61
 CAPÍTULO 3: DINAMICA LONGITUDINAL.....	 65
3.1 INTRODUCCIÓN	65

3.2	RESISTENCIAS AL AVANCE	65
3.3	ECUACIÓN FUNDAMENTAL DEL MOVIMIENTO LONGITUDINAL	67
3.4	FUERZA TRANSMITIDA A LA CALZADA.....	68
3.5	DETERMINACIÓN DE LAS PRESTACIONES DE UN VEHÍCULO	70
3.5.1	Velocidad máxima	70
3.5.2	Rampa máxima.....	71
3.5.3	Aceleración máxima	72
3.6	DIAGRAMA DE TRACCIÓN.....	72
3.7	MEDICIÓN DE LAS CURVAS DE POTENCIA Y PAR.....	73
3.8	PROCESO DE FRENADO.....	76
3.9	CURVA DE EQUIADHERENCIA	76
3.10	RENDIMIENTO Y DISTANCIA DE FRENADO	80
3.11	MEDICIÓN DE LA FUERZA DE FRENADO	81
 CAPÍTULO 4: EL SISTEMA DE TRANSMISION		85
4.1	INTRODUCCIÓN	85
4.2	EL EMBRAGUE.....	85
4.2.1	El embrague de fricción	86
4.2.2	El embrague hidrodinámico.....	89
4.2.3	El convertidor de par.....	92
4.3	LA CAJA DE CAMBIOS MECÁNICA	98
4.3.1	Componentes de una caja de cambios	99
4.3.2	Relación de transmisión	104
4.4	TREN EPICICLOIDAL.....	106
4.5	JUNTAS DE TRANSMISIÓN	110
4.5.1	Elementos básicos de una transmisión articulada.....	111
4.6	ÁRBOLES DE TRANSMISIÓN	115
4.6.1	Diseño de un árbol de transmisión	116
4.7	EL DIFERENCIAL.....	117
4.7.1	El diferencial libre.....	117
4.7.2	El diferencial de bloqueo manual	119
4.7.3	El diferencial Torsen.....	119
4.7.4	El diferencial viscoso	120
4.7.5	El diferencial basado en embrague Haldex.....	121

CAPÍTULO 5: EL SISTEMA DE DIRECCION	123
5.1 INTRODUCCIÓN	123
5.2 CAJAS DE DIRECCIÓN	124
5.2.1 Mecanismo de tornillo sin fin	125
5.2.2 Dirección de cremallera	131
5.2.3 Rótulas	131
5.3 REVERSIBILIDAD DE LA CONDUCCIÓN	132
5.4 DIRECCIÓN EN LAS CUATRO RUEDAS	134
5.4.1 Giro a baja velocidad.....	134
5.4.2 Giro a alta velocidad	135
5.5 ESFUERZOS EN LA MANGUETA.....	135
5.5.1 Fuerza vertical	135
5.5.2 Fuerza longitudinal.....	136
5.5.3 Fuerza transversal	137
5.6 ÁNGULOS DE DIRECCIÓN	137
5.6.1 Ángulo de caída.....	137
5.6.2 Ángulo de salida	139
5.6.3 Ángulo de avance	140
5.6.4 Ángulo de convergencia / divergencia.....	142
5.7 DIRECCIONES ASISTIDAS	143
5.8 GEOMETRÍA DE LA DIRECCIÓN	143
5.9 MANIOBRABILIDAD A BAJA VELOCIDAD DE UN SEMIRREMOLQUE	146
 CAPÍTULO 6: EL SISTEMA DE FRENADO	 151
6.1 INTRODUCCIÓN	151
6.2 FRENO DE TAMBOR	155
6.2.1 Introducción.....	155
6.2.2 Parámetros de diseño	157
6.3 FRENOS DE DISCO	165
6.3.1 Introducción.....	165
6.3.2 Parámetros de diseño	166
6.4 SENSIBILIDAD DE UN FRENO.....	172
6.5 FORROS Y PASTILLAS DE FRICCIÓN	173
6.6 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS FRENOS DE TAMBOR Y DE DISCO	177
6.6.1 Consideraciones sobre la temperatura.....	177

6.6.2	Transferencia de calor en frenos de disco y en frenos de tambor	179
6.7	SISTEMA ANTIBLOQUEO DE FRENOS (ABS)	184
6.7.1	Introducción	184
6.7.2	Componentes	185
6.7.3	Ciclos de Regulación	187
CAPÍTULO 7: EL SISTEMA DE SUSPENSION		193
7.1	INTRODUCCION	193
7.2	COMPORTAMIENTO OSCILATORIO DEL VEHÍCULO	194
7.3	COMPORTAMIENTO VERTICAL DE LA SUSPENSIÓN	195
7.3.1	Modelo de un grado de libertad	195
7.3.2	Predimensionamiento de las constantes elásticas y de amortiguamiento para un modelo de 1 grado de libertad	197
7.3.3	Aplicación del modelo de un cuarto de vehículo	198
7.4	COMPONENTES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN	199
7.4.1	Elementos elásticos	199
7.4.2	Resortes de ballestas	199
7.4.3	Resortes helicoidales	202
7.4.4	Resortes elastoméricos	203
7.4.5	Barra de torsión	203
7.4.6	Barra estabilizadora	204
7.4.7	Amortiguadores	206
7.4.8	Elementos de las suspensiones neumáticas	209
7.5	SISTEMAS DE SUSPENSIÓN	217
7.6	EJE DE BALANCEO	220
7.6.1	Introducción a la determinación del centro de balanceo	220
7.6.2	Determinación del centro de balanceo en sistemas de doble triángulo superpuesto	220
7.6.3	Determinación del centro de balanceo en sistemas McPherson	221
7.6.4	Rigidez al balanceo	221
CAPÍTULO 8: INFRAESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA FERROVIARIAS		227
8.1	LA VIA FERROVIARIA	227
8.2	INFRAESTRUCTURA	228
8.2.1	Obras de fábrica	228

8.2.2	Trazado.....	229
8.3	SUPERESTRUCTURA	236
8.3.1	Vía	236
8.3.2	Aparatos de vía	236
8.3.3	Cambios de agujas	237
8.3.4	Señales	238
8.3.5	Electrificación.....	242
8.4	ENCLAVES FERROVIARIOS.....	245
8.4.1	Estación	245
8.4.2	Apartadero	245
8.4.3	Apeadero.....	246
8.4.4	Cargadero.....	246
8.4.5	Terminales de mercancías	246
8.4.6	Enclavamiento.....	246
CAPÍTULO 9: LA VÍA Y SUS ELEMENTOS.....		249
9.1	LA VIA.....	249
9.2	LA PLATAFORMA.....	250
9.3	LAS CAPAS DE ASIENTO	252
9.3.1	Balasto.....	252
9.3.2	Capas de subbase.....	254
9.3.3	Tipos de vía atendiendo a la naturaleza de la capa de asiento	255
9.4	EL CARRIL	257
9.4.1	Partes del carril	259
9.5	LAS TRAVIESAS	260
9.5.1	Sujeción de las traviesas	263
9.6	ESTUDIO MECÁNICO DE LA VÍA	264
9.6.1	Solicitaciones mecánicas.....	265
9.6.2	Caracterización elástica de la vía	273
CAPÍTULO 10: MATERIAL RODANTE.....		279
10.1	MATERIAL RODANTE FERROVIARIO.....	279
10.1.1	Locomotoras	280
10.1.2	Coches y vagones	283
10.2	BOGIES	286

10.2.1	Bogie motor.....	287
10.2.2	Bogies remolques.....	292
10.3	RUEDAS	292
10.3.1	Centro de la rueda	293
10.3.2	Llanta.....	294
10.4	EJES	294
10.4.1	Ejes montados.....	295
10.5	CAJAS DE GRASA	295
10.6	PLACAS DE GUARDA	296
10.7	SUSPENSIÓN	297
10.7.1	Elementos de suspensión.....	297
10.7.2	Suspensiones ferroviarias	298
10.8	BASCULACIÓN FERROVIARIA	302
10.8.1	Confort	303
10.8.2	Sistemas pendulares	303
10.9	LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS DE PENDULACIÓN	306
CAPÍTULO 11: CONTACTO RUEDA CARRIL		311
11.1	CONTACTO RUEDA-CARRIL	311
11.2	MODELOS DE CONTACTO RUEDA-CARRIL	311
11.2.1	Concepto de pseudo-deslizamiento	313
11.2.2	Problema normal. Teoría de Hertz.....	313
11.2.3	Problema tangencial	317
11.3	ADHERENCIA	320
11.3.1	Evolución del control del patinaje.....	320
11.3.2	Valores de adherencia.....	321
CAPÍTULO 12: RESISTENCIA AL MOVIMIENTO DE UN TREN.....		325
12.1	RESISTENCIAS AL AVANCE	325
12.2	RESISTENCIA AL AVANCE EN RECTA	325
12.2.1	Resistencias mecánicas al avance	326
12.2.2	Resistencias debido a la inclinación del terreno	328
12.2.3	Resistencia al avance debida a la entrada de aire en el habitáculo del tren	329
12.2.4	Resistencia aerodinámica	330
12.2.5	Valores de la resistencia al avance en recta a cielo abierto y sin viento	331

12.2.6 Resistencia total al avance en recta.....	333
12.3 RESISTENCIA AL AVANCE EN CIRCULACIÓN EN CURVA	333
12.3.1 Resistencia debida a los ejes montados.....	333
12.3.2 Resistencia debida al paralelismo de los ejes	334
12.3.3 Valor de la resistencia total al avance en la curva	334
12.3.4 Peso relativo de la resistencia en la curva	335
12.4 RESISTENCIA TOTAL AL AVANCE	335
12.4.1 Consideración conjunta de la resistencia al avance de la curva y la rampa	336
12.5 RESISTENCIA DE INERCIA	337
CAPÍTULO 13: CIRCULACIÓN EN RECTA.....	339
13.1 INTRODUCCIÓN	339
13.2 ESFUERZO TRACTOR	339
13.2.1 Velocidad crítica.....	341
13.2.2 Velocidad de régimen	341
13.2.3 Potencias en la locomotora	341
13.3 ESFUERZO DE FRENADA.....	344
13.3.1 Condiciones de aplicación del freno	344
13.3.2 Teoría general del frenado en llanta.....	345
13.3.3 Peso-freno y coeficiente de frenado instantáneos.....	347
13.3.4 Peso-freno y coeficiente de frenado.....	348
13.3.5 Distancia de parada.....	349
13.4 EXPRESIÓN SIMPLE DE LA ECUACIÓN DEL MOVIMIENTO	351
13.4.1 El efecto de la inercia de las masas giratorias.....	352
13.4.2 Expresión completa de la ecuación del movimiento del tren.....	353
13.5 DINÁMICA DEL TREN EN PENDIENTES Y RAMPAS	354
13.5.1 Dinámica del tren en rampas	354
13.5.2 Dinámica del tren en pendientes.....	355
13.5.3 Consideración conjunta de la pendiente y la rampa	357
13.6 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ESFUERZOS DE TRACCIÓN, FRENO Y RESISTENCIAS.....	358
13.7 CARGA MÁXIMA DE UN TREN.....	359
13.7.1 Masa máxima de un tren para su circulación correcta.....	360
13.7.2 Determinación práctica de la carga máxima remolcable por una locomotora .	363
13.8 MOVIMIENTO DE LAZO.....	365

CAPÍTULO 14: CIRCULACIÓN EN CURVA.....	371
14.1 PERALTE TEÓRICO Y REAL	371
14.1.1 Peralte teórico exacto y aproximado	373
14.1.2 Peralte práctico, peralte real	374
14.1.3 Insuficiencia de peralte	375
14.1.4 Exceso de peralte	376
14.1.5 Peralte máximo	376
14.1.6 Limitaciones de peralte	377
14.2 FUERZAS TRANSVERSALES EN LA VÍA	380
14.3 CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DEL VEHÍCULO FERROVIARIO	382
14.3.1 El eje en curva	382
14.3.2 El bogie en curva	386
14.4 ESFUERZOS ENTRE LAS RUEDAS Y LA VÍA	389
 CAPÍTULO 15: CATENARIA FERROVIARIA	 393
15.1 ALGUNOS ASPECTOS SOBRE LA INSTALACION ELECTRICA FERROVIARIA	393
15.2 DISEÑO DE UNA CATENARIA FLEXIBLE	403
15.3 PANTÓGRAFO	413
15.4 DESCENTRAMIENTO DE LA CATENARIA.....	416
 BIBLIOGRAFÍA.....	 419

11.2.3.2 Teoría lineal de Kalker

En 1967 Kalker desarrolló una teoría en la que consideraba que la relación entre las fuerzas de contacto tangenciales y los pseudo-deslizamientos era lineal. Las relaciones lineales que establece para las fuerzas de contacto son:

$$\begin{aligned}F_x &= -f_{33} \cdot \xi_x \\F_y &= -f_{11} \cdot \xi_y - f_{12} \cdot \psi \\M_z &= f_{12} \cdot \xi_y - f_{22} \cdot \psi\end{aligned}\tag{11.14}$$

donde:

- F_x es la fuerza debida al pseudo-deslizamiento longitudinal.
- F_y es la fuerza debida al pseudo-deslizamiento lateral.
- M_z es el momento debido al pseudo-deslizamiento de giro.
- ξ_x es el pseudo-deslizamiento longitudinal.
- ξ_y es el pseudo-deslizamiento lateral.
- ψ es el pseudo-deslizamiento de giro.
- f_{11} , f_{12} , f_{22} y f_{33} son los coeficientes de pseudo-deslizamiento definidos por Kalker como:

$$\begin{aligned}f_{11} &= (a \cdot b) \cdot G \cdot C_{22} \\f_{12} &= (a \cdot b)^{3/2} \cdot G \cdot C_{23} \\f_{22} &= (a \cdot b)^2 \cdot G \cdot C_{33} \\f_{33} &= (a \cdot b) \cdot G \cdot C_{11}\end{aligned}$$

siendo:

- G es el módulo de rigidez combinado para los materiales de la rueda y el carril:

$$G = \frac{2 \cdot G_w \cdot G_R}{G_w + G_R}\tag{11.15}$$

- C_{11} , C_{22} , C_{23} y C_{33} son los coeficientes de deslizamiento y de giro cuyos valores están tabulados (Tabla 11.1) y dependen únicamente del módulo de rigidez (G) y del coeficiente de Poisson (ν) combinados para los materiales de la rueda y el carril:

$$\nu = \frac{G \cdot (G_w \cdot \nu_R + G_R \cdot \nu_w)}{2 \cdot G_w \cdot G_R}\tag{11.16}$$

- G_w y G_R son los módulos de rigidez de los materiales de la rueda y el carril, respectivamente.
- ν_w y ν_R son los coeficientes de Poisson de los materiales de la rueda y el carril, respectivamente.

La teoría lineal de Kalker sólo es válida cuando los pseudo-deslizamientos longitudinal, lateral y de giro son muy pequeños. Cuando esto ocurre, la zona de deslizamiento dentro de la zona de contacto es muy pequeña y se puede suponer que el área de adhesión cubre toda la zona de contacto.

Para considerar el caso de pseudo-deslizamientos grandes, Kalker desarrolló la *Teoría Exacta* y lo implementó en el programa denominado CONTACT. El problema de esta teoría es que requiere mucho coste computacional. Por esta razón, Kalker desarrolló otra teoría, denominada *Teoría Simplificada*, y la implementó en otro programa denominado FASTSIM, que es mucho más rápido pero que comete unos errores del 10-15% con respecto al programa CONTACT.

Tabla 11.1: Valores de los coeficientes de deslizamiento y giro

g	C ₁₁			C ₂₂			C ₂₃ = -C ₃₂			C ₃₃		
	$\sigma = 0$	1/4	1/2	$\sigma = 0$	1/4	1/2	$\sigma = 0$	1/4	1/2	$\sigma = 0$	1/4	1/2
(a/b)												
0,1	2,51	3,31	4,85	2,51	2,52	2,53	0,334	0,473	0,731	6,42	8,28	11,7
0,2	2,59	3,37	4,81	2,59	2,63	2,66	0,483	0,603	0,809	3,46	4,27	5,66
0,3	2,68	3,44	4,80	2,68	2,75	2,81	0,607	0,715	0,889	2,49	2,96	3,72
0,4	2,78	3,53	4,82	2,78	2,88	2,98	0,720	0,823	0,977	2,02	2,32	2,77
0,5	2,88	3,62	4,83	2,88	3,01	3,14	0,82	0,929	1,07	1,74	1,93	2,22
0,6	2,98	3,72	4,91	2,98	3,14	3,31	0,930	1,03	1,18	1,56	1,68	1,86
0,7	3,09	3,81	4,97	3,09	3,28	3,48	1,03	1,14	1,29	1,43	1,50	1,60
0,8	3,19	3,91	5,05	3,19	3,41	3,65	1,13	1,25	1,40	1,34	1,37	1,42
0,9	3,29	4,01	5,12	3,29	3,54	3,82	1,23	1,36	1,51	1,27	1,27	1,27
(b/a)												
1,0	3,40	4,12	5,20	3,40	3,67	3,98	1,33	1,47	1,63	1,21	1,19	1,16
0,9	3,51	4,22	5,30	3,51	3,81	4,16	1,44	1,59	1,77	1,16	1,11	1,06
0,8	3,65	4,36	5,42	3,65	3,99	4,39	1,58	1,75	1,94	1,10	1,04	0,954
0,7	3,82	4,54	5,58	3,82	4,21	4,67	1,76	1,95	2,18	1,05	0,965	0,852
0,6	4,06	4,78	5,80	4,06	4,50	5,04	2,01	2,23	2,50	1,01	0,82	0,751
0,5	4,37	5,10	6,11	4,37	4,90	5,56	2,35	2,62	2,96	0,985	0,819	0,650
0,4	4,84	5,57	6,57	4,84	5,48	6,31	2,88	3,24	3,70	0,912	0,747	0,549
0,3	5,57	6,34	7,34	5,57	6,40	7,51	3,79	4,32	5,01	0,868	0,674	0,446
0,2	6,96	7,78	8,82	6,96	8,14	9,79	5,72	6,63	7,89	0,828	0,601	0,341
0,1	10,7	11,7	12,9	10,7	12,8	16,0	12,2	14,6	18,0	0,795	0,526	0,228

11.2.3.3 Teoría simplificada de Kalker

La teoría simplificada de Kalker se puede utilizar en el caso de que se tenga un contacto que se pueda aproximar por el modelo de Hertz y en el que los cuerpos que están en contacto sean casi-idénticos. Esta teoría tiene en cuenta la influencia del pseudo-deslizamiento longitudinal, lateral y de giro. Dado que considera que los cuerpos son casi idénticos, se divide el problema en dos: los esfuerzos normales, los resuelve empleando la teoría de Hertz y los tangenciales los resuelve empleando su teoría simplificada.

Para desarrollar la teoría simplificada, Kalker consideró que la rueda y el carril eran dos cuerpos rígidos. Modelizó la superficie de contacto entre ellos como un conjunto de muelles situados en puntos discretos de las superficies, y supuso que la superficie de desplazamiento era un único punto que dependía sólo de la tracción en su superficie. Las fuerzas debidas a los pseudo-deslizamientos que son obtenidas con esta teoría son:

$$F_x = -\frac{8 \cdot a^2 \cdot b}{3 \cdot L} \cdot \xi_x$$

$$F_y = -\frac{8 \cdot a^2 \cdot b}{3 \cdot L} \cdot \xi_y - \frac{\pi \cdot a^3 \cdot b}{4 \cdot L} \cdot \psi$$
(11.17)

11.3 ADHERENCIA

Como ya es sabido, cuando el par motor en llanta es muy alto y superior al par resistente, la rueda desliza sobre el carril. La adherencia de la rueda sobre el carril es mayor cuanto más lo sea la masa que gravita sobre la rueda motriz, que se denomina masa adherente. Existe un cierto límite del par motor (y correlativamente del esfuerzo de tracción) a partir del cual la rueda desliza (patina); este esfuerzo de tracción es una fracción de la masa adherente (m_{ad}):

$$E_{tmax} = m_{ad} \cdot g \cdot \mu$$
(11.18)

donde μ es el coeficiente de adherencia ($\mu < 1$).

La adherencia se expresa en tanto por uno. Así, por ejemplo, si la masa que gravita sobre un eje motor de una locomotora es de 20 t y si el coeficiente de adherencia es de 0,25, dicho eje sólo puede transmitir una fuerza horizontal de $20.000 \times 0,25 = 5.000$ daN, sea cual fuere la potencia del motor.

En el frenado, de forma análoga, la adherencia es el cociente entre la fuerza que gravita sobre un eje que frena y la fuerza horizontal de frenado que puede transmitir dicho eje. Se concluye que el coeficiente de adherencia es la medida de la efectividad con que un vehículo puede emplear su peso a la tracción o al freno, sin que las ruedas patinen.

Respecto a las condiciones de la locomotora que favorecen el aumento de la adherencia están: las barras de tracción bajas, buena suspensión, los equipos electrónicos de control de tracción (chopper y más aún tracción trifásica). Las condiciones de la vía que permiten obtener una elevada adherencia son el buen estado de la misma en cuanto a nivelación, carril soldado y, sobre todo, el estado superficial del carril. El carril sucio disminuye notablemente la adherencia. En este último caso, se puede aumentar la adherencia mediante el uso de arena.

En el caso de frenado, dado que todos los vehículos del tren disponen de sistema de frenos, la masa adherente en freno es mucho más alta que en tracción.

11.3.1 Evolución del control del patinaje

Las máquinas de vapor primitivas, no disponían de sistemas de control y de mejora de la adherencia. Cuando el tren patinaba, el maquinista cortaba la tracción para evitar el patinaje. Al principio, se controlaba el deslizamiento instalando una luz en cabina que avisaba al conductor, que dejaba caer arena sobre el carril. Posteriormente, el control automático de la adherencia, cortaba la potencia cuando se detectaba deslizamiento. Este sistema permitió aumentar la adherencia al 16% ó 20%.