

JURIDICA



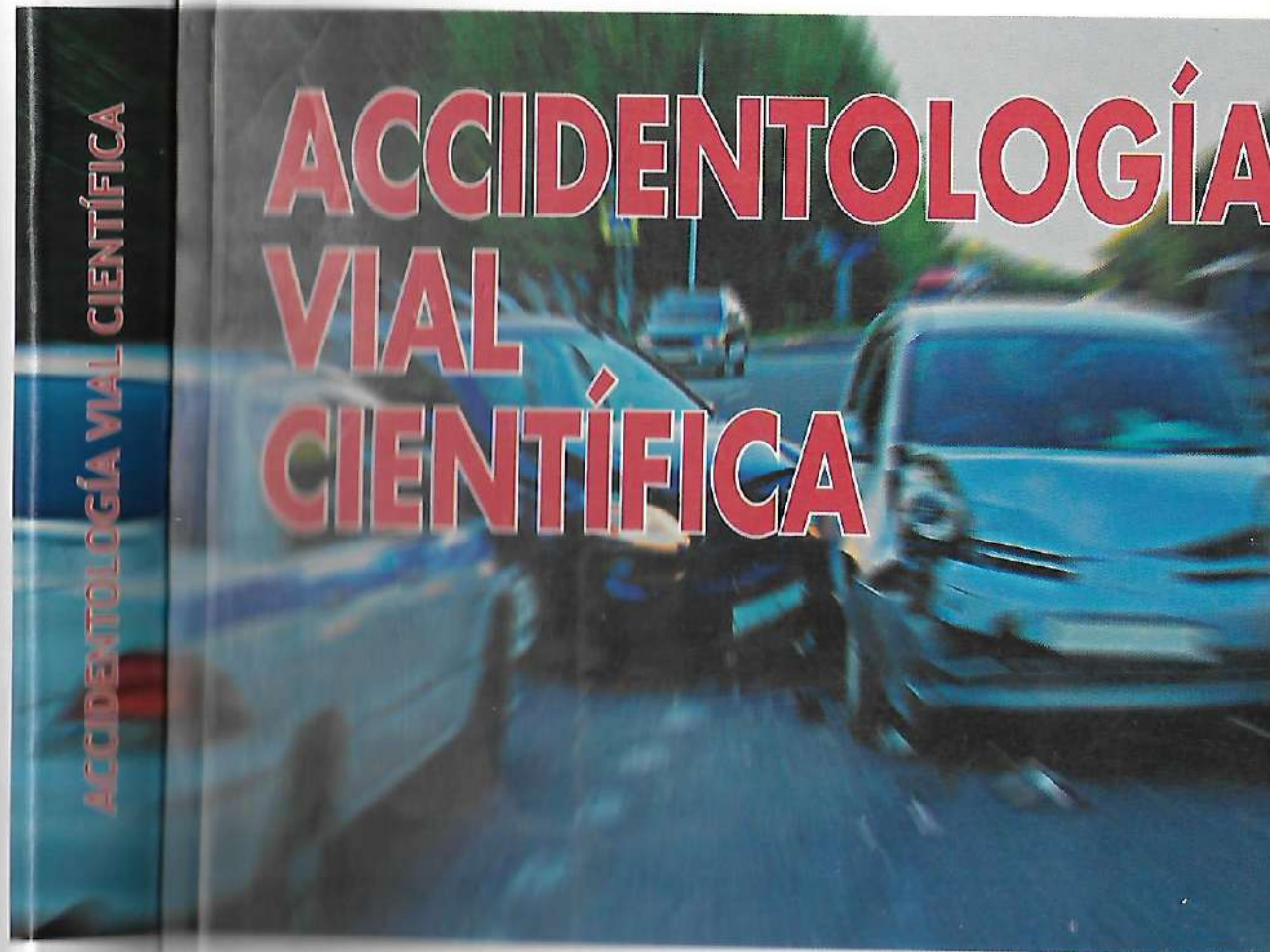
IRURETA

ACCIDENTOLOGÍA VIAL CIENTÍFICA



VÍCTOR A. IRURETA
Con la colaboración de
AGUSTINA IRURETA

ACCIDENTOLOGÍA VIAL CIENTÍFICA



CATHEDRA
JURÍDICA

VÍCTOR A. IRURETA
Con la colaboración de
AGUSTINA IRURETA

ACCIDENTOLOGÍA VIAL CIENTÍFICA



CATHEDRA
JURÍDICA

EDICIONES CATHEDRA JURÍDICA

Lavalle 1280

C1048AAF - Ciudad de Buenos Aires

República Argentina

Tel.: (54-11) 4382-4780/0295

Fax: (54-11) 4382-4780

E-mail: info@cathedrajuridica.com.ar

cathedrajuridica@yahoo.com.ar

www.cathedrajuridica.com.ar

Irureta, Victor A.

-Accidentología vial científica / Victor A. Irureta. - 1a ed ilustrada. -

Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Cathedra Jurídica, 2017.

416 p. ; 23 x 16 cm.

ISBN 978-987-3886-23-2

1. Criminalística. 2. Informe Pericial. 3. Accidente de tránsito.

I. Título.

CDD 363.1065

*A mis padres
A mi hija Agustina
A mi hermano Martín y su familia:
Marisa, Manu, Sari, Tomy*

Hecho el depósito que dispone la ley 11.723

Está prohibida y penada por la ley la reproducción total o parcial de este libro por ninguna forma o procedimiento. Reservados todos los derechos.

ÍNDICE GENERAL

PREFACIO DEL AUTOR.....	XXV
-------------------------	-----

Libro I

Generalidades

CAPÍTULO 1. ACCIDENTES DE TRÁNSITO	3
Real Academia Española de la Lengua.....	3
<i>Accidente</i>	3
Accidente de tránsito o vial	4
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE LA ACCIDENTOLOGÍA.....	7
Método de Descartes.....	7
<i>Dudar</i>	8
<i>Sistematizar</i>	8
<i>Ordenar</i>	9
<i>Agotar</i>	9
CAPÍTULO 3. LA INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES	11
Relevamiento, recolección y registro de datos	11
<i>Límites del escenario del accidente</i>	11
<i>Métodos de relevamiento gráfico</i>	12
<i>Coordenadas cartesianas</i>	12
<i>Coordenadas polares</i>	13
<i>Triangulación</i>	13
Hito	14
<i>Líneas curva</i>	15
<i>Daños a las cosas</i>	15

<i>Cristales dispersos</i>	15
<i>Referencia dimensional</i>	15
<i>Escaner Laser tridimensional</i>	16
<i>Estación total</i>	16
La reconstrucción del accidente.....	16
El análisis.....	17

Libro II

Reconstrucción de accidentes

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE LA RECONSTRUCCIÓN	21
<i>Método directo</i>	21
<i>Método indirecto</i>	21
Protagonistas del accidente.....	21
<i>Protagonista Directo Activo (PDA)</i>	22
<i>Protagonista Directo Pasivo (PDP)</i>	22
<i>Protagonista Indirecto Activo (PIA)</i>	22
<i>Protagonista Indirecto Pasivo (PIP)</i>	22
CAPÍTULO 5. DECLARACIONES Y TESTIMONIOS. VALORACIÓN DE TESTI- GOS. TESTIMONIOS	23
Factores que afectan las declaraciones	23
<i>Subjetividad</i>	23
<i>Percepción</i>	24
<i>La percepción es muy falible</i>	24
<i>Racionalización</i>	25
<i>Implante de recuerdos</i>	25
<i>Manipulación de la memoria</i>	27
<i>Reconsolidación</i>	28
<i>Ceguera por concentración (o por atención)</i>	28
Conclusiones.....	29
CAPÍTULO 6. EL TRIÁNGULO DEL ACCIDENTE	31
<i>Factor humano</i>	31
<i>Factor ambiental (o entorno)</i>	31
<i>Factor máquina (o automotor)</i>	31
Trampa Lógica.....	33
Consecuencias.....	33
Evidencia de la Falacia	34
Validación por sensibilidad.....	34

Motivos de la Falacia.....	35
Conclusiones.....	36
<i>En conclusión</i>	37
Puntos negros.....	37
CAPÍTULO 7. LA MODELIZACIÓN ACTUAL. MODELO DE "REASON" O DE LA SECUENCIA CAUSAL O DEL "QUESO SUIZO"	38
<i>Trayectoria de oportunidad de un accidente</i>	39
<i>Modelo del queso Gruyere</i>	39
<i>Fallas o errores latentes</i>	39
<i>Las fallas humanas o las fallas activas a nivel opera- cional</i>	40
CAPÍTULO 8. LA SISTEMATIZACIÓN ADECUADA.....	45
<i>Fallas latentes</i>	45
CAPÍTULO 9. UBICACIÓN TÉMPORO-ESPACIAL DEL ACCIDENTE	47
Macroubicación	47
<i>Aspecto espacial</i>	47
<i>Aspecto Temporal</i>	47
Ubicación.....	48
<i>Aspecto espacial</i>	48
<i>Aspecto temporal</i>	48
Microubicación.....	48
<i>Aspecto espacial</i>	48
<i>Aspecto temporal</i>	49
CAPÍTULO 10. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE IMPACTO:.....	50
a) <i>Polvos o barro</i>	50
<i>Velocidad terminal</i>	51
b) <i>Ensanchamiento de las huellas de frenado</i>	52
c) <i>Marcas y daños en el pavimento</i>	52
d) <i>Cambio brusco en la dirección de las huellas</i>	53
e) <i>Corte de huellas</i>	54
f) <i>Regueros</i>	55
g) <i>Intersección de trayectorias</i>	55
h) <i>Interacción de fuerzas</i>	55
i) <i>Proceso iterativo</i>	55
CAPÍTULO 11. ITINERARIOS PREVISTOS POR LOS PROTAGONISTAS.....	57

59	CAPÍTULO 12. TRAYECTORIAS PREVIAS DE LOS PROTAGONISTAS.....
59	Las huellas de neumáticos.....
59	Arañazos.....
60	Deformaciones permanentes.....
60	Ángulo de incidencia.....
61	Trayectorias posteriores.....
61	Trayectorias previas.....
62	CAPÍTULO 13. TRAYECTORIAS POSTERIORES.....
62	Rezagos.....
62	Huellas de neumáticos.....
62	Arañazos.....
63	Partes de carrocería.....
63	Regueros líquidos.....
63	Cristales.....
63	Resos de las víctimas.....
63	Barrido.....
64	CAPÍTULO 14. POSICIONES FINALES DE LOS PROTAGONISTAS.....
65	Huellas de frenado.....
65	Charcos de fluidos.....
65	La sangre.....
65	Choque secundario.....
66	CAPÍTULO 15. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES.....
66	Climáticas.....
66	El tipo de piso y su estado.....
67	Características del camino.....
67	Temperatura.....
67	Encandilamiento.....
67	En nocturnidad.....
68	Encandilamiento solar.....
68	Lluvia.....
69	La niebla.....
70	Conspicuidad.....
71	CAPÍTULO 16. IMPORTANCIA DEL CAMINO.....
71	Libro Blanco del Transporte en Unión Europea.....
72	Obstrucciones a la perfección.....
72	Obstáculos rígidos.....
72	Grandes pendientes.....

72	Desniveles entre calzada y las banquetas.....
72	Curvas demasiado cerradas.....
72	Cambios bruscos de razante.....
73	Defectos de diseño o mantenimiento.....
73	Ahuellamiento.....
73	Defectos de diseño, construcción, administración y/o mantenimiento.....
73	Cruces a nivel.....
73	Pavimentos.....
73	Banquetas estrechas y/o resbaladizas.....
73	Fe dogmática en la efectividad de la señalización.....
75	Ingeniero Pascual Palazzo.....
76	CAPÍTULO 17. DAÑOS A LAS COSAS (DEFORMACIÓN Y ROTURA DE LOS MATERIALES).....
76	Deformaciones principales —directas— inducidas.....
77	Deformaciones inducidas.....
77	Deformaciones principales.....
77	Deformaciones directas.....
77	Indirectas.....
78	Algo de resistencia de materiales.....
78	Tipos de sollicitaciones.....
79	Pandeo.....
80	Elasticidad.....
80	Límite elástico.....
80	Límite de rotura.....
81	Límite de fluencia.....
81	Deformaciones remanentes.....
82	Deformaciones máximas.....
82	Conclusiones.....
85	CAPÍTULO 18. DAÑO A LAS COSAS. ROTURA DE CRISTALES.....
85	Vidrio común.....
86	Cristal templado.....
87	Cristal de seguridad.....
90	CAPÍTULO 19. DAÑO A LAS COSAS. ROTURA DE LÁMPARAS. ESTADO DE LAS LUMINARIAS.....
90	Focos incandescentes.....
90	Focos LED (Diodos emisores de luz).....

<i>Tubos de descarga ("de Vacío" o "luces de Xenón")</i>	90
<i>Luces de xenón</i>	91
CAPÍTULO 20. ACCIDENTES CON PEATONES.....	95
Introducción.....	95
Descripción genérica de un embestimiento.....	95
<i>Primer contacto</i>	95
<i>Segundo contacto</i>	96
Trayectorias post-impacto de peatones embestidos.....	97
CAPÍTULO 21. TRAYECTORIAS TÍPICAS DE PEATONES EMBESTIDOS.....	99
Trayectoria I): proyección frontal (<i>forward projection</i>).....	99
Trayectoria II): arrollamiento (<i>run over</i>).....	100
Trayectoria III) montado sobre capot (<i>wrap trajectory</i>).....	101
<i>Wraparound</i>	102
Trayectoria IV): vuelta por guardabarros (<i>fender vault</i>).....	104
Trayectoria V): vuelta por el techo (<i>roof vault</i>).....	105
Trayectoria VI): salto mortal (<i>somersault</i>).....	106
Comentario sobre las tablas existentes.....	106
CAPÍTULO 22. NOTA GENERAL SOBRE LESIONES.....	107
CAPÍTULO 23. PERSONAS TRANSPORTADAS.....	109
Mecanismos lesivos.....	109
<i>Golpear contra partes del interior</i>	109
<i>Cinturones de seguridad y las bolsas de aire (air-bags)</i>	109
<i>Latigazos de cuello</i>	110
<i>Deformación de la estructura del rodado</i>	110
<i>Órganos internos se mueven y golpean</i>	110
<i>Estiramiento de los axones neuronales</i>	110
<i>Proyección de objetos sueltos</i>	110
CAPÍTULO 24. ROZAMIENTO Y ADHERENCIA.....	112
Rozamiento, adherencia, frenado.....	112
<i>Coefficiente de rozamiento estático "μe"</i>	113
<i>Resistencia por rozamiento estático, o adherencia</i>	113
<i>Coefficiente de rozamiento dinámico o de fricción "μ"</i>	113
Leyes de la fricción.....	114
Otros factores que inciden sobre el coeficiente de fricción.....	116
Valores del coeficiente de fricción medio [neumáticos-piso]...	116

Valores para camiones.....	117
Factor de desaceleración o frenado — Drag factor —.....	118
Otros coeficientes de fricción usuales.....	119
<i>Motos</i>	119
<i>Vuelco - Choque</i>	120
<i>Derrape</i>	120
<i>Cuerpo Humano</i>	121
<i>Sensibilidad</i>	121
Efecto de las pendientes.....	121
<i>Coefficiente Friccional Corregido "μc"</i>	122
CAPÍTULO 25. FRENADO.....	123
<i>Aceleración negativa</i>	123
<i>Descripción del proceso</i>	123
<i>Resbalamiento "S"</i>	124
<i>Bloqueo</i>	124
<i>Huellas de frenado</i>	125
<i>Ensayos de frenado</i>	125
<i>Drag factor</i>	126
Frenado de pánico o stop panic.....	126
<i>ABS (Anti Blocking Sistem)</i>	127
CAPÍTULO 26. HUELLAS DE NEUMÁTICOS.....	128
Huellas de frenado.....	128
<i>Huella difusa</i>	129
<i>Corte de neumático con presión correcta</i>	133
<i>Corte de neumático con presión insuficiente</i>	133
<i>Frenado con neumático desinflado</i>	133
<i>Corte de neumático con sobrepresión</i>	134
<i>Frenado con neumático sobreinflado</i>	134
Huellas de derrape.....	134
<i>Derrape en frenada</i>	135
<i>Transición de derrape a frenado</i>	136
<i>Separación de huellas</i>	137
<i>Derrape de la rueda que es centro de giro</i>	140
Huellas de rodadura.....	141
Huellas de aceleración.....	142
Huellas sobre pisos "blandos".....	143
Otros tipos de huellas.....	144
Falsas huellas.....	144

CAPÍTULO 27. AUSENCIA DE HUELLAS - ABS.....	146
<i>Modulación</i>	146
<i>ABS</i>	146
<i>Huellas de frenado sin ABS sobre pavimento seco</i>	148
<i>Huellas de frenada con ABS sobre pavimento seco</i>	148
<i>Resumen</i>	148
CAPÍTULO 28. HIDROPLANEÓ.....	149
Definición.....	149
Causas	149
Consecuencias.....	150
Descripción	150
Velocidad mínima de hidroplaneo	151
Conclusiones.....	153
CAPÍTULO 29. "EFICIENCIA" DE FRENADO (DISCUSIÓN)	155
CAPÍTULO 30. OTRAS RESISTENCIAS	161
Resistencia al avance	161
<i>Resistencia de rodadura</i>	161
<i>"Rozamiento" de rodadura</i>	161
<i>Resistencia aerodinámica</i>	164
Resistencia debida a la pendiente "Ri"	166
Energía total insumida por la detención sin frenar	167
Energía total para el caso de detención con frenado.....	167
CAPÍTULO 31. VELOCIDADES. SU DETERMINACIÓN ENERGÉTICA. POR HUELLAS.....	169
<i>Energía total transformada (caso general)</i>	173
Rototraslación	175
CAPÍTULO 32. LONGITUD EFECTIVA DE LAS HUELLAS DE DERRAPE. VELOCIDAD.....	178
Velocidad crítica	179
CAPÍTULO 33. CÁLCULO DE LA ENERGÍA INSUMIDA POR DEFORMACIONES.....	181
<i>Rango de aplicabilidad del método</i>	186
Determinación de la energía de deformación por deformaciones remanentes.....	186
<i>Penetraciones</i>	187
<i>Coefficientes aplicables</i>	188

CAPÍTULO 34. VALIDEZ DEL CÁLCULO DE VELOCIDAD POR DEFORMACIONES	192
<i>Limitaciones</i>	194
<i>Discusión</i>	195
<i>Conclusiones</i>	197
CAPÍTULO 35. CÁLCULO DE VELOCIDAD POR DEFORMIDADES EN MOTOCICLETAS	198
CAPÍTULO 36. CHOQUES CONTRA OBJETOS ESBELTOS	200
CAPÍTULO 37. CÁLCULO DE VELOCIDAD APLICANDO CANTIDAD DE MOVIMIENTO.....	202
<i>Ejemplo de cálculo</i>	203
<i>Energía Equivalente</i>	207
CAPÍTULO 38. LAS FUERZAS DIRECTRICES	210
Giro	210
Fuerzas sobre los neumáticos en frenado	211
CAPÍTULO 39. ESTUDIO DE COLISIÓN	215
<i>Contacto Inicial</i>	215
<i>Primer Contacto</i>	215
<i>Engrane</i>	215
<i>Máximo Contacto</i>	216
<i>Separación</i>	216
Clasificación mecánica de los choques.....	216
<i>Choque elástico</i>	216
<i>Completamente inelástico o plástico</i>	217
<i>Coefficiente de restitución</i>	218
Clasificación geométrica de los choques	219
<i>Choques Frontales, Laterales, Traseros, Angulares</i>	219
<i>Otra sistematización</i>	221
Choque central	223
<i>Choque perfectamente inelástico</i>	223
<i>Choque imperfectamente elástico (real)</i>	223
<i>Choque perfectamente elástico</i>	224
Choque excéntrico	227
Interpretación de deformaciones.....	227

CAPÍTULO 40. EMBESTIDO - EMBISTENTE	232
El método de las dos películas	236
CAPÍTULO 41. EMBISTENTE VIRTUAL	239

Libro III

Análisis de accidentes

CAPÍTULO 42. GENERALIDADES	243
Evitabilidad física del accidente	243
Puntos accidentológicos	243
Riesgo	244
Peligro	244
CAPÍTULO 43. TIEMPO DE PERCEPCIÓN Y REACCIÓN	246
Componentes del TPR	246
Primera etapa: Detección (TP)	247
Demora en la percepción	247
Segunda etapa: Identificación	247
Tercera etapa: Evaluación	248
Reacción exagerada (over-reaction)	248
Cuarta etapa: Decisión	249
Quinta etapa: Respuesta	249
Nota	250
Tiempo de percepción y reacción total (TPRT)	250
Respuesta mecánica	250
CAPÍTULO 44. FUNDAMENTOS DE LOS VALORES DEL TIEMPO DE PERCEPCIÓN Y REACCIÓN	252
Influencia del alcohol, otras drogas y factores	255
Alcohol	256
Marihuana	256
Otras drogas	256
Influencia de la edad	257
Influencia del sexo	257
Influencia de la fatiga	257
CAPÍTULO 45. CUANTIFICACIÓN DEL TR — TIEMPO DE REACCIÓN —	258
Reacción refleja: TR aprox. 0,1 seg, TRT: 0,60 segs	258
Reacción simple: TR: aprox. 0,5 segs - TRT: 1 segs	258

Reacción compleja: TR: aprox. 1 seg - TRT: 1,50 segs	259
Reacción discriminatoria: TR más de dos segundos	259
Intervalo entre maniobras consecutivas	259
CAPÍTULO 46. PUNTOS ACCIDENTOLÓGICOS	260
Punto clave o crítico	260
Punto de posible percepción (PPP)	261
Punto de posible detección (PPD)	261
Punto de percepción efectiva (PPE)	262
Demora y distancia de percepción	262
Pronta Percepción	262
Percepción Tardía, o Excesivamente Demorada	263
Distancia de percepción	263
Punto de respuesta (PDR)	263
Punto de posible comienzo de acción evasiva (PCAE)	263
Punto de comienzo de acción evasiva (CAE)	264
Acción evasiva (AE)	265
Punto de impacto (PDI)	265
Impacto	265
Contacto inicial	265
Máximo contacto	266
Último contacto	266
Punto de posición final (PF)	267
CAPÍTULO 47. EVITABILIDAD FÍSICA DEL ACCIDENTE	269
Punto sin solución (PSS)	269
CAPÍTULO 48. CAUSAS FUNCIONALES DEL ACCIDENTE	273
Errores y demoras en la percepción	273
Errores y demoras en la reacción	274
Errores y demoras en la respuesta mecánica	276
Causas posibles	277
Atención	278
CAPÍTULO 49. MINORIZACIÓN DE CONSECUENCIAS, EVALUACIÓN	279
Evaluación de maniobras	280
Área teórica de maniobras posibles	280
Determinación de los límites del área de maniobras posibles ..	281
Área real de maniobras posibles	282

Libro IV

Física básica imprescindible

CAPÍTULO 50. ELEMENTOS DE MECÁNICA	287
Cinemática [Estudio del movimiento]	287
Movimiento rectilíneo.....	287
Movimiento rectilíneo uniforme.....	287
Velocidad constante	287
Tiempo	288
Distancia.....	288
Movimiento rectilíneo variado.....	288
Velocidad promedio	288
Velocidad media.....	288
Diferencia entre velocidad promedio y velocidad media	289
Velocidad instantánea.....	289
Aceleración instantánea.....	289
Aceleración media.....	289
Velocidad final	289
Tiempo	290
Velocidad media.....	290
Distancia recorrida	290
Tiempo	290
Aceleración "a"	290
Movimiento Circular.....	291
Movimiento Circular Uniforme	291
Velocidad angular " ω "	291
Velocidad tangencial " V_t "	292
Aceleración centrípeta o radial " A_c "	292
Movimiento Circular Variado.....	292
Aceleración angular media " Ω "	292
Aceleración tangencial " A_t "	293
Aceleración total	293
Dinámica: [Estudio de las causas del movimiento].....	293
Fuerza.....	293
Masa	293
Principio del centro de masa o de gravedad	294
Primera Ley de Newton de la Dinámica (Principio de Inercia)	294
Segunda Ley de Newton de la dinámica o Principio de Masa..	296
Unidades de masa.....	297
Unidades de fuerza	297

Algunas equivalencias	298
Masa	298
Fuerza.....	298
Tercera Ley de Newton o principio de acción y reacción.....	298
CAPÍTULO 51. FORMAS DE LA ENERGÍA	300
Energía mecánica.....	301
Energía Cinética.....	301
Energía de Trabajo	301
Energía Potencial	301
Energía de Deformación.....	302
Energía Calórica	302
Principio de conservación de la energía.....	303
Principio de las Fuerzas Vivas	304
CAPÍTULO 52. OTROS IMPRESCINDIBLES PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA ...	306
Principio de conservación de la cantidad de movimiento.....	306
La cantidad de movimiento (CM o Q)	306
Impulso y cantidad de movimiento.....	308
Momento de la cantidad de movimiento.....	308
Momento de impulso	309

Libro V

Ejemplos y aplicaciones

CAPÍTULO 53. ALGUNOS EJEMPLOS DE CÁLCULOS DE VELOCIDAD	313
1) Cálculo de la velocidad previa al inicio de una frenada basado en la longitud de las huellas de deslizamiento	313
2) Cálculo de la velocidad inicial de un móvil cuando se conoce sólo la distancia total de detención (desde la percepción hasta la detención total)	314
3) Cálculo de la velocidad inicial de un móvil cuando se conoce solo la distancia total de detención e interesa conocer la duración temporal de las maniobras	315
Nota	316
4) Cálculo de la velocidad inicial de un móvil cuando se conoce sólo la distancia total de detención y no hay evidencia de frenada.....	316

<i>Energía total insumida por la detención sin frenar</i>	317
5) Velocidad crítica en curvas - derrape.....	318
CAPÍTULO 54. OTRAS DETERMINACIONES ÚTILES	320
Determinación del radio de curvatura.....	320
Determinación de distancia mínima a la que se debe iniciar una maniobra para esquivar un obstáculo.....	321
Cálculo de la distancia "D" a que debería haber empezado el frenado con desaceleración "a" un móvil que avanzaba con velocidad "V" para llegar a un punto, un lapso "t" más tarde de lo que lo hizo	323
Cálculo de la distancia "D" a que debería haber hecho el "re-prise" con aceleración "a" un móvil que avanzaba con velocidad "V" constante, para llegar a un punto, un lapso "t" antes de lo que lo hizo	323
Cálculo de la distancia "D" a que debería haber hecho el "re-prise" con aceleración "a" un móvil que avanzaba con velocidad "V" y frenó, para llegar a un punto, un lapso "t" antes de lo que lo hizo	324
Cálculo de velocidad y determinación de punto de impacto en función de las posiciones finales de dos objetos que sufrieron fenómenos físicos distintos	325
CAPÍTULO 55. VUELCO.....	328

Libro VI

Caídas y proyecciones

CAPÍTULO 56. CAÍDA LIBRE. PROYECCIÓN BALÍSTICA	335
Cálculo de la velocidad de proyección de una partícula o cuerpo, conocidas su altura inicial y la distancia entre el sitio donde llegó al piso y donde fue proyectado (proyección balística).....	336
<i>Proyección no horizontal ($\alpha \neq 0$)</i>	336
<i>Proyección horizontal ($\alpha = 0$)</i>	336
CAPÍTULO 57. DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE IMPACTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA TOTAL DE PROYECCIÓN. SEARLE	338
Peatones - objetos o cuerpos portados	338

<i>Velocidad inicial</i>	340
<i>Mínima de proyección</i>	340
<i>Velocidad máxima</i>	340
<i>Velocidad de embestimiento</i>	341
CAPÍTULO 58. MÉTODO I.A.V. PARA RECONSTRUIR EMBESTIMIENTO DE PEATONES	343
Etapas de un embestimiento	344
Descripción de las etapas de accidente con peatón.....	344
Consecuencia importante.....	349
<i>Aclaración</i>	349
CAPÍTULO 59. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE IMPACTO CONOCIDA. SÓLO LA DISTANCIA ENTRE POSICIONES FINALES CON ÁNGULO DE PROYECCIÓN NULO MONTADO SOBRE CAPOT	346
Consecuencia importante.....	349
<i>Aclaración</i>	349
Libro VII	
Ejemplo de reconstrucción y análisis de un accidente	
CAPÍTULO 60. EJEMPLO DE RECONSTRUCCIÓN DE UN ACCIDENTE	353
<i>Energía insumida por el vuelco de I</i>	357
<i>Energía insumida por la trayectoria post-impacto de I</i>	358
<i>Energía disipada por el movimiento post-impacto del rodado II</i>	359
<i>Energía insumida por las deformaciones</i>	360
<i>Energía disipada por el frenado del II antes del impacto</i> ..	360
CAPÍTULO 61. EJEMPLO DE ANÁLISIS DE UN ACCIDENTE.....	363
Para rodado II.....	363
<i>Punto de posible percepción</i>	370
Para el rodado I.....	370
Evitabilidad del accidente.....	371
<i>Causas del accidente</i>	372
CAPÍTULO 62. POSICIÓN LONGITUDINAL Y ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD. RODADO DE DOS EJES	373
Altura del centro de gravedad.....	374

CAPÍTULO 63. DATOS ÚTILES	376
Visibilidad.....	376
Frenado	376
<i>Valores para camiones</i>	377
<i>Motos</i>	377
Frenado con máxima eficacia	378
<i>Derrape</i>	378
<i>Hidroplaneo</i>	378
<i>Disipación de energía cinética</i>	378
Lapso que insume la aparición de huellas nítidas desde el Frenado	378
Coeficientes friccionales para vuelco o choque	378
Coeficientes de rodadura (para neumáticos bien inflados)	379
Coeficiente de restitución automóviles	379
Cuerpo humano.....	379
Tiempo de percepción y reacción	379
Duración de la respuesta de elementos mecánicos	379
Duración de los distintos tipos de reacción y tiempo de reacción total	380
Lapsos standards que insumen distintas acciones.....	380
Intervalo entre maniobras evasivas consecutivas	380
Desvío lateral perceptible por rodado enfrentado.....	380
Velocidades de referencia	380
Aceleraciones de referencia en m/s ²	381
Ángulo crítico de proyección —ecuaciones de Searle—	382
Relación entre la velocidad de embestimiento “VE” y la velocidad de proyección de peatones “VP”	382
Velocidad terminal	382
BIBLIOGRAFÍA	383

PREFACIO DEL AUTOR

Venimos sosteniendo que la Seguridad Vial debería ser encarada siempre con arreglo al Método Científico.

Consecuencia de esto sería descartar falacias, mitos que, pese a no tener sustento fáctico, a fuerza de ser repetidos se han convertido en “verdades reveladas”, y como tales aceptadas acríticamente por muchos.

Así, basándose en estas “verdades” a veces se proponen o aplican medidas de Seguridad Vial que no solucionan la siniestralidad y posiblemente la agraven, al menos por la postergación que generan en la instrumentación de soluciones eficaces.

Mientras tanto mueren y se lesionan personas.

La Ciencia permite evitar el método de “prueba y error”, o, al menos, acortarlo.

La racionalidad en Seguridad Vial es análoga a la racionalidad en Salud Pública. Ésta no puede ofrecer soluciones a la sociedad basándose en los “saberes” populares o mitos culturales sin verificación científica.

La Salud Pública sólo es efectiva si se basa en el Saber Científico que le aporta la Medicina. Mal estaríamos si se basase en la intuición de los funcionarios o propuestas de charlatanes o hechiceros.

Análogamente, la Seguridad Vial sólo puede ser eficiente si se basa en los datos que surgen de la Accidentología Vial Científica.

fica (que también hay Accidentología Vial “mágica”, la que pone resultados “a ojo”). Mal estaríamos (¿o estamos?) si se basase en la intuición de los funcionarios o propuestas de charlatanes.

En algún congreso hemos sostenido que la Accidentología Vial es (o debería ser) a la Seguridad Vial, lo que la Medicina es a la Salud Pública.

Así, incrementar la racionalidad, la ciencia, en Accidentología es hacerlo en la Seguridad Vial.

En este orden de ideas resulta imprescindible mejorar siempre las herramientas científicas y metodológicas de la accidentología.

Por eso, en este libro, evolución de “Accidentología Vial y Pericia” —5ª edición—, hemos reforzado la cuestión metodológica, proponiendo la aplicación de, al menos, las normas de Descartes para la producción de informes y se muestran algunas de las causas de los mitos recurrentes, intentando acabar con ellos.

Se ha especificado lo elemental sobre el relevamiento y registro de datos, incorporando las nuevas tecnologías.

Se ha profundizado en las cuestiones inherentes a las deformaciones sufridas por los móviles a consecuencia de los choques.

Hemos ampliado la cuestión de los testimonios y declaraciones, con los descubrimientos de las neurociencias, esbozando los fenómenos de “racionalización”, “implante de recuerdos”, “manipulación”, etcétera.

También se han incorporado nuevas metodologías para reconstruir los casos de embestimientos de peatones.

Se muestran ejemplos sobre el frenado con ABS, así como de distintos tipos de huellas de neumáticos.

Se han esbozado algunas cuestiones referidas a sollicitación y resistencia de materiales, en aras de facilitar su entendimiento cuando se las menciona.

Se ha aclarado la metodología de la reconstrucción, en lo que hace a la utilización de la cantidad de movimiento.

Hemos graficado los tipos de colisiones en función de su posición relativa.

Se ha considerado el tema de embestimiento de objetos esbeltos, como árboles y columnas.

Se ha analizado el tema de la resistencia aerodinámica.

Se especifican las causas mediatas de un accidente y se han aclarado algunas cuestiones que se prestaban a confusión, como la sintaxis de las ecuaciones.

En función de los resultados de recientes investigaciones (que se esbozan) se ha enfatizado la importancia del camino o vía en la génesis de los accidentes.

En prácticamente todos los temas se han profundizado y/o aclarado mediante texto y/o gráficos y/o fotos las distintas cuestiones.

Como hemos dicho en otros prólogos, agradeceremos toda crítica, sugerencia, corrección, datos, y/o cualquier aporte que ayude a mejorar futuras ediciones y a ampliar nuestro conocimiento.

Por favor, hacerlas llegar a “vairureta@gmail.com”.

Muchas Gracias.

LIBRO

I

Generalidades

Capítulo 1

Accidente de tránsito

Real Academia Española de la Lengua:

Accidente. (Del lat. *accīdens*, -*entis*).

1. m. Cualidad o estado que aparece en algo, sin que sea parte de su esencia o naturaleza.
2. m. Suceso eventual que altera el orden regular de las cosas.
3. m. Suceso eventual o acción de que involuntariamente resulta daño para las personas o las cosas. *Seguro contra accidentes*.
4. m. Indisposición o enfermedad que sobreviene repentinamente y priva de sentido, de movimiento o de ambas cosas.
5. m. Pasión o movimiento del ánimo.
6. m. Irregularidad del terreno con elevación o depresión bruscas, quiebras, fragosidad, etcétera.
7. m. Síntoma grave que se presenta inopinadamente durante una enfermedad, sin ser de los que la caracterizan.
8. m. *Gram.* Accidente gramatical.
9. m. *Mús.* Cada uno de los tres signos, el sostenido, el bemol y el becuadro, con que se altera la tonalidad de un sonido.
10. m. pl. *Rel.* Figura, color, sabor y olor que en la eucaristía quedan del pan y del vino después de la consagración.

Accidente de tránsito o vial:

Vázquez, Adolfo (*Legislación sobre tránsito*):

“Todo suceso que altera el normal acontecer de las cosas y que apareja consecuencias jurídicas”.

“Aquel suceso imprevisto o eventual que produce una turbación en el desarrollo del accionar normal, presunto o previsible según lo que normalmente suele y debe ocurrir”.

Ley 24.449:

Todo hecho que produzca daño en personas o cosas como consecuencia de la circulación.

Código de Tránsito de la Provincia de Buenos Aires (Ídem decreto 40-07 de Emergencia Vial):

Hecho que causa daños a personas, material o cosas causado por la acción de un vehículo, animal de silla o tiro.

Berardo, Ma. Graciela (*Accidentes de tránsito*):

Es una situación dinámica, consistente en uno o más sucesos encadenados, no deseados, que ocurren en forma inesperada, generalmente de consecuencias ingratas.

Irureta, Víctor (*Accidentología vial y pericia*, 5ª ed.):

Un accidente es un suceso (o encadenamiento de sucesos) inesperado, imprevisto e indeseado, generalmente de consecuencias desagradables —lesiones a las personas y/o daños a las cosas—.

Nótese que esta definición coincide con la de la R.A.E. y no involucra al azar, se hace esta salvedad, debido a una tendencia relativamente reciente a darle a la palabra “accidente” una arbitraria sinonimia a “azar” o “inevitable”, lo que ha llevado a que en algunos sitios no se mencionen los accidentes por su nombre sino como “incidentes”, “eventos” o “hechos” de tránsito, debido a la presunción (a nuestro juicio falaz) de que cambiando el nombre se modifica el fenómeno.

Se ha propuesto, y el suscripto adhiere a ello, utilizar el término **Incidente** para caracterizar los fenómenos imprevistos, y no deseados, pero que no tienen consecuencias dañosas directas.

En el mismo sentido (evitar la palabra accidente) hay quienes proponen reemplazar “accidente” por “sinistro”, pero, si bien un accidente es un siniestro, dadas sus consecuencias nefastas, no todos los siniestros son accidentes, ya que los siniestros pueden ser voluntarios.

En accidentes de tránsito, habitualmente el “suceso” de nuestra definición es la coincidencia témporo-espacial de dos objetos y/o cuerpos.

Así definido, un accidente es una situación dinámica, que implica un encadenamiento de circunstancias y sucesos que culminan en él.

Este encadenamiento no implica que esté determinada la ocurrencia inexorable del accidente, aunque sí que la repetición idéntica de todas las circunstancias y procesos producirá idénticos resultados.

Este razonamiento parece condenarnos a buscar las causas del accidente en el principio de los tiempos, lo cual afortunadamente es un sofisma, ya que la variación de alguna de las circunstancias o sucesos aludidos, en un entorno de inmediatez del accidente, lo habría modificado, e incluso podría haberlo evitado.

Así, a los efectos de la reconstrucción o análisis del accidente, sólo es necesario estudiar un intervalo témporo-espacial acotado en el entorno del accidente.

Es decir, a los efectos accidentológicos, no es importante determinar si el conductor de un móvil accidentado retrasó el comienzo de su viaje (lo que hizo que estuviese en el sitio del accidente en el instante del mismo) por haber estado tomando unas copas, sino, si en instantes previos al accidente su aptitud para reaccionar adecuadamente estuvo afectada por el alcohol.

El **entorno témporo-espacial del accidente** está en primera instancia, y a los efectos de su análisis y reconstrucción, limitado previamente por los instantes-sitios desde donde los protagonistas tuvieron la primera oportunidad de percibir el riesgo, y luego

del accidente por los instantes-sitios donde se alcanzó la situación de reposo o estabilidad.

En un proceso ulterior puede ser necesario ampliar los límites, por ejemplo, hacia atrás buscando fallas mecánicas o humanas previas; y hacia adelante, para saber, por ejemplo, si previo al registro de los indicios, éstos fueron modificados y cómo.

Como se ve, esta ampliación, de existir, será particular para cada caso, y estará dirigida a esclarecer o aportar elementos que tuvieron incidencia en el entorno primero definido.

Capítulo 2

Metodología de la accidentología

En el prefacio nos hemos referido a la antítesis Accidentología Científica - Accidentología Mágica.

La primera es aquella que se basa en la ciencia, la lógica y los hechos comprobados.

La "mágica" obtiene sus resultados en base al "ojo", "experiencia", "intuición" o falsos científicismos (aparentes procesos científicos que en realidad enmascaran estimaciones, a veces destinadas a obtener el resultado "conveniente").

Para evitar caer en ella es necesario el apego estricto al Método Científico.

Escapa al objeto de estas páginas desarrollarlo en su totalidad, pero sí nos parece conveniente refrescar la primera de sus sistematizaciones por su acabada adecuación a la realización de pericias e informes de Accidentología Vial.

Nos referimos al **Método de Descartes**.

René Descartes (Francia, 1596-1650) en su "Discurso del Método" estableció las bases del método científico.

Descartes describía el método como *El conjunto de reglas ciertas y fáciles cuya exacta observancia permite que nadie tome nunca como verdadero nada falso y que sin gastar inútilmente ningún esfuerzo de inteligencia, llegue mediante un acercamiento gradual y continuo de ciencia, al verdadero conocimiento.*

Estableció cuatro normas para el mismo:

1) *No admitir jamás nada por verdadero que no sea tan evidentemente tal, que no pueda ponerse en duda (Dudar).*

Evitar minuciosamente la precipitación y el prejuicio (dudar de todo, no dar nada por sentado, desconfiar de los datos, métodos y valores que no hayamos verificado).

Aplicado a la accidentología, implica dudar de las versiones de los protagonistas, los testigos y basarse en los elementos físicos, y leyes de la ciencia.

Aun sobre los elementos físicos disponibles debe verificarse que efectivamente pertenezcan al hecho en cuestión, que no hayan sido modificados, que estén correctamente medidos, etcétera.

Aun las metodologías que se aplican a obtener conclusiones de evidencias físicas comprobadas, deben verificarse en cuanto a su aplicabilidad y grado de adecuación al caso.

Dar por válidas a priori versiones de las partes o datos, o metodologías genera no pocos errores y alejamiento de la verdad objetiva.

2) *Dividir cada tema en tantas partes como sea posible y necesario para resolverlas (Sistematizar).*

Es decir, relacionado con 1), dividir y subdividir los temas hasta que, en su sencillez, sea evidente lo verdadero y lo falso.

En un accidente de tránsito concurren un sinnúmero de elementos y fenómenos. Para su adecuado tratamiento es necesario descomponer cada uno de ellos en partes y/o subpartes, de modo de poder aplicar los principios de la ciencia a cada una de ellas y comprobar si su efecto se relaciona correctamente con las demás.

Tomar, acriticamente, por ejemplo las huellas de neumáticos como "de frenado" puede inducir a grandes errores tanto en la determinación de la velocidad como en la mecánica del accidente, ya que si en realidad son "de derrape", o "de rodadura" o combinaciones de algunas de éstas, los resultados pueden ser enormemente diferentes.

3) *Analizar racionalmente los temas de lo más sencillo a lo más complejo, "como por grados" (Ordenar).*

Relacionado con los anteriores, una vez divididos suficientemente los temas se hace evidente lo verdadero en cada etapa sencilla, y con esto resulta posible analizar lo verdadero en el grado inmediatamente superior de complejidad, que así se puede analizar desde bases ciertas interrelacionadas, siendo demostrable encontrar lo verdadero.

Así, por ejemplo, si en un accidente se analizaron correctamente las partes de huellas de neumático, los desplazamientos y giros pre y post impacto, las deformaciones sufridas, se acotó el error del método para determinar la energía insumida por éstas, etc. (etapa elemental), se podrá determinar un entorno de velocidades de circulación (etapa segunda), que analizadas en conjunto con condiciones de macro y microubicación, condiciones meteorológicas y geomorfológicas (otras etapas elementales) que determinan el escenario (otra etapa segunda), junto con otros elementos permite realizar el análisis de la evitabilidad del hecho, y ulteriormente evaluar las maniobras evasivas y/o determinar qué causó el accidente.

Obviamente sólo se podrá avanzar sólida y correctamente a grados superiores de conclusiones si se han cumplido acabadamente las etapas anteriores, so pena de obtener conclusiones sin fundamento, intuitivas o "mágicas".

No hacerlo así es parecido a dictaminar por medio del tarot u otra mancia.

4) *Hacer en cada caso enumeraciones tan completas y revisiones exhaustivas hasta tener la seguridad de no omitir nada (Agotar).*

Interpretado rigurosamente implica verificar también las interrelaciones e interdependencias de las partes y su funcionalidad, que puede conllevar que el todo sea distinto a la suma de las partes y a no dejar de considerar todas las alternativas de ocurrencia coherentes con los elementos objetivos.

Analizar todas las opciones o alternativas posibles, no quedarse con la primera que "cierre".

A veces los elementos objetivos son consistentes con varias soluciones, aceptar y dictaminar sólo una de ellas es esconder parte de la verdad científica.

Groseramente explicado: si dos automóviles en circulación chocan de frente, decir que uno de ellos embistió al otro es sólo una parte de la verdad, ya que, desde el punto de vista físico, el otro también es embistente.

El método cartesiano es una muy apropiada guía metodológica para realizar pericias en accidentología, perfectamente adecuada a las condiciones en que éstas deben practicarse.

Como hemos visto, los errores metodológicos conllevan graves apartamientos de la realidad objetiva, con lo cual la peritación contraría a la Justicia como valor.

Es interesante entonces notar la consistencia de los principios del método científico planteado por Descartes con las necesidades de una accidentología seria para evitar errores metodológicos.

En todos los casos se deben encontrar todas las formas posibles de ocurrencia, que se verifiquen con los datos y restantes elementos, es decir debe evitarse concluir la reconstrucción al encontrar la primera explicación plausible, debiendo continuarse hasta agotar las posibilidades razonables.

Capítulo 3

La investigación de accidentes

La investigación de accidentes está compuesta por tres grandes cuestiones:

- A) Relevamiento, recolección y registro de datos.
- B) Reconstrucción.
- C) Análisis del accidente.

Relevamiento, recolección y registro de datos

Debe tener lugar inmediatamente tras el accidente y no abundaremos en ella —hay mucha bibliografía al respecto— sólo mencionaremos algunas pautas, pues, aunque no se esté involucrado en esta etapa, es necesario frecuentemente evaluarla para tener certeza sobre su confiabilidad.

Deben registrarse todos los elementos presentes en el escenario del accidente con correctas y completas descripciones.

Límites del escenario del accidente

Como los indicios sobre un suceso o punto crucial pueden ubicarse lejanos a las posiciones finales, es necesario no limitarse a lo evidente, y buscar elementos aun en zonas relativamente alejadas a las mencionadas posiciones finales.

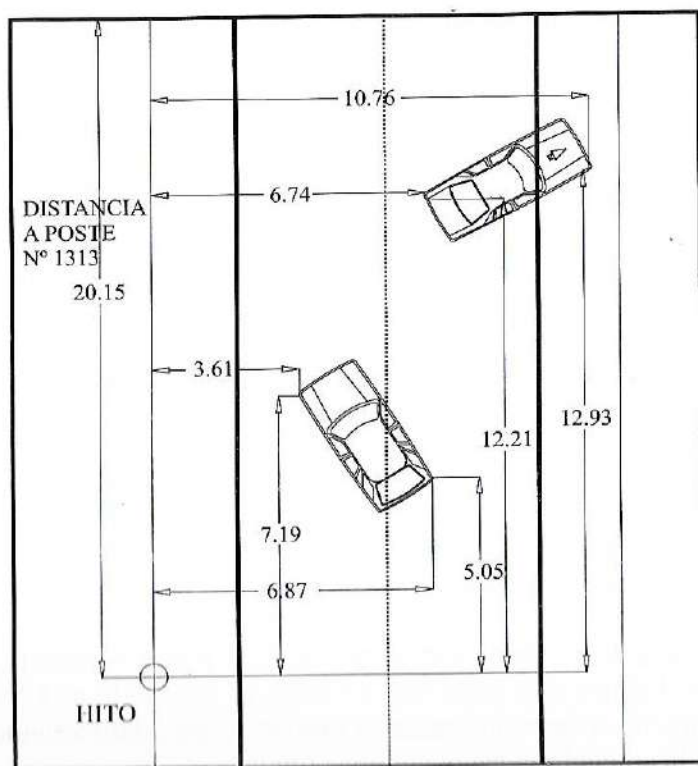
¿Cuán lejos? Depende de las velocidades involucradas, usualmente basta con la distancia que pudieron recorrer los móviles en los tres segundos previos al impacto.

Es fundamental que los registros permitan reproducir íntegramente los indicios, esto es que una vez desaparecidos todos los vestigios del accidente, sus elementos puedan ser recompuestos con perfecto apego a la realidad.

Esto se logra con mediciones correctas, ahora bien, hay tres maneras de ubicar la posición de un elemento.

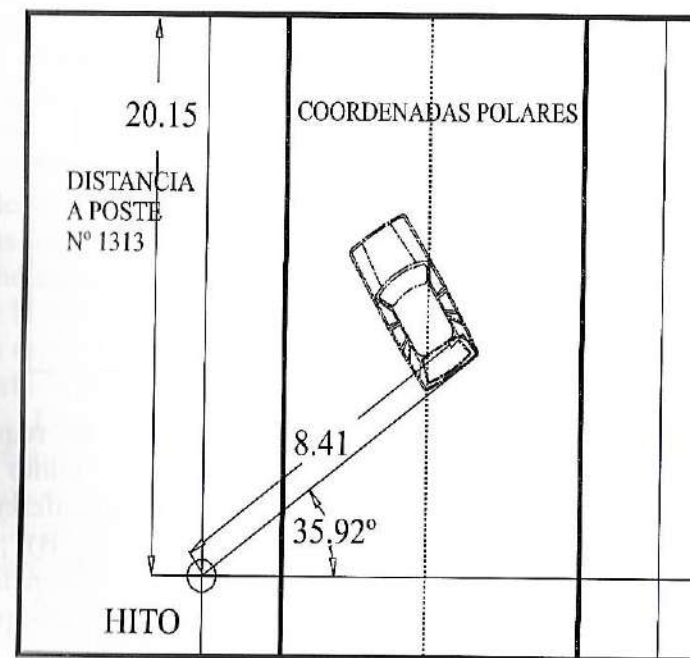
Métodos de relevamiento gráfico

Mediante **coordenadas cartesianas**, esto es, tomar las distancias desde un punto en sentido longitudinal y en sentido transversal (a veces se requiere la diferencia de alturas).



Suelen usarse sin mucho rigor ("A" quedó "X" metros hacia delante de "B", y a "Y" metros del borde de la ruta).

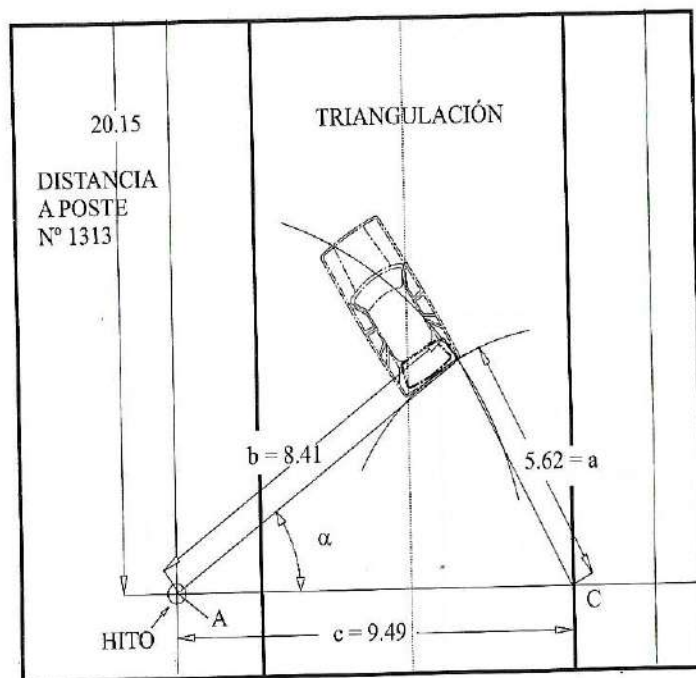
Otra manera es usar **coordenadas polares**, que consiste en tomar la distancia y la dirección (ángulo) a la que está un punto del otro. Tiene el inconveniente de requerir goniómetros, pínulas, compases, aunque muy frecuentemente se la usa algo ramplonamente (A quedó a X metros hacia la ciudad tal de B).



Triangulación: Un tercer modo de establecer la posición de un objeto es obtener su distancia a otros dos, y la distancia entre estos, de esta manera, ya sea por construcción geométrica o cálculos trigonométricos (teorema del coseno) se obtienen las posiciones relativas de los tres puntos.

Teorema del coseno:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2.b.c.\cos\alpha$$



La determinación geométrica tiene la ventaja de requerir sólo instrumentos de medición de longitudes, pues el punto buscado (C) de encontrará en el cruce de los arcos de circunferencia, trazados con las distancias como radios, y centros (A y B). ¡Cuidado!, indicar siempre de qué lado, ya que dos circunferencias se intersectan en *dos* puntos, en el gráfico de arriba habría otro punto simétrico por debajo de la línea que une los centros.

El método analítico es más preciso. Su desventaja es la necesidad de hacer numerosos cálculos.

HITO

Es imprescindible para poder reproducir el escenario con certeza que las mediciones estén referidas a un punto fijo e inmutable, que se tomará como **hito** (centro geométrico de una intersección, corte de la prolongación de los bordes de dos aceras

perpendiculares, un mojón o hito del camino, una columna identificable, un punto de una vivienda reconocible, etc.).

No hay inconveniente en que el registro sea realizado haciendo constar las posiciones relativas entre los distintos puntos, a condición de que, al menos, uno de ellos esté referido al hito.

Lo dicho es necesario para posicionar puntos u objetos pequeños, para hacerlo con cuerpos de mayor tamaño se deben posicionar al menos dos puntos de dicho objeto claramente identificados.

En el caso de **líneas curvas** (como pueden ser las huellas), la manera más fácil de hacerlo es ubicar varios puntos de las mismas.

En el caso de los **daños a las cosas**, no sólo deben describirse adecuadamente, por ejemplo en daños a los vehículos en qué zonas fueron afectados, magnitud y dirección de las deformaciones, sino también medidas, tomando como referencia algún elemento de la carrocería, en lo posible no afectado por las deformaciones, ya que esto puede ser de utilidad para determinar la energía absorbida por el impacto.

En el caso de **cristales dispersos**, regueros u otras marcas irregulares y difusas es conveniente dibujar en el sitio de los hechos el perímetro de la zona de dispersión (con tiza o similar) y luego ubicar los puntos principales de su contorno, mediante coordenadas.

Es muy útil que toda la escena sea fotografiada y/o filmada desde distintos ángulos, en tomas generales y de detalle, tomas apaisadas y rectas, convendría también que se obtuvieran tomas desde zonas elevadas, idealmente, a vuelo de pájaro, los "drones", aviones o helicópteros no tripulados son ideales para esto.

Es importante también que en algunas de las fotos aparezcan elementos reconocibles del paisaje, para, de ser necesario, poder referenciar su ubicación u orientación.

• Debería siempre colocarse en todas las fotos algún elemento de dimensiones conocidas, claramente visible, para poder, por medio de fotogrametría, hacer las verificaciones correspondientes, es decir una **referencia dimensional**.

Es importante también poder medir los ángulos verticales, mediante la utilización de clinómetros, manuales o digitales, ya que las pendientes, tanto ascendentes como descendentes, pueden tener significativa influencia.

Cuanto más y mejor información se tenga de los elementos del accidente, más cerca se estará de acercarse a la verdad objetiva, ya que la mejor peritación sólo podrá acercarse a ésta tanto como se lo permitan los datos, correctamente recolectados y adecuadamente registrados.

La recolección y registro de datos debería ser llevado a cabo por personas con suficientes conocimientos como para no dejar de relevar adecuadamente ningún elemento o indicio.

Hay en el mercado internacional distintos instrumentos que facilitan el relevamiento y registro de datos:

Escaner Laser tridimensional: Desde un punto fijo mide y fotografía automáticamente todos los elementos del escenario, relacionando las fotos con las mediciones. Su software permite rotar la escena para obtener vistas desde distintos ángulos: planta, vista, oblicuo, etc. Hay modelos de altísima precisión, hasta un micrómetro. Son aptos para determinar deformaciones.

Estación total con GPS de precisión: Consiste básicamente en la conjunción de varios instrumentos de agrimensura (teodolitos, etc.) coordinados electrónicamente, que permiten obtener manualmente (apuntando) la posición de todos los puntos que se requieran. Suelen vincularse con fotografías. Precisión: un centímetro.

Algunos de estos dispositivos cuentan con graficadores.

La reconstrucción del accidente

Es la mejor o más probable explicación sobre cómo ocurrió un accidente, o ciertas partes del mismo.

Consiste en determinar, a posteriori, la o las posibles formas en que pudo haber ocurrido un accidente, mediante la aplicación de las leyes de la física a los datos y hechos que del mismo se dispongan u obtengan.

Naturalmente, en este proceso retrospectivo, los elementos a considerar pueden aparecer (y generalmente así ocurre) mezclados, confusos, distorsionados, falseados, difusos, y puede haber cosas sin vinculación con los hechos. Así también elementos de juicio importantes pueden no hallarse disponibles.

Como vemos, y para usar una gastada analogía, se trata de armar un rompecabezas sin conocer su resultado, en el que pueden faltar piezas, o haber piezas que no correspondan al mismo, así como otras borrosas.

Afortunadamente, siendo un hecho físico, vienen en nuestra ayuda distintas disciplinas científicas que nos indican cómo deben ser las relaciones entre las piezas del puzzle, lo que nos permite ubicar las correctas en su posición, desechar las que no correspondan, clarificar las borrosas y, a veces, suplantar las faltantes.

Evidentemente, esta interrelación de datos, hechos y fenómenos será tanto más perfecta y cercana a la realidad, cuanto mayor sea la cantidad de elementos fidedignos de que se disponga.

En la reconstrucción de un accidente buscamos entonces encontrar, en su entorno témporo-espacial (en adelante entorno del accidente), cuál fue el comportamiento de los protagonistas, es decir, cuáles fueron sus posiciones, direcciones, orientaciones, velocidades y aceleraciones, en instantes previos, durante el accidente y posteriormente al mismo, desde dónde el riesgo era perceptible por primera vez, y hasta la estabilización final de los sucesos.

El análisis

Es una etapa de profundización de la investigación en la que se intenta determinar por qué ocurrió un hecho desgraciado, es decir encontrar las causas.

El análisis se basa en pensar al accidente como una sucesión de hechos, es decir considerarlo una situación dinámica que debe ser tratada como tal.

El accidente es una película, no una foto.

Esto puede permitirnos explicar las acciones de los protagonistas (un protagonista se fue a la mano contraria, ¿porque se quedó dormido, o porque se le reventó un neumático o porque el otro se acercaba invadiendo su mano?).

También verificar si el accidente era evitable o inevitable desde el punto de vista físico para cada uno de ellos (cuando se le presentó el peatón en su trayectoria, el chofer ¿tuvo tiempo de verlo, frenar y detener su vehículo? ¿Y de esquivarlo?

Así se pueden determinar causas del hecho. El chofer anterior ¿se demoró en ver al peatón?, ¿o en accionar sus frenos?

También se puede evaluar lo acertado de las maniobras evasivas elegidas, y/o lo correcto de su ejecución respecto a la minimización de las consecuencias: ¿frenó de la mejor manera posible?, ¿los frenos actuaron correctamente?

En este sentido se puede determinar el área de maniobras posibles para cada uno de los protagonistas y analizar la interrelación entre ellas, a partir de la percepción del riesgo.

Si bien la "reconstrucción" intenta determinar a posteriori cómo ocurrió un accidente, mientras que el "análisis" busca encontrar por qué ocurrió, y se basa en la reconstrucción, no debe perderse de vista que ambas cuestiones forman parte del mismo proceso de investigación, pudiendo retroalimentarse en un proceso iterativo.

Puede ocurrir que, tanto de la reconstrucción como del análisis, surja la necesidad de revisar y/o corregir el "relevamiento" del sitio del accidente.

Reconstrucción de accidentes

Capítulo 4

Metodología de la reconstrucción

Una correcta reconstrucción debe explicar coherente y acabadamente todos los fenómenos y procesos que ocurrieron en el entorno témporo-espacial del accidente, interrelacionándolos de forma lógica y con arreglo a las leyes de la física.

Ningún dato o indicio debe quedar fuera de la reconstrucción, a menos que se constate que no pertenece al accidente, o que en ninguna cadena de sucesos razonable pueda tener cabida lógica.

A veces se puede reconstruir el accidente llanamente, partiendo de los datos, es lo que llamamos **método directo**, otras veces es necesario explorar distintas hipótesis, hasta encontrar alguna que explique los hechos y sea coherente con los datos e indicios, para lo cual puede llegar a ser necesario realizar maquetas o modelos de simulación matemática. Es el **método indirecto**.

Protagonistas del accidente

Esta pequeña guía puede resultar útil a la hora de describir y clasificar la intervención de distintas personas u objetos en un accidente.

Definimos como protagonistas del accidente a todas las personas o cosas que intervienen en el mismo, directa o indirectamente, activa o pasivamente.

Protagonista Directo Activo (PDA):

Es aquel que, por una acción suya (activo), es afectado por el accidente (directo).

Protagonista Directo Pasivo (PDP):

Es quien resulta afectado por el accidente (directo), pese a que ningún acto suyo (salvo su presencia) contribuyese al accidente (pasivo).

Protagonista Indirecto Activo (PIA):

Es aquel no afectado por el accidente (indirecto) cuyas acciones influyeron en el accidente (activo).

Protagonista Indirecto Pasivo (PIP):

Es aquel no afectado (indirecto) cuyas acciones (salvo su presencia) no influyeron en el accidente.

Así, si un automovilista (A) encandila a otro (B), el que por este motivo está a punto de embestir a un tercero estacionado (C), y, por esquivarlo, embiste a un peatón que paseaba por la vereda (D); resulta:

(A) es *Protagonista Indirecto Activo*, ya que si bien no resultó afectado (*indirecto*), su acción de encandilar, influyó en los hechos (*activo*).

(B) es *Protagonista Directo Activo*, ya que una acción suya (atropellar) lo convierte en *activo*, y como resultó afectado en algún grado es *directo*.

(C) es *Protagonista Indirecto Pasivo*, puesto que, salvo su presencia, ninguna acción suya influyó en el accidente, es decir es *pasivo*, y como no resultó directamente afectado, es *indirecto*.

(D) es *Protagonista Directo Pasivo*, ya que, salvo su presencia en el sitio, sus actos no influyeron en el accidente, por lo que resulta *pasivo*, y como resultó afectado por el mismo aparece como protagonista directo.

Capítulo 5**Declaraciones y testimonios
Valoración de testigos.
Testimonios**

Dadas las diferencias metodológicas entre las ciencias jurídicas y las fácticas, una cuestión que merece una referencia previa es la consideración que el investigador de accidentes debe dar a los testimonios y declaraciones de protagonistas y testigos.

Factores que afectan las declaraciones

Dado que un accidente es esencialmente inesperado, y usualmente fugaz, las declaraciones de testigos y protagonistas, aun de buena fe, pueden no ser suficientemente correctas para ser consideradas indubitables por quien aborda científicamente la investigación.

Subjetividad

Aunque un testigo crea estar diciendo la verdad, en realidad está diciendo "su" verdad, ya que su versión necesariamente está determinada por su *subjetividad*. (Para no mencionar posibilidades de falseamiento, ocultación y deformación voluntarias).

Percepción

Así, por ejemplo, la *percepción* de la velocidad de un móvil es variable de una persona a otra, y aun para la misma persona, puede variar con la edad o la atención que esté prestando. (En general para personas mayores un mismo automóvil “va más rápido” que para los jóvenes, y una persona sorprendida en su abstracción puede considerar que un rodado se desplazaba más rápidamente de lo que en realidad lo hacía).

Inclusive hay factores que **distorsionan la percepción** —difícilmente se considere, viéndolos aislados, que dos rodados de muy diferente porte circulan a la misma velocidad, aunque lo hagan—. El escape libre o la apariencia deportiva de un coche pueden inducir la creencia en desplazamientos más veloces que los reales, y, a la inversa, estados de obsolescencia del rodado pueden provocar subestimación de su velocidad real.

Determinadas condiciones (neumáticos nuevos en superficies lisas y secas) pueden provocar que los neumáticos “chillen” aun al girar una esquina a muy baja velocidad, lo que puede dar la impresión de un giro a gran velocidad.

Análogas dificultades se presentan ante la apreciación de distancias, siendo las mismas poco confiables si no se basan en referencias físicas, y aun así, salvo en enfilaciones, el paralaje puede provocar errores significativos.

La percepción es muy falible, ya que el cerebro interpreta los estímulos mediante una suerte de programación aprendida, así establece tamaños, basado en la perspectiva, y ubicaciones relativas en función del tamaño.

Éste es el motivo por el cual existen esos acertijos ópticos: ¿Cuál es más grande?, en los que objetos de igual dimensión, pero presentados en forma diferente, parecen tener dimensiones muy distintas.

Los colores se determinan con arreglo al grado de iluminación que el cerebro interpreta que tienen, en relación con otros objetos presentes, además del grado de exposición a un estímulo visual previo.

Inclusive el movimiento se determina en buena medida por la sombra del objeto.

En la red hay varios videos muy amenos y didácticos de National Geographic llamados “Juegos Mentales” que explicitan lo dicho.

Racionalización

Las neurociencias han descripto un fenómeno que afecta sensiblemente las declaraciones: la racionalización.

Ocurre cuando una persona, que vio parte de un suceso, tras pensar lo suficiente en ello, va imaginando cómo pudo ocurrir, “llenando” los huecos de su memoria o percepción, hasta obtener un panorama bastante completo en su imaginación, *lo racionaliza*, y lo peor es que en no pocos casos se convence de recordar efectivamente el fenómeno completo, no pudiendo distinguir entre verdaderos recuerdos y aquellos sesudos recuerdos que su imaginación generó.

Implante de recuerdos

Un mecanismo que también falsea los recuerdos, descripto recientemente por los especialistas en neurociencias, es el “*implante de recuerdos*”, o de “**falsos recuerdos**”.

En efecto, los recuerdos también pueden ser implantados consciente o inconscientemente por terceras personas, especialmente si tienen algún ascendiente sobre el testigo (gurúes, autoridades académicas o institucionales —policiales— por ejemplo) mediante relatos del suceso completo y/o preguntas insistentes.

Cuando se hace conscientemente estamos ante algo parecido al “lavado de cerebro” de las películas.

El descubrimiento, o más específicamente la descripción y luego verificación de este fenómeno, se debió a una suerte de “epidemia” ocurrida en Estados Unidos en los años 90 en la cual mujeres denunciaban y demandaban a sus papás por vejaciones,

abusos y violaciones ocurridas en su infancia, que habían olvidado y que aparecían tras tratamientos psicológicos, en muchos de los cuales estos recuerdos aparecían bajo hipnosis, y/o tratamientos con psicofármacos.

Los padres de las "víctimas" juraban y parecían ser inocentes.

Cuando a las vejaciones se sumaron "recuerdos" de orgías diabólicas, canibalismo de bebés y secuestros por extraterrestres, algunos profesionales empezaron a sospechar que la inocencia de los padres era muy posible, pero las "víctimas" no mentían, inclusive solían sortear con éxito al cuestionable "detector de mentiras" (polígrafo).

En algunos casos las evidencias fácticas demostraron la falsedad de los "recuerdos", como mujeres supuestamente violadas y embarazadas por su padre (quien las habría obligado a abortar) que, ante el examen médico, resultaron ser vírgenes y no haber estado embarazadas jamás.

Neurocientíficos investigaron y encontraron que en muchos casos se repetían los mismos terapeutas, algunos con ideologías nítidamente coincidentes con las denuncias de las víctimas.

Se convencieron de que había alta posibilidad de que los nefastos "recuerdos" hubieran sido inducidos, implantados por los profesionales, pero era muy difícil probarlo.

Finalmente se hicieron un número importante de experiencias con voluntarios, a los cuales, por ejemplo, autoridades académicas, en charlas casuales, les preguntaban cómo recordaban que cuando tenían 6 años se habían perdido en un centro comercial, según su madre les había dicho, junto con otros sucesos verdaderos.

Inicialmente todos los sujetos negaban tal cosa, lo que es lógico, porque nunca había ocurrido, pero ante la insistencia, y con el agregado de detalles, como que habían sido rescatados por una señora mayor, etc., con el paso del tiempo, un gran porcentaje (casi el 40%) admitió recordar el suceso inexistente, y muchos de ellos hicieron descripciones detalladas, como describir a "la señora", su vestido, su color de pelo, su amabilidad y contención, etcétera.

Otra experiencia fue hacerlos recordar, con éxito, cómo Bugs Bunny los había recibido en Disneyworld, cosa de imposible ocurrencia ya que Bugs no es un personaje de Disney.

Es muy interesante y esclarecedor leer a Elizabeth Loftus (Creating False Memories — The Myth of Repressed Memory — Imagination Inflation, etc.).

Manipulación de la memoria

Sin llegar al implante de recuerdos, Loftus también probó experimentalmente la facilidad con que se manipula la memoria, lo que puede ocurrir no intencionalmente.

Un trabajo suyo está muy vinculado a la accidentología:

Se les mostró a un grupo de voluntarios un video de un choque. Se los dividió en tres grupos.

Al Grupo "A" se le preguntó: ¿a qué velocidad circulaban cuando los coches *se tocaron*?

Al Grupo "B" la pregunta fue: ¿a qué velocidad circulaban cuando los coches *chocaron*?

Y al "C": ¿a qué velocidad circulaban cuando los coches *se estrellaron*?

Como puede apreciarse la pregunta es la misma, salvo una suerte de calificación previa de los hechos, dada por la carga subjetiva de las palabras finales.

La media de las respuestas del "A" fue de 50 km/h, del "B" 55 km/h y del "C" 60 km/h.

Los hechos eran los mismos, pero la formulación de las preguntas modificó las respuestas.

(¡Chocolate por la noticia! dirían los encuestadores, pero ahora tienen la prueba científica).

En otro estudio similar, comprobó que quienes habían recibido la pregunta con "estrellado" (Smashed) imaginaban que en un accidente se había roto algún vidrio de los autos, en mucho mayor proporción que los de "tocado". (En el video mostrado, no se rompía ningún vidrio, ejemplo también de "racionalización").

Reconsolidación

Otro fenómeno descrito por las neurociencias recientemente es la modificación de la memoria.

En efecto, cada vez que evocamos algo lo modificamos, en un proceso que se llama “reconsolidación”, ya que las experiencias posteriores modifican los recuerdos previos.

“Cada vez que evocamos un recuerdo la pintura se vuelve fresca y terminamos dando algunas pinceladas diferentes en ese mismo momento.

Por eso en las memorizaciones sucesivas del mismo hecho, lo que vuelve es el original deformado por todas las transformaciones que fuimos incorporándole posteriormente, haciendo el recuerdo cada vez menos fidedigno” (Santiago Bilinkis: “Pasaje al Futuro”, 2014).

Aunque estemos seguros de determinados sucesos y detalles, no hay garantía de que éstos sean reales.

Ceguera por concentración (o por atención)

Hay muy interesantes, y en algunos casos divertidos, experimentos sobre este fenómeno, que consiste en no ver cosas que están claramente a la vista, porque tenemos la atención puesta en otra cosa. (Nuevamente recomendamos ver los capítulos de “Juegos Mentales” de National Geographic, muy probablemente experimentará el lector en sí mismo el fenómeno).

Es uno de los ardidés que utilizan los magos y prestidigitadores en sus espectáculos deliberadamente para hacernos prestar atención a algo inocuo, mientras realizan el truco.

En accidentología y seguridad vial se ha identificado este fenómeno como una de las causas de los accidentes entre rodados mayores y bicicletas.

Es posible que algunos “No lo vi” sean ciertos y se deban a esto.

En efecto, parece ser que nuestro cerebro sólo puede concentrarse en muy pocas cosas a la vez, y que en el caso de los conductores lo hace enfocándose en los móviles mayores (tal vez evaluándolos atávicamente como de mayor riesgo para su supervivencia), lo que hace que, a veces, nos ciegue ante riesgos de menor tamaño.

Conclusiones

Todos hemos experimentando la degradación de los recuerdos, su evanescencia y el olvido de hechos, es decir, sabemos personalmente que la memoria es falible.

Como hemos visto, un testigo puede estar mintiendo sin saberlo, y no deben descartarse declaraciones “adecuadas” ya sea para minimizar la propia responsabilidad (inclusive ante sí mismos, en el caso de los protagonistas), o por simpatías, prejuicios o intereses de los testigos.

Tampoco se ha de descartar la posibilidad de un intento de fraude.

Por lo dicho surge que las declaraciones y testimonios no deben ser considerados determinantes en una primera instancia de la investigación accidentológica.

Sin embargo, desecharlos definitivamente a priori puede privar al investigador de datos interesantes o útiles, por lo que, a juicio del autor, debe ubicárselos en el contexto corroborativo (o no), de los elementos objetivos, en una etapa ulterior de la investigación.

Así, entendemos que un informe accidentológico serio jamás se basa exclusivamente en dichos no corroborados por elementos físicos.

La evaluación genérica de los testimonios debe ser realizada sólo por los jueces.

Lo único que le cabe al perito es evaluar las implicancias técnicas de los dichos, analizando la factibilidad física y contrastándolos con los elementos objetivos.

Al autor se le ha presentado el caso en el que *todas* las declaraciones de los protagonistas y supuestos testigos contradecían la evidencia física recolectada por la policía.

En aquel caso se optó por basar el informe en la evidencia física solamente, y alertar al juez sobre la contradicción mencionada.

Capítulo 6

El triángulo del accidente

Veremos ahora que este popular triángulo es uno de los causantes de malos entendidos y errores conceptuales.

Es frecuente oír hablar del “triángulo del accidente” cuyos vértices son:

Factor Humano - Factor Ambiental - Factor Máquina -, o variaciones de estos nombres; muchas veces vemos peritajes en los cuales se utiliza esta sistematización.

Factor humano: Considera la participación o incidencia del ser humano en el fenómeno.

Factor ambiental (o entorno): Considera la participación o incidencia del camino y los factores ambientales en el fenómeno.

Factor máquina (o automotor): Considera la participación o incidencia del rodado en el fenómeno.

Para evitar confusiones con los factores de riesgo conviene llamar “elementos” a los vértices o lados del triángulo, como propone *Jesús Monclús*.

*Así, el sistema de transporte está conformado por tres *elementos*: Usuarios (Elemento Humano), Máquinas y Ambiente (elemento vía o entorno).

En realidad es casi unánime la adhesión a este paradigma.

Esta figura proviene del “**triángulo del fuego**” (carburante-comburente-calor).

En este caso el triángulo tiene sentido, ya que indica todos los elementos necesarios y suficientes para producir y mantener una llama. (Si se elimina alguno de los “lados” —elementos— no se puede producir fuego, o se lo apaga. (Todos los sistemas de extinción de fuego se basan en esto).

Es de destacar que el “*triángulo de fuego*” *no se utiliza para adjudicar responsabilidad a alguno de los factores.*

Sería absurdo decir, por ejemplo, tal porcentaje de los fuegos es producido por el calor (o el oxígeno o el combustible) ya que para que se produzca tienen que estar todos.

Nótese la diferencia de lo que ocurre con el triángulo del accidente:

Para que haya fuego, basta con juntar los tres elementos.

Sin embargo, si uno junta: Hombre, Máquina y Camino no necesariamente se produce un accidente. (Usualmente no ocurre).

El “triángulo accidentológico” pretende, por analogía con el de fuego, caracterizar la *producción* del accidente, y es *aparentemente* muy útil para clasificarlo.

Respecto a la producción del accidente, es más gráfico (y realista) hablar de trípode o banqueta cuyas patas son los elementos mencionados, considerando que la falla de una de las patas provoca la caída de la banqueta, genera un accidente.

Muy raramente es sólo una falla la causa del mismo, usualmente es una cadena de fallas y como se ve en los estudios más serios de las causas de accidentes, de muchas más patas.

Obviamente la banqueta es una descripción muy gráfica, pero **nada aporta a la clasificación.**

Trampa lógica

Decimos “aparentemente” útil para clasificar accidentes, porque en realidad “el triángulo” resulta una *trampa lógica*.

En efecto, la aplicación, consciente o inconsciente, del triángulo accidentológico virtualmente siempre llevará a culpar al usuario de la vía, sea peatón o conductor. Veamos el razonamiento popular:

- En el remanido “triángulo” el camino es el que es, si los usuarios del mismo no se adaptan es su responsabilidad.
- Las condiciones ambientales están dadas en cada caso y es función de los usuarios considerarlas y adaptar sus procedimientos a las mismas.
- El rodado o máquina también está definido, con sus limitaciones, si las mismas se sobrepasan, la responsabilidad es de quien lo conduce. Si la máquina falla, su conductor debió prever la posibilidad.

Hay que aclarar que la detección de defectos de los rodados requiere de investigaciones especiales *que raramente se realizan* y aun en las que se efectivamente se realizan, **la mayoría de las veces, las fallas previas al accidente (posibles causas) no se pueden determinar** al estar enmascaradas por los daños sufridos por el vehículo siniestrado.

Consecuencias

Realmente la aplicación del triángulo lleva indefectiblemente a culpar a los usuarios en casi la totalidad de los casos (haciendo poco con un pequeño porcentaje de margen para groserías del ambiente —rayos, terremotos roturas graves en el camino—; o de la máquina —fallas, fatiga o vicios ocultos de materiales que puedan detectarse—).

Es decir que, salvo evidentes (groseras) pruebas en contrario, el “triángulo” por descarte adjudica la responsabilidad a los conductores, u otros usuarios del camino.

La aplicación acrítica del paradigma del “triángulo” es el motivo de ciertas cifras que circulando desde hace años se han convertido en “verdades reveladas”, aunque sin tener origen en estudios científicos, o, mejor dicho, basados en estadísticas que toman el paradigma de clasificación que propone el “triángulo accidentológico”.

Evidencia de la falacia

La falacia de este sistema de clasificación resulta evidente al constatar la **mínima siniestralidad que presentan las autopistas** comparada con la habida en rutas normales (un carril para cada sentido de circulación sin separación física), lo que muestra, *ceteris paribus*, la muy importante incidencia de la vía. (Como en autopistas la velocidad es mayor, un pseudo estadístico podría concluir que a mayor velocidad, mayor seguridad. Y un “triángulista” que los conductores se modifican al entrar a una autopista).

En el mismo sentido apunta la mera existencia de los “*Puntos Negros*” o “*Tramos de concentración de accidentes*”.

Evidentemente, si hay lugares que presentan mucha mayor ocurrencia de accidentes que otros de la misma ruta o calle, es porque presentan “algo” que, causa, facilita o predispone dichos acaecimientos, nuevamente *ceteris paribus*, es decir, los conductores son los mismos y los rodados también, lo distinto debe estar entonces en otro lado.

Validación por sensibilidad

Vamos a aplicar principios matemáticos, aunque sin números ni ecuaciones: la **evaluación de la sensibilidad de los parámetros**.

Podemos hacer un ejercicio intelectual suponiendo otro triángulo de accidente, con elección de factores, también arbitrariamente, y ver sus resultados:

Supongamos que los lados del “triángulo” fuesen: “Factor Camino”, “Factor Máquina” y “Tercer Factor”.

Si aplicásemos los mismos criterios y métodos que para adjudicar responsabilidades que los que se usan con el tradicional triángulo, resultaría que el 95 o 97% de los accidentes serían causados por el tercer factor, ya que el camino es el que es, y las fallas de la máquina raramente se detectan, por descarte queda el tercer factor.

Nótese que si se reemplazase el “Tercer Factor”, por Factor Luz o Factor Oxígeno o cualquier otro que también siempre esté presente, y se siguiesen los mismos métodos de investigación, los resultados harían 95 o 97% responsable a este factor, cualquiera sea, salvo “Máquina” o “Camino”.

Es evidente que esta metodología de clasificación, al **no ser sensible al cambio de factores, no es una metodología correcta**. (La evaluación de la sensibilidad de los resultados de un fenómeno a la modificación de las variables es una herramienta fundamental de la física, la ingeniería, las ciencias sociales, economía, etc.).

Motivos de la falacia

La falla del “paradigma triangular” es en realidad una falla metodológica —lógica— al no aplicarse los mismos criterios para todos los “factores”:

En efecto: mientras que al “elemento humano” se lo investiga sobre ¿por qué no evitó el accidente o su agravamiento?, al camino y a la máquina se los investiga sobre ¿en qué contribuyó al accidente?

Como vemos, al exigir cosas diferentes a unos y otros, se sesgan los resultados.

En toda metodología sana las preguntas han de ser idénticas para todos los factores o elementos.

Si al “elemento camino” se lo investigase sobre ¿por qué no evitó el accidente? surgirían inmediatamente las fallas de diseño, construcción, gestión, etc. (por ejemplo, la no segregación de tránsito).

Si al “elemento máquina” se lo investigase de la misma manera surgirían las falencias e inseguridades intrínsecas de los rodados. A modo de ejemplo diremos que los rodados de “alta gama” en general son mucho más seguros que los más económicos, debido a que cuentan con dispositivos que incrementan tanto su **seguridad “activa”** (que evita accidentes) como su **seguridad “pasiva”** (disminuye las consecuencias de los accidentes).

Conclusiones

La difusión y generalización del “triángulo” como sistema de clasificación pueden ser debidas a que es sencillo y a que, desde su origen (judicial-policial, de seguros), la investigación de accidentes está más orientada a encontrar culpables o responsables que a ubicar las causas reales de los mismos, lo que, al confundir responsable jurídico (criterios dependientes de construcciones culturales) con la causa del siniestro, que es función de fenómenos físicos complejos, flaco favor hace a la solución de los problemas de la siniestralidad.

Luis Xumini: La investigación de accidentes viales suele darse por conclusa al encontrarse, o parecer que se encuentra, el fallo o error de un conductor o peatón teniéndolo por causa directa, inmediata, desencadenante o determinante.

Sin embargo, concebir el error humano como causa determinante de la siniestralidad del transporte, como se viene haciendo, es un error (...), que no se corresponde con la realidad, como vamos viendo, es otro mito de los tantos que existen sobre la siniestralidad y seguridad del transporte.

Es de destacar que, salvo en algunos países con poca investigación, el “triángulo del accidente” no es utilizado ni como paradigma de clasificación, ni como sistema para analizar accidentes.

En conclusión: el triángulo, o banqueta, o trípode es sólo una cuestión descriptiva elemental, que tiene poca más utilidad que impresionar a las amigas de mamá.

Puntos Negros:

Habiéndolos mencionado, parece oportuno definirlos.

En calles y carreteras existen lugares donde tienden a concentrarse accidentes.

Estos sitios son lo que se denomina “Puntos Negros”.

Esto suele ocurrir por diseño inadecuado o inadecuado control o gestión de tránsito.

En general se definen los “Puntos Negros” como un lugar de “x” m de longitud, donde se produce un mínimo de “y” accidentes en un lapso de “z” años.

También suele hablarse de “Tramo”, “Sección” o “Zona de concentración de accidentes” en un tramo de una vía de longitud “x1” (mucho mayor que “x”) en el cual se producen “y1” accidentes (mayor que “y”) en un lapso de “z” años.

Capítulo 7

La modelización actual. Modelo de "Reason" o de la secuencia causal o del "queso suizo"

Es la más reciente y completa explicación del acaecimiento de accidentes.

Se incluye dentro de las teorías sistémica y de la gestión de riesgo.

El sistema viario, al ser un sistema tecnológico complejo, diseñado, normado y operado por seres humanos (falibles), es afectado por los errores y/o fallas de éstos.

Ya vimos que en el caso de los sistemas de transporte el objetivo es lograr que los usuarios del mismo logren la movilidad deseada sin inconvenientes, para lo cual obran *salvaguardas o defensas*.

Esas defensas pueden visualizarse como capas:

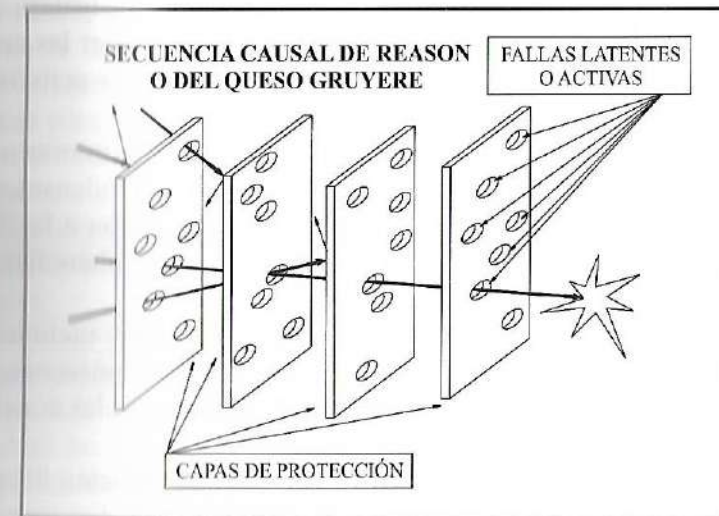
- Decisión política sobre el tipo de vía a construirse.
- Diseño de la vía.
- Control de la construcción.
- Gerenciamiento del tránsito.
- Gestión de seguridad vial.
- Supervisión de la seguridad.
- Control de entornos inseguros.
- Control de errores, impericia, temeridad, etc., de los usuarios del camino.

Cada una de estas capas puede tener (o tiene) fallos latentes o puede presentar fallas circunstanciales.

Como toda creación humana, estas defensas pueden (y suelen) no ser tan perfectas como desearíamos. Los humanos nos equivocamos y los fierros (la tecnología material e inmaterial) más tarde o más temprano fallan.

James Reason (catedrático de las Universidades de Manchester y Leicester) explica entonces el acaecimiento de un siniestro mediante la "**trayectoria de oportunidad de un accidente**" que atraviesa sin ser detenida las distintas "protecciones" debido a la alineación de las defensas ausentes o insuficientes que presenta gráficamente como agujeros en cada capa.

De allí que se lo conoce como **Modelo del queso Gruyere**.



Estas fallas no necesariamente son constantes ni permanentes en cada una de las capas, pudiendo abrirse o "aparecer" circunstancialmente.

Las **fallas o errores latentes** en las capas de defensa son debilidades de las mismas, originadas en las capas superiores, que suelen permanecer indetectadas hasta que sus efectos o posibilidades perjudiciales se ven activadas por conjuntos específicos de circunstancias operacionales.

Estas condiciones latentes generalmente no se perciben como perjudiciales, puesto que, a primera vista, no se perciben como fallas.

Son errores que cometen, o han cometido, los operadores indirectos del sistema (diseñadores, constructores, gestores y controladores; en ellos se incluyen las autoridades profesionales y administrativas del sistema y los legisladores), que no son tan fáciles de ver y detectar como los errores activos de los usuarios, y pueden permanecer ocultos durante mucho tiempo.

Por ello, los errores latentes tienen consecuencias devastadoras en la producción y gravedad de los accidentes, porque no sólo tienen la capacidad de provocar errores activos en los usuarios directos, sino que, quienes cometen los errores latentes, son los que tienen que prevenir los errores activos de los usuarios (y no provocarlos), y, lo que es muy importante, disponer las cosas para evitar las consecuencias adversas de los errores activos de los usuarios.

En tales circunstancias específicas, **las fallas humanas o las fallas activas a nivel operacional** actúan de desencadenantes (o evidenciadoras) de las condiciones latentes que llevan a facilitar la quiebra de las defensas de seguridad operacional inherentes del sistema.

Las *fallas activas* son acciones u omisiones, incluyendo errores y violaciones a lo prescripto, que tienen consecuencias adversas inmediatas. En general y en retrospectiva se las considera actos inseguros.

Estos actos inseguros o errores son los que cometen los procesadores u operadores activos del sistema, o sea, los usuarios (los peatones y los conductores), de ahí surge ese mito tan extendido que afirma que los conductores y peatones son los principales causantes de la siniestralidad viaria, haciendo comparaciones de sus comportamientos con los que dicen las normas de circulación, porque es lo que los profanos ven más fácilmente.

Tradicionalmente la investigación se ha centrado sólo en las fallas activas.

Debido a que el origen de la accidentología era encontrar culpables o responsables, la investigación se centraba, y generalmente aún lo hace, en las cuestiones operativas.

Ej.: Accidente en un cruce entre dos rutas a nivel: suele buscarse quién circulaba a exceso de velocidad, quién vulneró la prioridad de paso, si algún conductor estaba alcoholizado, etc. (fallas activas).

Raramente se menciona que si hubiese sido a distinto nivel o hubiese habido rotonda en el cruce, el accidente no se hubiera producido (falla latente de configuración del cruce).

Otro ejemplo: De noche, una camioneta (suv) ocupada por más jóvenes que las plazas de la misma, aparentemente algunos alcoholizados, se despistaron en una recta de una ruta de un carril por mano, impactando contra un árbol habido a cinco metros del borde de la ruta.

Investigaciones posteriores encontraron significativos descalces (desniveles) entre la ruta y la banquina (en Argentina llamamos "banquina" al espacio adyacente a la ruta destinado a la detención de los móviles-Bema-Arcén).

Las fallas activas (comportamiento inseguro de los usuarios) pusieron en evidencia fallas latentes importantes y, en este caso, letales:

Desde la decisión política de no ampliar y mejorar la vieja y muy transitada Ruta Nacional N° 7 hasta la presencia del árbol en la cercanía de la carretera (gestión de seguridad), que fue lo que produjo las lesiones y fallecimientos (si no hubiera estado allí el árbol, la salida de la ruta podría no haber sido más que un incidente comentado en sobremesa), pasando por el descalce de la ruta (que probablemente originó o facilitó el despiste), encontramos fallas latentes. También hay fallas latentes de control del tránsito (exceso de ocupantes) y de condiciones inseguras (omisión de controles de alcohol).

Recientemente, un ómnibus cayó a un barranco desde un puente en una provincia del Norte argentino, falleciendo casi todos sus ocupantes. Aparentemente el conductor perdió el dominio por un reventón de un neumático circulando a menor velocidad que la máxima del sitio y se fue contra las barandas de conten-

ción de su mano. Si las barandas hubiesen estado bien diseñadas, dimensionadas e instaladas y mantenidas, el transporte hubiese quedado sobre el puente. Estas fallas latentes, o alguna de ellas, permitieron que cayese al barranco, con el saldo de 43 fallecidos.

La siniestralidad de los sistemas de transporte se explica completamente con el "paradigma reasoniano" como la consecuencia de fallos en la configuración del sistema (estructura más organización).

"No podemos cambiar la naturaleza humana, pero podemos cambiar las condiciones bajo las que los humanos operan".
James Reason

Esto pone en evidencia la incidencia del camino, el que, usualmente, está plagado de fallas latentes.

Los quiebres de las defensas de seguridad operacional (accidentes) son una consecuencia tardía de decisiones (de acción u omisión) tomadas a los más altos niveles del sistema, que permanecen latentes hasta que sus efectos o posibilidades perjudiciales se ven activadas por conjuntos específicos de circunstancias operacionales.

En el concepto presentado por el modelo de Reason, todos los accidentes comprenden una combinación de condiciones activas y latentes.

Con arreglo a este modelo, los accidentes se producen cuando cierto número de factores permiten que ocurran, siendo cada uno de ellos necesario pero en sí mismo no suficiente para quebrar las defensas del sistema.

De este modelo (que proviene de la industria aeronáutica y es probadamente eficaz) surge la necesidad de identificar estas condiciones latentes nefastas en todo el sistema, a efectos de lograr comprender los accidentes en su integridad y poder corregir esas condiciones.

Debido a que los sistemas complejos están defendidos por capas de defensas profundas, las fallas en un punto único rara vez tienen consecuencias.

La propuesta que surge de este modelo es identificar y corregir estas condiciones latentes en todo el sistema, en vez de realizar actividades localizadas en minimizar las fallas activas de los individuos.

Las fallas activas (que desembocan en accidentes) son sólo síntomas, y no causas, de los problemas de seguridad.

Para mayor información ver, por ejemplo: "Manual de Gestión de la Seguridad Operacional" de la Organización de Aviación Civil Internacional.

Es paradigmática la aplicación que hizo de estos conceptos el juez Virgil Moshansky en el accidente de 1989 en el aeródromo de Dryden en Canadá.

Acabó acusando a la Autoridad reguladora de la seguridad aérea de Canadá por (faltar al deber de cuidado), permitir prácticas de riesgo en las operaciones de Air Ontario, y a ésta por (faltar al deber de cuidado) abandonar a su suerte y medios al comandante del avión, sin los medios ni los conocimientos para salvar el problema técnico que provocó la caída del aparato al poco de despegar, pero, eso sí... prestando para que despegara.

Casi con certeza podríamos afirmar que si estos criterios se aplicasen a la investigación de todos los accidentes, que son provocados o permitidos por incorrecciones técnicas en la construcción, mantenimiento y gestión del sistema viario, por no atender al deber de cuidado ni al estado de la técnica, previniendo, disminuyendo y eliminando riesgos que amenazan a los usuarios, en poco tiempo veríamos una sensible disminución de la siniestralidad.

Somos conscientes de que, en investigaciones usuales de accidentes viales, raramente se podrá llegar a la profundidad a la que llegó Moshansky, pero siempre se podrán destacar, al menos, las fallas latentes evidentes: Cruces al mismo nivel sin rotondas, inadecuada señalización, ausencia de separación física de manos de circulación, obstáculos en cercanías del camino, descalces de banquetas, permitir circulación en condiciones inseguras, etc., con lo cual cada uno de nosotros ayudará en cada caso a mejorar la seguridad.

Por estas razones, a los efectos de la reconstrucción y análisis de accidentes, nos parece más conveniente que el "triángulo", la organización o sistematización de la investigación presentada a continuación.

Capítulo 8

La sistematización adecuada

Para reconstruir un accidente es necesario tener en cuenta una serie de elementos, los que adecuadamente interpretados nos brindarán información de suma utilidad, los principales son:

- Ubicación témporo-espacial del accidente.
- Itinerarios previstos de los protagonistas.
- Trayectorias previas de los protagonistas.
- Trayectorias post-accidente de los protagonistas.
- Daños a las cosas.
- Características ambientales.
- Posiciones y estados finales de los protagonistas.
- Indicios, huellas y secuelas.
- Lesiones a las personas.
 - **Fallas latentes:**
 - Decisión política sobre el tipo de vía a construirse.
 - Diseño de la vía.
 - Control de la construcción.
 - Gerenciamiento del tránsito.
 - Gestión de seguridad vial.
 - Supervisión de la seguridad.
 - Control de entornos inseguros.
 - Control de errores, impericia, temeridad, etc., de los usuarios del camino.

Es conveniente y práctico que estas cuestiones aparezcan claramente separadas al ser descriptas, para evidenciar su consistencia, o no, y evitar confusiones.

El estudio de las "Fallas Latentes" escapa al alcance de este libro (básicamente dedicado al estudio de las fallas funcionales u operativas), pero, como hemos dicho, es casi un deber del investigador destacar, al menos, las evidentes.

Veamos cada uno de los elementos operacionales que ayudan a la reconstrucción y análisis.

Capítulo 9

Ubicación témporo-espacial del accidente

Involucra tres aspectos que conviene tratar por separado:

Macroubicación - Ubicación - Microubicación

Macroubicación

Aspecto espacial:

Determina la región donde ocurrió el accidente, lo cual puede ser de suma importancia, por ejemplo, puede ser urbana o rural, ya que muchas reglamentaciones hacen distinción entre ambas.

También podrá tener importancia el hecho de ser una región quebrada o llana, o posibilidad de fatiga, no descartable en zonas rurales.

Aspecto temporal:

La época del año puede determinar factores ambientales e inclusive humanos influyentes; por ejemplo, la visibilidad en un cruce puede estar disminuida por exhuberancia de los vegetales en primavera-verano, con respecto a la época invernal.

La *macroubicación* se obtiene de la información general del hecho.

Ubicación

Aspecto espacial:

Es la determinación del escenario de los sucesos, brinda información muy útil, como ser tipo de piso (coeficiente de rozamiento - estado - baches, etc.), pendientes, obstáculos a la visibilidad, trazado del camino (recta - curva - puente - desvío - paso a nivel - cruce, etc.), tipo y características de las banquetas, etcétera.

Aspecto temporal:

Refiere a la hora del día en la que ocurrió el accidente, y puede resultar de significativa importancia, por ejemplo determina si era de noche o de día, la posibilidad de existencia de sombras que enmascarasen un riesgo, posibles encandilamientos solares o por luces artificiales, etcétera.

Permite saber si en el entorno temporal del accidente llovía, o estaba mojado el piso, o había niebla, etcétera.

También la humedad del piso, variable con las horas, influye en el coeficiente de fricción, lo que modifica las distancias de frenado.

La *ubicación* también la obtenemos de la información general del accidente, pero se completa y perfecciona sólo tras la inspección del sitio, con confección de planos y/o tomas fotográficas adecuadas.

Microubicación

Aspecto espacial:

Es la determinación, lo más precisa posible del PDI (Punto De Impacto), o suceso crucial.

Por su importancia le dedicaremos el capítulo siguiente.

Aspecto temporal:

Consiste en determinar el instante de la ocurrencia del hecho. Como tal cosa no es posible, aunque suele ser necesario establecer cronologías de sucesos, con precisión menor al segundo, en general, se recurre a asignar el instante "cero" al impacto, mientras que a los sucesos previos se les asignan tiempos negativos, y a los posteriores, tiempos positivos.

En el Capítulo sobre Análisis del Accidente abundaremos al respecto.

Capítulo 10

Determinación del punto de impacto

Hay varios modos de determinar la ubicación del PDI (Punto De Impacto):

a) *Polvos o barros:*

Al chocar un rodado con otro objeto sólido se desprenden, por la conmoción estructural de su carrocería, los lodos y suciedades que, en mayor o menor grado, todos llevan adheridos en las zonas bajas de la misma.

Tales lodos, si están secos, se depositan como polvos (o como barros, si están mojados) en las cercanías de donde ocurrió el impacto.



Si la velocidad es baja, la ubicación de estos polvos determina con mucha exactitud el PDI.

A altas velocidades, estos residuos pueden avanzar bastante desde donde se desprendieron hasta donde finalmente quedaron, por lo cual habrá de calcularse ese avance mediante las ecuaciones de caída libre corregidas por resistencia aerodinámica considerando la velocidad terminal, ya que cuando la precisión en la posición del PDI es importante dicho avance puede ser trascendente.

Velocidad terminal, o de caída libre, es la máxima velocidad que puede alcanzar un objeto en el aire, sin estar impulsado por otra cosa que su peso. Depende del peso específico, de su forma, estado de agregación, granulometría, etc. (por ejemplo para un pedazo de carbón mineral $P_e = 1,4 \text{ kg/dm}^3$ es de unos 80 m/s, mientras que para carbón como polvo fino es de 2,13 m/s).

Esto explica por qué, obviamente, con toda nuestra fuerza, lanzamos mucho más lejos una piedra de 50 gramos que la misma piedra molida hasta hacerla polvo.

La siguiente tabla da cuenta del avance (D) que puede tener un objeto **en el vacío** en función de la velocidad del móvil en el momento en que se desprende, se considera caída libre desde una altura de 30 cm.

<i>Velocidad (km/h)</i>	<i>Velocidad (m/s)</i>	<i>Distancia (m)</i>
20	5,55	1,33
40	11,11	2,66
60	16,66	4
80	22,22	5,33
100	27,77	6,66
120	33,33	8
140	38,88	9,33
160	44,44	10,66

En condiciones reales, los polvos quedan a mucha menor distancia que la que surge de la tabla anterior.

b) Ensanchamiento de las huellas de frenado

Un ensanchamiento de las huellas indica un aplastamiento de los neumáticos:

Cuando se produce un choque, se produce una brusca traslación de pesos en el sentido del avance, debida a la violenta desaceleración provocada por el impacto, lo que provoca que los neumáticos más adelantados resulten sobrecargados, aplastándose contra el piso, por lo que roza contra éste una mayor superficie.

Éste suele ser un muy buen indicador de la posición de ese rodado en el momento del impacto.

c) Marcas y daños en el pavimento

Hay casos en los que la desaceleración provocada por el impacto es tal que el efecto conjunto del aplastamiento de los neumáticos con el descenso de la suspensión delantera permite que la parte inferior de la carrocería golpee el piso, a veces marcándolo y dañándose.

Nótese en la siguiente foto cómo los arañazos habidos abajo, junto a la línea amarilla, correspondientes a la llanta de la rueda delantera izquierda del rodado volcado, determinan dónde estaba éste en el momento del impacto.



Aclaremos que en Argentina llamamos "llanta" al elemento metálico que contiene a la cubierta neumática, a diferencia de otros países donde tiene sinonimia con rueda.

d) Cambio brusco en la dirección de las huellas

Un cambio brusco, o quiebre en la dirección de las huellas de frenado, suele indicar el PDI, ya que en esos casos, de choque excéntrico, el impacto provoca una cupla que hace girar el rodado.



Nota: en esta foto, además de las huellas de neumáticos y su quiebre, se ven lo que parecen huellas (delgadas, paralelas y horizontales) que, en realidad, son sombras de cables, pero que muchas veces han sido confundidas con huellas de neumáticos.

Cuando un rodado se encuentra patinando o deslizando debido al bloqueo de sus ruedas, la acción de la dirección disminuye sensiblemente, por lo que es imposible que por ésta se logre un cambio brusco en la dirección de avance.

Los cambios en la dirección de huellas de frenado debidos al impacto suelen tener radios de curvatura inclusive menores al radio de giro mínimo del rodado.



e) Corte de huellas

El corte súbito de las huellas de frenado puede indicar también el PDI.

Cuando nada interrumpe el proceso de frenado las huellas del mismo van desvaneciéndose suavemente, de atrás hacia adelante.

Cuando dichas huellas se cortan bruscamente es debido a que los neumáticos dejaron de disipar la energía cinética en ese instante, esto puede deberse a que dicha energía ha sido absorbida por otra cosa, por ejemplo un choque.

Esto no debe confundirse con las interrupciones que provocan las irregularidades del camino, en cuyo caso las soluciones de continuidad son cortas y bruscas (menores a un metro) ni con lo que sucede cuando la huella se corta porque se han dejado de accionar los frenos, en cuyo caso aparece, en el fin de la misma, una zona de transición la cual, aunque pequeña, es apreciable.

Esto siempre habrá de analizarse en un marco corroborativo, pues la difuminación de las huellas suele no ser registrada por quienes hacen la investigación de campo, recogiendo los datos.

Lo mismo sucede con las interrupciones en las huellas debido a que el conductor modula el freno (es decir lo aprieta y lo

suelta sucesivamente), lo que provoca cortes en la huella de longitud superior al metro (en realidad son función de la velocidad), pero con zonas de difuminación en los extremos.

f) Regueros

Análogamente a los polvos, los inicios de regueros de líquidos suelen indicar el PDI, en este caso, tanto más cerca del mismo, cuando menor haya sido la velocidad post-impacto del rodado. (Habitualmente los depósitos de los que manan los líquidos se rompen recién en el impacto).

g) Intersección de trayectorias

También se puede ubicar el PDI considerando que, necesariamente, hubo de encontrarse en la intersección de las trayectorias pre y post-impacto de cada uno de los protagonistas directos.

h) Interacción de fuerzas

Un impacto implica la interacción de fuerzas, por lo que el PDI, necesariamente, ha de encontrarse sobre las rectas de acción de las fuerzas interactuantes, las que, a veces, provocan efectos útiles para su determinación.

En muchos casos las direcciones de deformación principales indican la dirección de las fuerzas actuantes, lo que permite conocer la posición relativa de los móviles, que junto con algún otro indicio puede ser útil para ubicar el PDI.

i) Proceso iterativo

Indirectamente se puede determinar el PDI mediante un proceso iterativo con dos procesos de cálculo independientes, por ejemplo: distancia de frenado y caída de cristales, conociendo las posiciones finales de éstos y del rodado (lo que no es inusual).

Así, tomando una velocidad de impacto arbitraria (V_0), se puede obtener a qué distancia del PDI (desconocido por el momento) habrían caído los cristales, si el rodado circulaba a V_0 , es

decir determinamos un PDI' con las ecuaciones de caída libre o las de Searle.

Entre PDI' y la posición final del rodado tendremos entonces una distancia de frenado D' , con la que podemos calcular una velocidad de impacto V' mediante las ecuaciones de frenado, tal que, circulando a V' , al rodado le insumiera una distancia D' detenerse.

Luego, reemplazando V_0 por V' , reiniciamos el proceso, y obtenemos D'' y V'' , y lo continuamos hasta que entre V^n y V^{n-1} la diferencia sea menor a la precisión requerida.

Si V_0 es elegida criteriosamente el proceso converge rápidamente. Usualmente una precisión del 10% es suficiente.

Recordar que, por más extendida que esté la creencia, salvo a muy bajas velocidades, o efectos de pantalla (que algo impida su movimiento post impacto), el sitio donde quedaron los cristales *no* es el punto de impacto (Principio de Inercia).

Aplicando Searle, si un trozo de cristal de parabrisas que estaba a 1,5 m de altura se desprende a 20 km/h queda en el piso a 2 m del punto de impacto, a 40 queda a 9 m, a 60 km/h queda a 20 m y a 100 km/h puede quedar a unos 58 m (siempre que algo no se interponga en su trayectoria post impacto).

Capítulo 11

Itinerarios previstos por los protagonistas

Siempre es necesario conocer desde dónde provenían y hacia dónde se dirigían los protagonistas, para saber cómo preveían hacerlo, es decir sus características de circulación.

En circulación correcta y normal los protagonistas siguen trayectorias paralelas al eje del camino, en tramos rectos y en tramos describiendo curvas suaves, con velocidad constante y/o aceleraciones o desaceleraciones leves.

Todo lo cual puede alterarse ante la aparición de obstáculos, riesgos, o debido a errores en la conducción.

La utilidad de los itinerarios previstos es, como en el caso de macroubicación, permitir una primera aproximación al estudio de los hechos, ya que brinda pautas sobre las acciones que hubieran llevado a cabo los protagonistas si no hubiese habido interferencias a su circulación (seguir - detenerse - girar - etc.).

Generalmente son datos que se obtienen de la información general de accidente, aunque deben corroborarse con la evidencia física.

Ocasionalmente ocurre que, al menos parte de los itinerarios, deba inferirse de la evidencia, ya que la información general puede ser incompleta, tal vez por fallecimiento de alguno o todos los protagonistas.

Por ejemplo las huellas de neumáticos pueden determinar la dirección inicial de uno de los protagonistas, y, con las posiciones

relativas en el momento del impacto, determinarse la dirección del otro.

Nos ha tocado intervenir en casos en los que algún protagonista declarara una dirección de avance distinta a la real (suya y/o del fallecido), tal vez por confusión post traumática, o por intentar poner de su lado la prioridad de paso.

Aplicando la "duda" cartesiana e interpretando adecuadamente las evidencias físicas (huellas, posiciones finales, daños de los rodados, etc.) se pudo poner en claro la verdad de los hechos.

Capítulo 12

Trayectorias previas de los protagonistas

Son las trayectorias efectivamente descritas por los protagonistas antes del accidente, en el entorno de estudio del mismo.

Su utilidad es realmente trascendente, tanto para el "Análisis del accidente", como para su interpretación dinámica. (Un error frecuente es observar un accidente como una fotografía, cuando, por ser consecuencia de una sucesión de hechos, debe ser estudiado como una película, so riesgo de eludirse la integridad del fenómeno).

Las trayectorias previas se determinan por medio de la "Reconstrucción", a partir de los indicios:

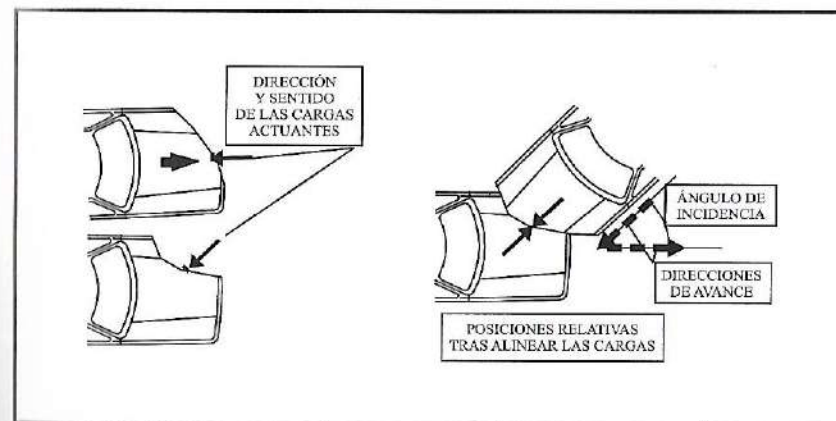
- Una primera forma de hacerlo es a través de **las huellas de neumáticos**, cuya traza indica la dirección de quién la dejó, y sus desviaciones, si bruscas, pueden indicar la dirección de fuerzas incidentes externas a quien pertenecen.
- En algunos casos se cuenta con **arañazos** dejados en el piso por



partes duras de los protagonistas (llantas, por ejemplo) que indican la dirección que llevaba esa parte en el momento de producir la marca. Si no hay elementos que permitan presumir la existencia de giros o rotaciones, será ésa la dirección del móvil en dicho instante.

- Otra forma de reconstruir las trayectorias previas es a partir de las **deformaciones permanentes** en los protagonistas directos del accidente:
 - *Los daños dan una idea bastante acabada de la dirección y sentido de las fuerzas que los produjeron, especialmente los sufridos por las zonas más fuertes y rígidas de cada estructura, ya que éstas resultan menos afectadas por las deformaciones inducidas en otras direcciones.*
 - *Considerando el principio de acción y reacción (segunda ley de la dinámica), la recta de acción de la fuerza que produjo una impronta en un protagonista debe ser coincidente con la de la fuerza que produjo la impronta en el otro protagonista, lo cual nos permite determinar las posiciones relativas entre ambos al instante del choque.*
- El ángulo que forman las respectivas direcciones de avances, llamado **ángulo de incidencia**.

Ubicados los protagonistas en el PDI, alineadas las rectas de acción de las cargas que produjeron los daños, con sus posiciones relativas definidas por el ángulo de incidencia, quedarán determinadas las trayectorias previas inmediatamente anteriores al impacto si se conoce algún otro punto de cualesquiera de ellas. De lo contrario, habrá infinitas posibilidades de combinaciones de trayectorias previas que, manteniendo el mismo ángulo de incidencia podrían haber acaecido.



- Las **trayectorias posteriores** también ayudan a determinar las previas, al menos permiten descartar muchas opciones por ser de imposible ocurrencia física, ya que si bien las analizamos por separado, ambas trayectorias pre y post impacto son parte de un mismo fenómeno físico continuo.

En algunos casos las **trayectorias previas** han permitido encontrar la génesis de un accidente que visto estáticamente implicaba responsabilidades opuestas.

Así, si bien un impacto había ocurrido en la contramano de un protagonista, las huellas dejadas por su rodado y la ocasión en que fueron impresas permitieron determinar que tuvo que desviarse hacia la contramano porque su mano correspondiente estaba invadida por el otro vehículo, que a último momento retomó su mano, sin dar tiempo a la corrección del primero.

Capítulo 13

Trayectorias posteriores

Son las trayectorias efectivamente descriptas por los protagonistas luego del impacto.

Se determinan a través de los indicios y las posiciones finales de los protagonistas.

Estos indicios pueden ser:

- **Rezagos:**

Como las trayectorias posteriores ocurren luego de haber interactuado las fuerzas de la colisión, ergo, haberse producido los daños, suelen quedar rezagos entre el punto de impacto y el de posición final de cada protagonista.

Estos rezagos son útiles a los efectos de determinar las trayectorias posteriores, y, a veces, para ayudar a determinar las previas, así como la velocidad de impacto.

- **Huellas de neumáticos,** frenado, derrape, rodadura o bloqueo de algún neumático.
- **Arañazos** o marcas en el piso dejadas por partes duras de los protagonistas, frecuentemente por haberse dañado en el impacto.



- **Partes de carrocería** o cargas desprendidas en el impacto.
- Los **regueros líquidos** dan una buena idea de la dirección de aquel móvil del cual manaban. En todos los residuos fluidos cabe la posibilidad de escurrimientos debido a pendientes locales, por lo que además de tener en cuenta su forma y ubicación deberá atenderse a la eventual necesidad de hacer correcciones por este motivo.
- **Cristales:** Frecuentemente se rompen algunos debido a la colisión y su distribución, ayuda, si está adecuadamente registrada contribuye a describir las trayectorias post impacto, como veremos en el capítulo siguiente.
- Mal que nos pese, a veces son indicios útiles los **restos de las víctimas**, tales como sangre (que como charcos suele indicar el sitio de su posición final, como regueros indica su dirección post-impacto, y como manchas pequeñas asociadas con trozos de epidermis o pelo, o residuos de ropa puede indicar sitios donde golpeó la víctima.
- Los cuerpos humanos proyectados por un embestimiento se deslizan y ruedan (poco) entre el punto en el que golpean contra el piso y aquel donde finalmente yacen, (posición final), por lo que suele quedar esa zona como "barrida" por ellos. Tal "**barrido**" indica la dirección del movimiento del cuerpo al recorrer esa zona.

Capítulo 14

Posiciones finales de los protagonistas

Definimos como posiciones finales de cada protagonista aquella para la cual se estabiliza su situación dinámica.

Generalmente las posiciones finales son de reposo (sitio donde permanecería indefinidamente si no actuaran fuerzas exteriores).

A veces la situación dinámica se estabiliza para alguno de los protagonistas cuando recupera el control de sus acciones.

Por ejemplo cuando un automovilista, luego de atropellar a un peatón, continúa su marcha sin detenerse, es obvio que, en algún punto posterior al de impacto, ha logrado dominar su rodado.

En este caso estamos ante una estabilización dinámica en ese punto, el que deberá considerarse como punto de posición final, a los efectos accidentológicos.

Cuando la posición final obedece a una estabilización estática puede quedar registrada por quienes hacen la investigación de campo (instrucción policial), pero siempre habrá de ser necesario verificar si los protagonistas han sido movidos desde su verdadera posición final hasta aquella en la cual son registrados.

Muchas veces es imprescindible realizar tales movimientos para no comprometer la seguridad de los protagonistas o de terceros, o simplemente para permitir la fluida circulación.

Cuando se sospecha que ha habido modificaciones en las posiciones finales, o cuando las mismas no están debidamente registradas debemos recurrir a la interpretación de indicios:

Por ejemplo, la posición final de un automóvil suele estar al fin de sus **huellas de frenado**, si éstas se prolongan luego del punto de impacto. (Debe considerarse para esto la zona de difusión de las huellas).

Como ya hemos dicho, la presencia de charcos de fluidos derramados por un rodado suele indicar su posición de reposo.

Análogamente sucede con la sangre y la situación de reposo de un cuerpo humano (eventualmente animales).

A veces la posición de reposo coincide con un choque secundario, por ejemplo contra el cordón de la vereda, el que puede presentar secuelas del impacto.

Capítulo 15

Características ambientales

Ya hemos mencionado algunas en relación con la "ubicación" del accidente, pero su importancia merece un tratamiento específico.

Algunas características ambientales son relevantes en la reconstrucción del accidente, mientras que otras lo son para el análisis del mismo.

Entre las primeras encontramos

- **Climáticas**, que afectan los comportamientos de los materiales, por ejemplo, el coeficiente de rozamiento tiende a disminuir con la temperatura, y en superficies mojadas será menor que en la misma superficie seca, en general, menor aún será si sobre el piso existe una capa de hielo, etcétera.
- **El tipo de piso y su estado** es otra cuestión importante para la reconstrucción, ya que además de determinar el coeficiente de rozamiento, sus irregularidades no sólo afectan la adherencia, disminuyéndola, y comprometen la posibilidad de realizar maniobras adecuadamente, sino que pueden generar pérdida de control del móvil y en casos extremos roturas o colapso de partes esenciales de los rodados, cubiertas, llantas, ejes, dirección, suspensión, etcétera.

- **Características del camino**, su tipo, autopista, semiautopista, ruta normal urbana, rural, avenida, calle, su trazado geométrico, curvas más o menos cerradas, peraltadas o no, pendientes, clase de banquetas y sus características, señalización adecuada o no, cruces viales y ferroviarios, puentes, orientación, obstáculos, etc., pueden y suelen tener incidencia trascendente en la génesis y/o consecuencias de los accidentes.

Por su importancia le dedicaremos un capítulo específico.

- **Temperatura**, el frío fragiliza los materiales, modificando su comportamiento, especialmente ante cargas dinámicas como resultan de un choque, por lo que los daños a las cosas resultan variables con la temperatura. (En 1993 un comité internacional de expertos ha atribuido a este fenómeno el hundimiento del "Titanic").

Entre las que intervienen en el análisis del accidente encontramos a todas las que afecten a la visibilidad, tales como nocturnidad, niebla, lluvia, encandilamientos, obstáculos a la visión, enmascaramientos, lomas, curvas, etcétera.

Encandilamiento

En nocturnidad

Dado que luego de un encandilamiento el ojo humano tarda unos 5 segundos en recuperar su capacidad visual, la posibilidad de encandilamiento debe tenerse presente siempre que un accidente haya ocurrido de noche en camino de doble mano de circulación, sobre todo ante choques con objetos o cuerpos sin luz propia, o escasamente iluminados.

Baker recomienda a los agentes de policía de tránsito de Estados Unidos presumir defecto visual de aquellas personas que, de noche, no puedan distinguir a 60 metros un peatón vestido con ropas oscuras, ante fondo oscuro, iluminado sólo con las luces medias de un coche.

Los 60 m son una cifra netamente conservadora, motivada en la estricta legislación que penaliza el falso arresto en ese país. El valor usual mínimo en esas condiciones es de unos 100 m, tal es el resultado de las experiencias realizadas por la Universidad de Michigan, por Hull y otros. El encandilamiento reduce esta distancia en un 20% o más.

La posibilidad de **encandilamiento solar** debe tenerse en cuenta, especialmente en las dos horas posteriores al amanecer, y en las dos previas a la puesta del sol. Se debe considerar atentamente la fecha, ya que, como es sabido, la posición relativa del sol se modifica no sólo con la hora, sino también con la fecha, para un mismo sitio.

Esta cuestión, que puede ser trascendente, debe analizarse verificando el posible encandilamiento a la hora del accidente (es decir si el sol se presentaba dentro de la visual directa de algún protagonista, o su luminosidad pudo impedir la visualización de otro), mediante la comprobación en los días inmediatos al accidente, o mediante cálculos basados en datos de almanaques náuticos.

Recordar que la posición relativa del Sol se modifica grandemente durante el año, lo que puede distorsionar conclusiones si las observaciones no son realizadas en la inmediatez de los sucesos, o no se las corrige con los cálculos adecuados mediante los datos que surgen de los almanaques náuticos.

Ya que han sido mencionados, conviene recordar que los almanaques náuticos son útiles para determinar el grado de nocturnidad en los entornos de los amaneceres o anocheceres.

Si el accidente ocurre cuando uno de los protagonistas recorre o ha recorrido hacia arriba una cuesta pronunciada, puede ser útil verificar la posible incidencia del deslumbramiento.

Lluvia. Si bien con limpiaparabrisas funcionando correctamente no hay diferencias significativas en la posibilidad de avistamiento entre una noche lluviosa y una de buen tiempo, la incidencia de factores ambientales es tal que, por ejemplo con suficientemente fuerte tormenta como para llover 75 mm en una hora, un peatón es visible recién a 20 m (nocturnidad).

El elemento que más influye en la visibilidad es el contraste con el escenario, ya que es lo que determina la conspicuidad del objeto.

La niebla

Obviamente, incide decisivamente en la visibilidad. Así, de día, su alcance se reduce a:

Visibilidad con niebla diurna:

500 a 1000 m con niebla débil

200 a 500 m con niebla moderada

50 a 200 m con niebla moderada a fuerte

0 a 50 m con niebla muy fuerte

Como ya hemos dicho, un peatón en noche sin niebla es visible a unos 100 m, por lo que es razonable tomar como distancias de visibilidad de un peatón en noche con niebla los siguientes valores:

Visibilidad con niebla nocturna:

50 a 100 m con niebla débil

20 a 50 m con niebla moderada

5 a 20 m con niebla moderada a fuerte

0 a 5 m con niebla muy fuerte

En general, de día, la visibilidad de un coche con las luces medias encendidas es tal que se duplican las distancias de visibilidad con niebla correspondientes, de noche el factor de incremento es mucho mayor, con nieblas débiles puede llegar a 20 veces, decreciendo tal incremento a medida que aumenta la intensidad de la niebla, de modo que para nieblas muy fuertes sólo se duplican las distancias.

Conspicuidad

En accidentología definimos “conspicuidad” como la propiedad de un objeto que hace que se lo vea distintamente en cualquier zona del campo visual, sin tener que ser buscado.

Éste es el motivo por el cual es recomendable para los automovilistas y motociclistas circular con las luces medias encendidas, aun de día, y para los peatones y ciclistas usar ropa clara, o mejor, retrorreflectante, o dispositivos luminosos.

En las mejores condiciones de iluminación, diafanidad y contraste, un automóvil en ruta, de día, es visible a unos 1600 metros; en condiciones usuales raramente es visible a más de 800 m, pero si tiene sus luces encendidas es visible e identificable en cualquier condición a por lo menos 1600 m de distancia. Por eso es recomendable circular siempre (aun de día) con las luces bajas encendidas. En ciudad se ha comprobado que, de día, el 5% de los peatones (por defectos visuales) es incapaz de reconocer si un automóvil se acerca o se aleja estando a 20 m de distancia si tiene sus luces apagadas. Salvo en ceguera total, todos identifican correctamente el sentido si el móvil lleva sus luces de cruce encendidas.

Las motocicletas, ciclomotores, bicicletas, etc., presentan siluetas muy esbeltas vistas de frente, lo que dificulta su visualización. Es decir, tienen escasa conspicuidad, la que se incrementa muy sensiblemente si estos móviles circulan con sus luces encendidas siempre.

De hecho, por este motivo, existen modelos de motos que al conectarse el arranque encienden sus luces medias.

Capítulo 16

Importancia del camino

Pese a las declamaciones al respecto, una cuestión muy descuidada en las cuestiones accidentológicas es el camino, o vía, que es parte de las condiciones ambientales.

Tal vez esto se deba a la dificultad para asignar responsabilidades a este elemento, o a que desde su origen (judicial-policial, de seguros), la investigación de accidentes está más orientada a encontrar culpables o responsables que a ubicar las causas reales de los mismos, lo que, al confundir responsable jurídico (criterios dependientes de construcciones culturales) con la causa del siniestro, que es función de fenómenos físicos complejos, flaco favor hace a la solución de los problemas de la siniestralidad.

El **Libro Blanco del Transporte en Unión Europea**, publicado por la Comisión Europea en 2001, requiere:

“Necesidad de investigaciones independientes. La explotación de las investigaciones realizadas con motivo de los accidentes plantea un problema. En la actualidad, el objeto principal de las investigaciones diligenciadas por las autoridades judiciales o las compañías de seguros es la reparación de los perjuicios causados por los accidentes y la determinación de las responsabilidades, en aplicación de códigos establecidos por el legislador. Sin embargo, estas investigaciones no pueden sustituirse a la necesidad (...) de disponer

de investigaciones técnicas independientes cuyos resultados se orienten hacia las causas de los accidentes y los medios de mejorar la legislación”.

Difícilmente en una investigación se asigne algún grado de responsabilidad a la vía, sin embargo hay datos que apuntan a que el camino es, al menos, concausa de muchos siniestros.

En efecto, la mera existencia de “Puntos Negros” o “Tramos de Concentración de Accidentes” apunta en ese sentido.

Abunda, por ejemplo, la Asociación Española de Accidentología Vial (AEAV), según la cual, en las rutas interurbanas de ese país, el 80% de los accidentes graves se producen en caminos de un único carril por mano, por los que circula el 20% del tránsito total, mientras que el 20% restante se produce en autopistas o vías multicarriles, por las que circula el 80% del tránsito carretero.

Dado que el resto de las variables frecuentemente consignadas como productoras del accidente son las mismas en ambos casos, conductores, clima, vehículos, velocidades (mayores en autopistas), etc., resulta evidente que el tipo de camino tiene una incidencia decisiva en la siniestralidad.

Tal incidencia es generalmente elusiva en los casos particulares, aunque en algunos casos resulta clara:

Obstrucciones a la percepción (generalmente visuales).

Obstáculos rígidos en las inmediaciones de la calzada (columnas, árboles, artes de mampostería, mojones, etc.) que ante un mero despiste pueden generar desastres.

Grandes pendientes y taludes al costado del camino, que ante una salida del camino, aun a baja velocidad, provocan vuelcos o desbarrancamientos.

Desniveles entre la calzada y las banquetas que generan vuelcos al intentar retomar la ruta, “descalces”.

Curvas demasiado cerradas que obligan a reducciones de velocidad significativas, y en no pocos casos provocan despistes, derrapes y cruces a la mano contraria.

Cambios bruscos de rasante, que impiden la visibilidad hasta llegar a su cima, causa frecuente de choques, tanto por alcance como de frente.



Posible Causa del accidente

Defectos de diseño o mantenimiento que permiten el estancamiento de fluidos con el consecuente riesgo de hidroplaneo, que es la brusca pérdida de adherencia, muchas veces generando trompos y/o despistes.

También el “ahuellamiento” puede, al acumular agua, generar un involuntario frenado asimétrico del rodado, por el “choque” de las ruedas de un lateral con la masa líquida, pudiendo provocar trompos, desvíos, salidas de camino, etcétera.

También son defectos de diseño, construcción, administración y/o mantenimiento baches, grietas. Pozos, irregularidades que pueden provocar rotura de neumáticos, pérdida de control del vehículo o el colapso de algunas de sus partes esenciales para el control, lo que, a velocidad, puede convertirse en tragedia.

Cruces a nivel, ya sea con otro camino o con vías ferroviarias, ni hablar cuando las trazas son oblicuas, lo que se convierte en un impedimento a la visibilidad.

Peraltes inexistentes o negativos favorecen el cruce de carril y despistes.

Banquetas estrechas y/o resbaladizas.

Otros problemas surgen de presunciones, como la “**Fe dogmática en la efectividad de la señalización**”.

Este criterio asume que los conductores ven y acatan adecuadamente las señales viales, y que si cometen el pecado de ig-

norarlas, por el motivo que sea, bien merecidas tendrán las consecuencias.

Hay sobrada experiencia sobre que este criterio rector no es cierto.

Es más, para los cultores de esta secta ni siquiera importa si la indicación es físicamente de posible cumplimiento.

Así, no es raro, en las rutas de la República Argentina, encontrarse con una restricción de "máxima 40 km/h" por "Camino Lateral", en un tramo con velocidad reglamentaria de 110 km/h. Esa cartelería suele estar ubicada a 100 o 150 m del cruce.

Ocurre que realizando la maniobra que imponen todas las leyes de tránsito (suave, no brusca), el conductor debe reducir su velocidad poniendo punto muerto.

En estas condiciones reducir la velocidad de 110 a 40 insume más de un kilómetro.

Si el conductor aplica sus frenos suavemente, alcanzará los 40 km/h recién a 350 m.

Para alcanzar los 40 km/h en 150 m debe aplicar sus frenos de modo tal que los ocupantes ya serán claramente "impulsados hacia adelante" por la inercia.

Y todavía no hemos contabilizado la demora en empezar la maniobra debida a la lectura y al Tiempo de percepción y reacción total del conductor. Si se la contabiliza, el conductor debe "clavar" sus frenos para llegar a 40 km/h al cruce.

Entonces se está en el caso de que o el conductor realiza una maniobra riesgosa (infracción) o ignora la señal de restricción (infracción).

En la práctica, en nuestras pampas, como raramente aparece algún vehículo por el camino lateral, los conductores se acostumbran a ignorar las señales.

Claro, si hubiese un accidente en ese cruce, la conclusión primaria sería que fue causado por el exceso de velocidad y/o negligencia del conductor que transitaba por la ruta, con lo que se enmascara la incidencia del camino.

El Ingeniero Pascual Palazzo ya en 1937 decía así:

"No hay sino un medio de evitar accidentes en los caminos, es hacer que sean improbables, pero no improbables para una especie ideal, inexistente, de conductores o peatones prudentes, atentos, inteligentes, de rápida reacción, sino para los hombres tal cual son o tal cual llegan a ser en las diversas circunstancias de la vida diaria".

"Todavía algunos técnicos piensan que las víctimas del tránsito pagan su propia imprudencia, o son conductores temerarios; es posible que así sea, pero eso nada cambia. Imprudencia, desatención, temeridad, etc., las hubo y las habrá, porque no puede pretenderse cambiar la naturaleza humana".

La buena práctica actual es el diseño de rutas, que algunos llaman "tolerantes", o "indulgentes", preferimos llamarlas "humanas", en las cuales se implementan todas las medidas necesarias para no provocar errores o distracciones de los conductores, evitar que se cometan, y que errores, distracciones, negligencias, impericias de los usuarios o fallas de los rodados se vean agravados por el entorno por el que se circula.

En resumen: Tenga mucho cuidado al descartar al camino como, al menos, concausa del siniestro.

Deformaciones principales —directas— inducidas

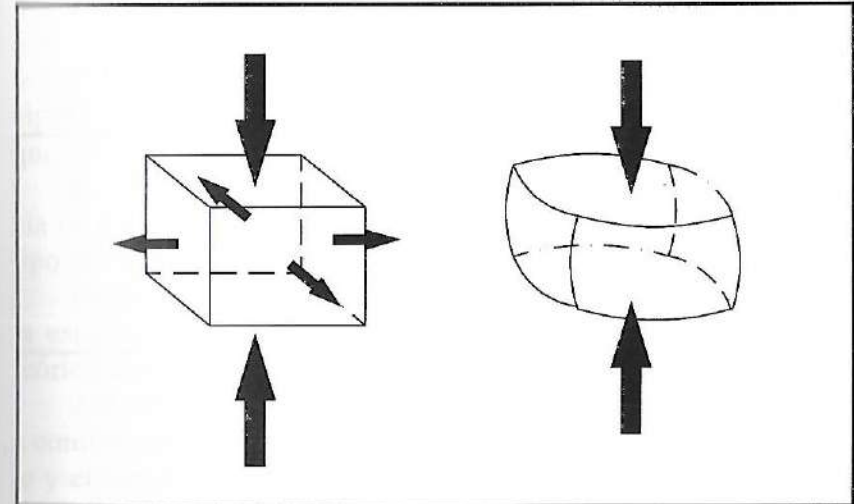
Al referirnos a los elementos de la reconstrucción anteriores ya hemos hecho referencia a muchas cosas que por estar dañadas de determinada manera representan indicios útiles para cada uno de ellos, acá abundaremos específicamente en la cuestión.

Los daños que sufren las cosas, correctamente interpretados, dan buena idea de las direcciones de los esfuerzos que solicitaron a los materiales hasta dañarlos (deformaciones, roturas, cambios de posición), como surge de la segunda ley de Newton (Principio de masa).

La interpretación debe ser realizada muy cuidadosamente por quien tenga acabados conocimientos sobre el comportamiento y resistencia de los materiales de que se trate, pues las direcciones buscadas (llamadas principales) suelen estar enmascaradas por deformaciones inducidas o indirectas.

Así, cuando una fuerza actúa sobre un material, éste se deforma en la misma dirección de la fuerza que los solicita, pero simultáneamente se deforma en direcciones perpendiculares a la principal.

Para visualizar esto, tómese una goma de mascar y comprímase entre dos dedos; se notará que, a medida que se la comprime en una dirección, la goma se ensancha en las direcciones perpendiculares a la de compresión.



Con todos los materiales sucede lo mismo, aunque modificándose las características de respuesta para cada uno.

Entonces, cuando un esfuerzo provoca deformaciones en la dirección de su carga, también las provoca en dos direcciones perpendiculares a ella. Dicho de otro modo, para todo material es imposible acortar su longitud sin agrandar el ancho y la altura.

Estas son las **deformaciones inducidas** por un esfuerzo, el que provoca **deformaciones principales** en su propia dirección.

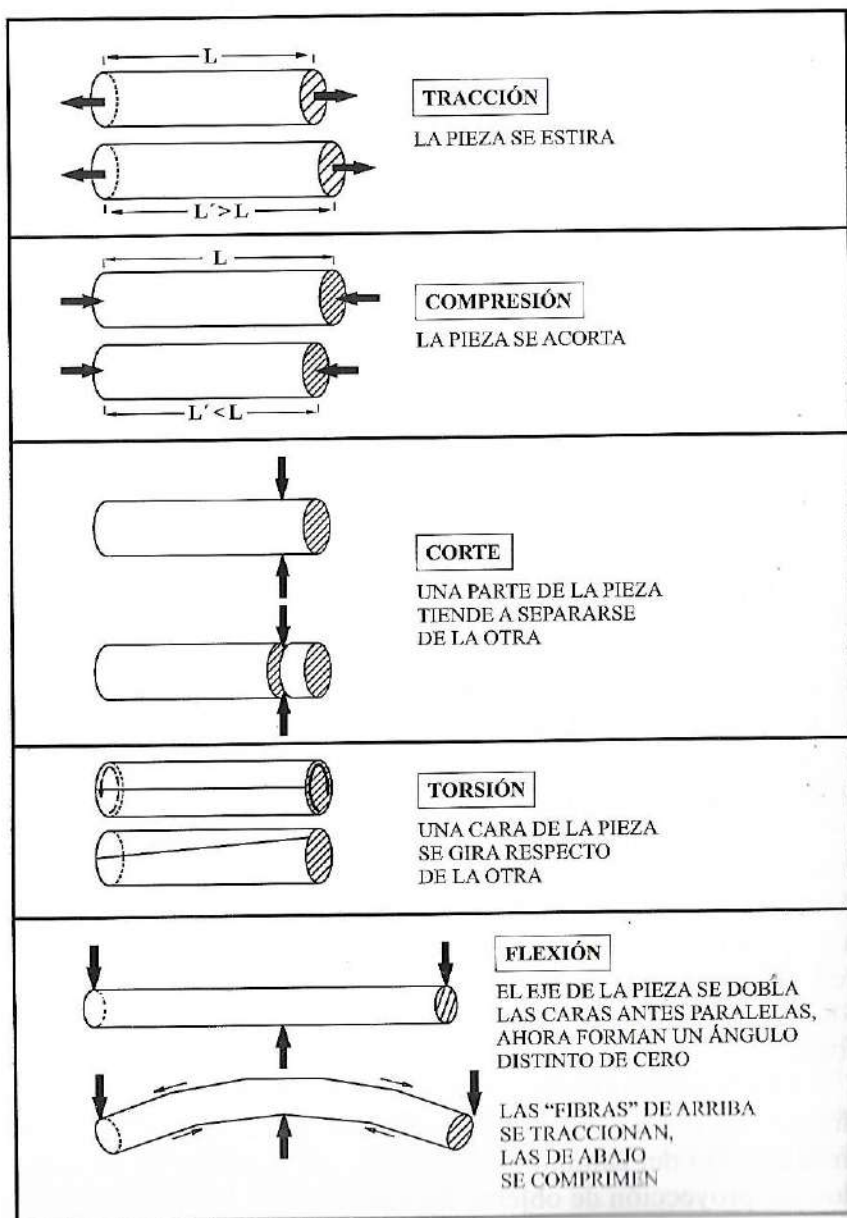
Al conjunto de deformaciones provocadas por la acción directa de la carga (principales e inducidas) suele denominárselas **deformaciones directas**.

Además, es dable encontrar daños (deformaciones) que llamamos **indirectos**. Son los causados por la transferencia de esfuerzos (o por deformación) de las partes afectadas directamente a otras con las que se hallan vinculadas; fenómeno que se propaga reduciéndose, debido a la “amortiguación” que la elasticidad de los materiales provee, y a la “disipación” de energía que las deformaciones provocan.

Hay autores que también llaman daños indirectos a los producidos en el accidente, pero no como consecuencia directa del impacto sino del cambio de velocidad, por ejemplo los producidos por proyección de objetos sueltos.

Algo de resistencia de materiales

Tipos de solicitaciones



Pandeo

A la confusión que pueden provocar sobre la dirección principal los daños inducidos y los indirectos cabe agregarle aún la que puede producir el *pandeo* de las estructuras.

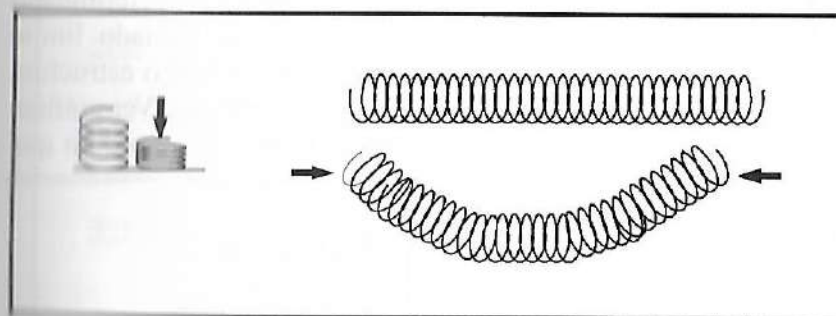
El pandeo es un fenómeno complejo, vinculado a la resistencia de los materiales, a las características de cada estructura, y al tipo de cargas que la solicitan.

Groseramente puede decirse que es un comportamiento de la estructura que provoca que su deformación sea distinta a la teóricamente esperable.

Así, mientras que, teóricamente, una barra delgada sometida a compresión axial solamente debería acortarse longitudinalmente y ensancharse, en la realidad observamos que se deforma arqueándose lateralmente (flexionándose).

Para comprender esto más fácilmente imaginemos que tenemos dos resortes cilíndricos, del mismo material y diámetro, uno tendrá una longitud del orden de su diámetro, en el otro la longitud será cincuenta veces su diámetro.

Si comprimimos al primero veremos que se acorta axialmente, pero cuando aplicamos el mismo proceso al segundo comprobamos que se arquea lateralmente.



Las estructuras esbeltas, en las que al menos una de sus dimensiones es ínfima en relación con las otras, son especialmente sensibles al pandeo. Tal es el caso de las chapas de los rodados.

Salvo la tracción pura, todos los tipos de solicitaciones o combinaciones de las mismas pueden provocar pandeo.

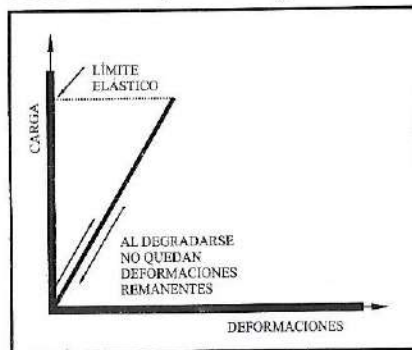
Como surge de los dos últimos párrafos, en casi toda colisión de magnitud se producirá pandeo de alguna de las partes comprometidas, lo que aumentará la dificultad de determinar la dirección de la carga principal.

Elasticidad

Otra cuestión que deberá considerarse es la referida a la elasticidad de los materiales:

Todo material sometido a una carga se deforma en el modo que le impone la misma.

Los materiales presentan distinto tipo de respuesta ante las sollicitaciones a las que son sometidos, en función de sus características físico-químicas y tratamientos térmicos y mecánicos previos.

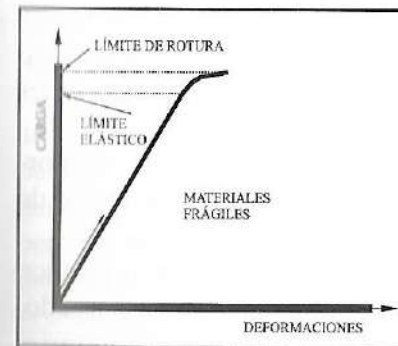
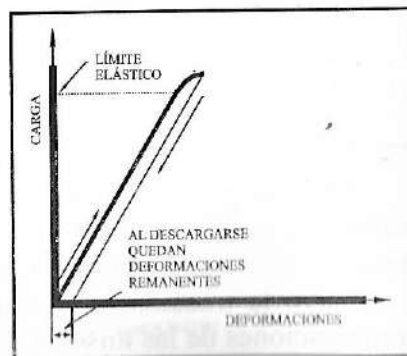


Todos los materiales presentan una cierta elasticidad, es decir que hasta determinado valor de carga, se deforman, y recuperan sus dimensiones anteriores al ser descargados como lo muestra el gráfico siguiente: A partir de superar un determinado valor de carga, llamado límite elástico, el material o estructura

presentará, al descargarlo, deformaciones remanentes. Ver gráfico.

Incrementando la carga o fuerza se llega a un punto en que la respuesta difiere grandemente según sea el comportamiento, presentándose dos posibilidades extremas:

El material se rompe, es el caso de los llamados frágiles: Vidrio, hierro fundido, algunas aleaciones de acero, etc., la carga a la cual esto ocurre se denomina límite de rotura.



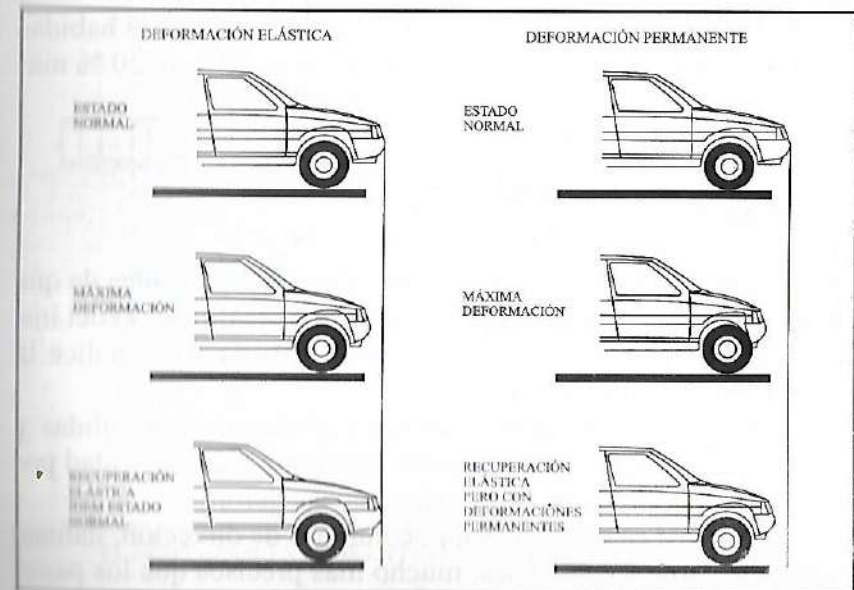
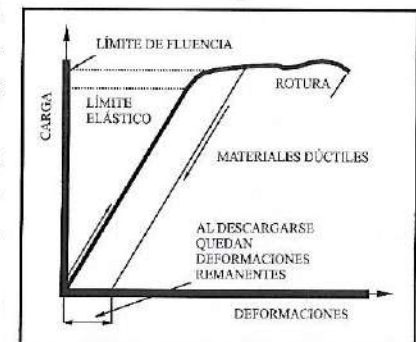
En otros casos, (materiales dúctiles, acero dulce, oro, algunos plásticos, etc.) se llega a un valor de carga en el cual, sin incremento de la misma, se producen significativas deformaciones.

Alcanzado este valor de carga, llamado límite de fluencia (el material se comporta como fluyendo), al descargarse, si bien

tienden a recuperarse las dimensiones originales, la pieza presentará grandes deformaciones remanentes.

Si continúa aplicándose la carga de fluencia, el material finalmente rompe, inclusive separándose físicamente.

Ahora bien, como hemos visto, hasta que la carga alcanza



un cierto límite, al retirarse la misma el cuerpo recupera su forma y dimensiones previas, pero cuando la carga ha superado dicho límite, el cuerpo, al ser descargado, quedará con deformaciones remanentes.

El valor de la carga que hace que el material deje de comportarse elásticamente es el llamado límite elástico, que depende de cada material específico.

Debe destacarse que el hecho de superarse el límite elástico no implica necesariamente que el material, una vez descargado, presente las deformaciones máximas que sufrió. Por el contrario, normalmente tiende a recuperar sus formas y dimensiones originales, aunque por haberse superado su período elástico presente finalmente deformaciones permanentes.

Esto debe ser tenido en cuenta en la reconstrucción, ya que frecuentemente mencionamos que las improntas de daños directos deben encastrar, lo cual es cierto, pero el encastre perfecto sólo ocurre en el momento de deformaciones máximas, las que se reducen apenas separados los protagonistas.

Dicho de otro modo, al observar cualquier daño podemos tener certeza de que las deformaciones habidas durante el impacto fueron mayores a las remanentes que estamos viendo.

Se ha comprobado que las deformaciones máximas habidas en un choque (dynamic crush) son de entre un 10 y un 20 % mayores a las deformaciones remanentes (static crush).

Conclusiones

Pese a todo el enmascaramiento, aún es válida la idea de que las deformaciones brindan una buena idea de la dirección del impacto, a condición de que se lo tenga en cuenta y se analice la cuestión concienzudamente.

A tal fin es conveniente resaltar que cuanto más sólidas y rígidas sean las estructuras dañadas, con tanta más seguridad podrán indicar la dirección de la carga que las deformó.

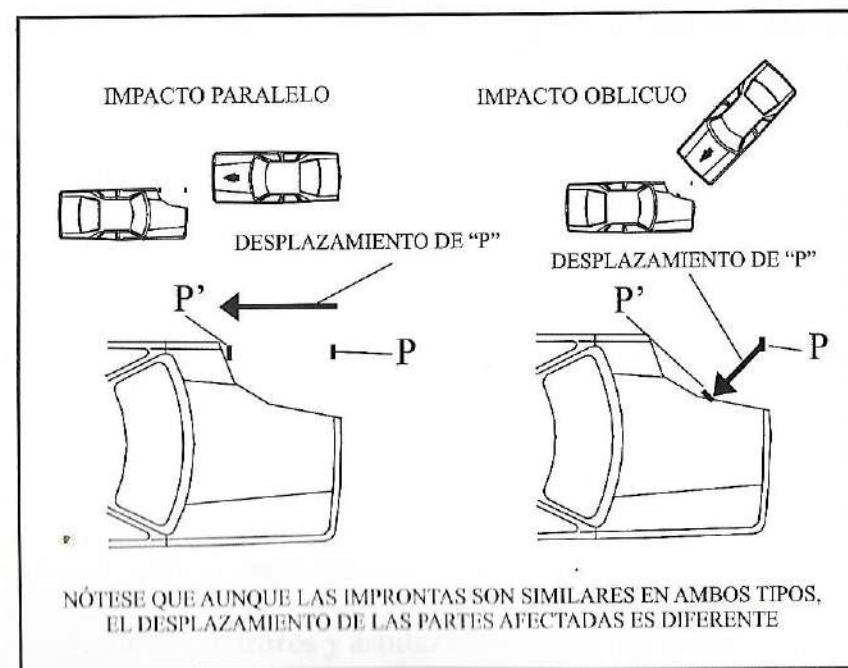
Ejes, parrillas de suspensión, columnas de dirección, llantas, chasis, etc., son, a estos fines, mucho más precisos que los pane-

les de chapa, especialmente ante grandes daños con deformaciones de magnitud.

De todos modos, aun las deformaciones puramente de chapa, analizadas globalmente, pueden indicar la dirección del esfuerzo, para lo cual debe tratarse de reconstruir la trayectoria de cada parte desde su posición original hasta su ubicación final. No debe perderse de vista que impactos distintos pueden provocar improntas similares.

Por ejemplo, un rodado que choca frontal y excéntricamente con otro (contacto inicial en guardabarros delantero izquierdo) puede mostrar una impronta similar a la que le habría producido un embestimiento en la misma zona pero a 45°.

Sin embargo, la "trayectoria" de, por ejemplo, el triedro del guardabarros necesariamente habrá de ser distinta, en el primer caso habrá retrocedido, pero manteniendo aproximadamente su misma posición transversal, mientras que en el segundo caso, además de retroceder algo, se lo habrá acercado sensiblemente al eje longitudinal del coche.



Un elemento útil a tener en cuenta es el “quiebre” que por pandeo a la compresión se produce en algunas placas de los rodados, generalmente capot y/o techo.

La traza de ese quiebre indica con mucha precisión la dirección de la carga de impacto, ya que es perpendicular a la misma.



Capítulo 18

Daño a las cosas. Rotura de cristales

La industria automotriz utiliza tres tipos de cristales (incluso en un mismo auto), que tienen comportamiento distinto ante la rotura.

Además, cada tipo de vidrio o cristal tiene un comportamiento especial ante las cargas que originan la rotura, lo que muchas veces es de utilidad para la reconstrucción del accidente:

Vidrio común se usa frecuentemente en las ópticas o faros delanteros.

Ante un impacto directo (carga con componente perpendicular a la superficie, se fractura en forma radial, con centro en la zona de impacto, formando un “dibujo” similar a una tela de araña.

Ante una deformación estructural, como la compresión generada por un choque, se fractura en líneas que tienden a ser paralelas entre sí y, a su vez, perpendiculares a la dirección de la deformación.

Si esta compresión es muy violenta se comporta como explotando.

• Se mantiene unido si el impacto es leve, de lo contrario va cayendo gradualmente, marcando la dirección de la trayectoria del rodado.

Se rompe en trozos y astillas relativamente grandes.

Cristal templado, de uso general en ventanillas y en muchos parabrisas y lunetas. Se rompe en pequeños trozos asemejando sal gruesa debido a las tensiones internas remanentes del templado.

En general la rotura granular hace que se produzca la opacidad del cristal, provocando que sea casi imposible ver a través del mismo.

Ante un impacto directo se deforma “abollándose” quedando la impronta del impacto y marcando su dirección, o perforándose en la zona si el impacto es de mayor magnitud.

Si el impacto es suficientemente amplio puede romperse y separarse completamente, siguiendo sus rezagos la dirección del impacto.



Es frecuente que, una vez roto, y debido a los movimientos posteriores del rodado empiece a desgranarse, dejando como un reguero de cristallitos en su trayectoria.

Si la rotura es debida a la compresión de la estructura, reacciona como explotando, generalmente en dirección de su convexidad.

Esta explosión dispersa la “sal gruesa” en una amplia zona, pero con una suerte de dirección media, que indica la orientación del rodado en el instante de la rotura.



Cristal de seguridad o tipo sandwich (son capas de cristal laminado adheridas a una capa de polímero transparente y muy resistente).

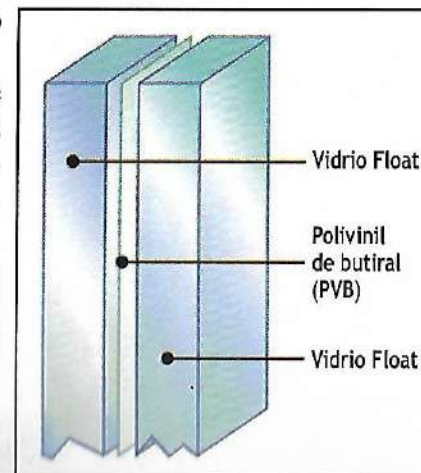
Muchos parabrisas son de este material, el cual es de uso obligatorio en algunos países, ya que al astillarse no se desprende con facilidad.

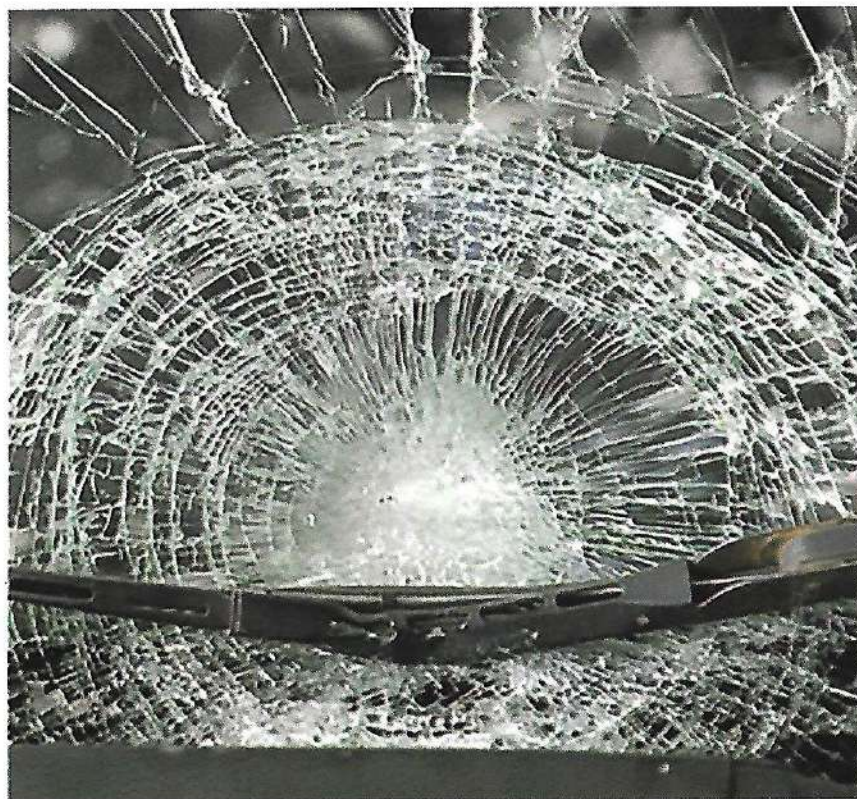
Se rompe en tozos grandes, que generalmente quedan adheridos debido al polímero intermedio.

Ante un impacto directo (perpendicular a su superficie) las líneas de fractura forman sobre ésta un diseño similar al de una tela de araña (radial con centro en la zona de impacto).

Soporta manteniéndose unido, inclusive con grandes deformaciones, impactos mucho mayores que el vidrio común.

Análogamente al vidrio sencillo (del cual está formado) ante la deformación estructural genera líneas de fractura perpendiculares a la dirección de la deformación.





Nótese que estas diferencias de deformación permiten determinar, por ejemplo, si un peatón embestido golpeó en el techo o en el parabrisas, ya que en el primer caso las líneas de fractura tenderán a ser horizontales y paralelas, mientras que en el segundo serán radiales.

Los cristales de seguridad ante una deformación estructural, aunque permanecen sustancialmente unidos, suelen ser expulsados, de modo que también pueden dar idea del movimiento del rodado en el momento de la expulsión, sobre todo vinculando su posición final con algún otro punto de su trayectoria.

Capítulo 19

Daño a las cosas. Rotura de lámparas. Estado de las luminarias

Con alguna frecuencia es necesario discriminar si alguno de los protagonistas circulaba con sus luces encendidas o no.

No son pocos los accidentes en nocturnidad que sólo se explican si alguno de los rodados carecía de iluminación en el entorno temporal del accidente.

Además, ante la sensata legislación que impone la circulación con las luces medias encendidas aun de día (DRL por su sigla en inglés, Day Running Lights), que evita innumerables accidentes, la necesidad de conocer el estado de iluminación de un rodado siniestrado toma relevancia en prácticamente todos los casos.

La industria automotriz utiliza hoy en día tres tipos de luminarias:

- Focos incandescentes

- Focos LED (Diodos emisores de luz).

- Tubos de descarga ("de Vacío" o "luces de Xenón").

Todavía, pero por poco tiempo, la lámparas incandescentes (de filamento caliente) son las de uso más extendido en el parque automotor.

Las luces en base a LEDs usadas principalmente en luces de posición consisten en semiconductores envueltos en plástico transparente, los que, al ser excitados por la corriente, emiten luz

visible. Son de bajo consumo eléctrico y emiten menos calor que las incandescentes.

La "luces de xenón" tienen cierta analogía con los "tubos de vacío" o "fluorescente" de iluminación industrial y familiar.

La luz visible se produce al generarse un arco eléctrico entre los electrodos dentro de un recipiente transparente con muy escasa presión interior (menor que la atmosférica) en el que se ha introducido un gas noble, en este caso xenón. Son de bajo consumo energético y emisión de calor.

Las incandescentes (perfeccionadas por Edison) producen luz al calentar un filamento hasta que se vuelve brillante. Esto requiere mayor consumo energético, y, obviamente, generación de calor. El bulbo puede contener algún gas adecuado (halógenos, mercurio) o estar al vacío.

Las lámparas "halógenas" son de utilización corriente en los faros delanteros, mientras que las tradicionales "de vacío" suelen aún utilizarse en luces de posición, intermitentes, etcétera.

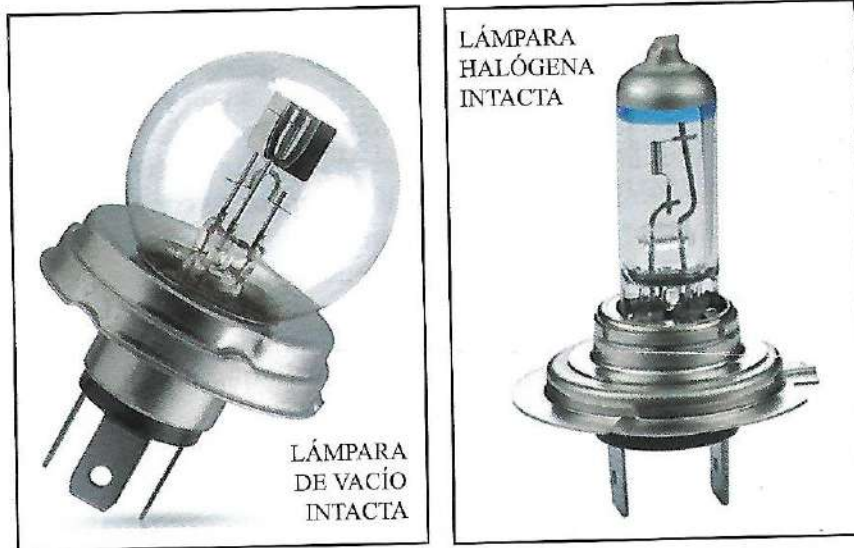
Las únicas de estas lámparas que hasta donde sabemos pueden presentar utilidad como indicios para la investigación de siniestros son las incandescentes, dada la presencia de los filamentos.

Lamentablemente el examen del estado de las luces de los rodados siniestrados no es una práctica común todavía en Argentina.

Es frecuente que se mencione si los faros estaban rotos o no, pero raramente se corrobora el estado de los filamentos de los focos, lo que puede determinar si estaban encendidos en el instante de la colisión.

Una lámpara en correcto estado presenta su bulbo intacto sin opacidades, y el o los filamentos se aprecian brillantes y sin deformaciones.

Sin embargo, si el bulbo se ha roto cuando las luces estaban encendidas, el filamento generalmente aparece recubierto de un óxido blanquecino (aunque su color depende de la temperatura, a más temperatura más oscuro, llegando a casi negro), visible a simple vista, que es debido al ingreso del oxígeno del aire al bulbo o ampolla.



Este óxido es el resultado de la oxidación del material del filamento (Tugsteno o Wolframio) en caliente ante la presencia del oxígeno del aire.

En este caso muy probablemente el rodado llevaba sus luces encendidas (al menos la correspondiente a ese filamento). En el momento del impacto que rompió el bulbo.

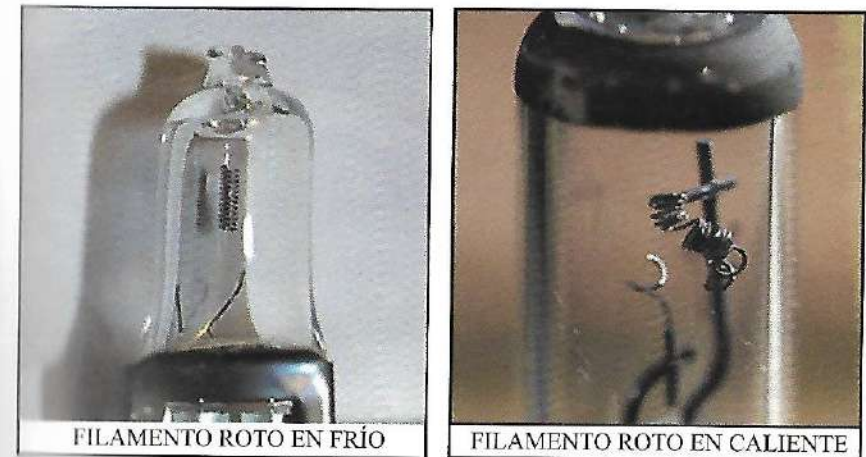
Si las luces estaban apagadas en el momento de la rotura del bulbo, tal óxido no aparece.

Es un caso en el cual el rodado tendría sus luces apagadas en el momento de la rotura.

Si el bulbo no se ha roto, pero el filamento sí, deberá utilizarse una lupa potente o microscopio para analizar la rotura, ya que, si en su extremo aparece una formación globular de su mismo material fundido, estaremos ante un filamento roto mientras estaba encendido.

El filamento, estando frío, se comporta de forma frágil, es decir que no presenta deformaciones sustanciales en la rotura.

Por el contrario, estando caliente el material es muy dúctil, por lo que antes de romperse se deforma sustancialmente (ver fotos).



La deformación (incluso sin rotura) puede haberse producido por la conmoción del impacto, dada la inercia propia del filamento (en cuyo caso las luces habrían estado encendidas en ese momento).

Atención que la rotura también puede haber sido ocasionada por el simple "quemado" del filamento por haber llegado al fin de su vida útil, en algún momento previo al accidente, aunque este fenómeno (fin de la vida útil) suele denotarse por un oscurecimiento del cristal del bulbo, con lo cual la lámpara en cuestión podría haber estado apagada en el instante del choque.

La indeterminación se puede salvar mediante el análisis de todos los filamentos de las lámparas del rodado.

Así, en las lámparas multifilamento, al estar uno de ellos incandescente, calienta al otro lo suficiente como para que se deforme inercialmente en una colisión.

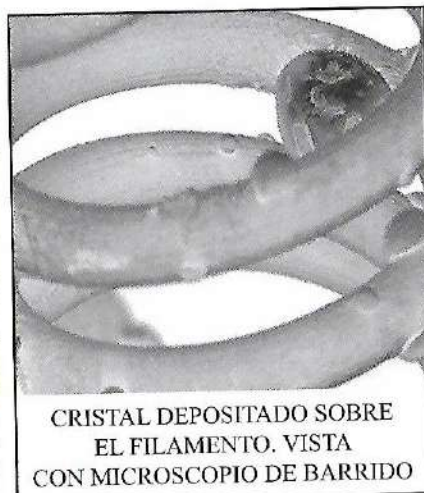
Si el filamento se ha roto en frío (apagado) no presenta en los extremos de la rotura material fundido.

Es importante el análisis de los extremos rotos del filamento, ya que puede darse el caso de que el mismo se deforme, inclusive se rompa, en frío, si es sometido a aceleraciones suficientes.

En este caso habrá certeza de que esa luz estaba apagada en el momento de la colisión (aunque se hubiera roto antes de la misma).



TRAZAS DE CRISTAL
EN EL FILAMENTO



CRISTAL DEPOSITADO SOBRE
EL FILAMENTO. VISTA
CON MICROSCOPIO DE BARRIDO

A veces al romperse el bulbo, si la luz está encendida, quedan adheridos, fundidos, con el filamento fragmentos del cristal del mismo.

Como vemos, no siempre se podrá tener certeza sobre si las luces estaban apagadas, pero:

Si presenta ennegrecimiento del cristal del bulbo o ampolla, significa que se "quemó" antes del choque. Es decir que estaba apagada cuando éste ocurrió.

Si el filamento no está deformado, está brillante, en una colisión de magnitud, la lámpara estaba apagada.

Formaciones globulares en los extremos de rotura del filamento, junto con deformación inercial importante del mismo y/o la presencia de óxido de tungsteno, brindan certeza del estado de incandescencia en el momento de la rotura.

Capítulo 20

Accidentes con peatones

Introducción

Los accidentes viales que involucran a peatones, lamentablemente, demasiado frecuentes, virtualmente siempre conllevan lesiones y/o daños personales, muchas veces de gravedad extrema o letales.

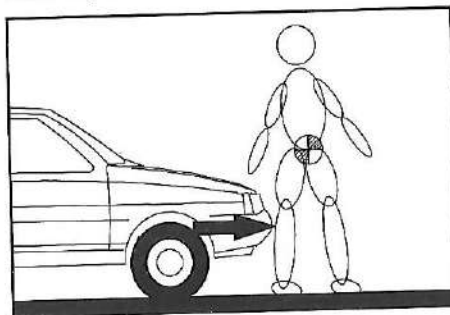
Desde la accidentología estos accidentes presentan dificultades especiales para su reconstrucción, habida cuenta la gran variabilidad de los parámetros involucrados, y la, generalmente, escasa cantidad de elementos objetivos que sirvan como fundamento para la misma, sin embargo, el estudio sistemático de estos fenómenos facilita su comprensión y nos acerca a poder conocer lo sucedido con suficiente aproximación en la mayoría de los casos.

Descripción genérica de un embestimiento

• El peatón es golpeado por el extremo frontal del rodado, generalmente el paragolpes, en sus piernas.

Este es el primer contacto entre ambos móviles (a los efectos de estudio, tanto rodado como peatón son objetos móviles).

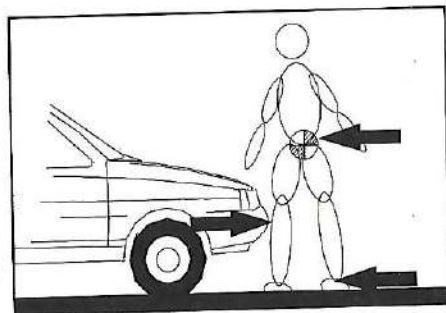
La parte del cuerpo tocada es acelerada, casi instantáneamente, hasta alcanzar la velocidad del rodado embistente.



Cuando el peatón se encuentra apoyado por su peso contra el piso, el rozamiento que existe entre el piso y su calzado se opone a tal aceleración.

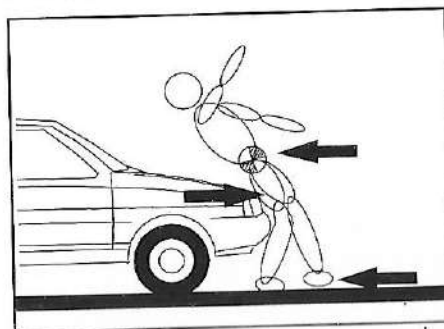
Por otro lado, la inercia propia del cuerpo, que actúa en su centro de gravedad, tiende también a oponerse al movimiento. (Recordemos que la inercia de un objeto es la resistencia a cambiar su estado de movimiento).

Esto provoca que, generalmente, las piernas se arqueen tomando la forma del frente del vehículo, y que la parte superior del cuerpo, que tendió a permanecer en reposo, sea alcanzada por la parte más alta del frente del rodado, por lo que esta zona del cuerpo resulta acelerada hasta alcanzar la velocidad del mismo.



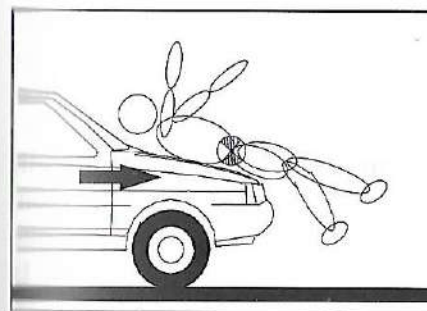
Éste es el segundo contacto entre los móviles y es de esencial importancia en relación al movimiento posterior del cuerpo.

De hecho, casi todos los modelos matemáticos utilizados consideran al impacto concentrado en esta zona.



El cuerpo está ahora animado por un movimiento rototraslatorio impuesto por los sucesivos contactos que aceleraron partes del mismo.

El Primer Contacto le confirió al cuerpo una velocidad lineal " v " de su centro de gravedad, y una velocidad



angular " ω " de giro alrededor de su centro de gravedad dada por: $\omega = v/d$.

Donde " v " es la velocidad debida al impacto, y " d " la distancia entre el punto del cuerpo afectado por este primer contacto y su centro de gravedad.

El Segundo Contacto acelera una parte del cuerpo ubicada por encima del punto del primer contacto, y su efecto será distinto en función de su posición relativa al centro de gravedad del cuerpo.

Cuando este segundo contacto se produce a una altura inferior a la del centro de gravedad del cuerpo —el que se encuentra aproximadamente unos cinco centímetros por debajo del ombligo— el punto alcanzado, que tenía una velocidad tangencial " v_2 " (menor que " v " por ser d_2 menor que d) dada por: $v_2 = \omega \times d_2$, en la que " d_2 " es la distancia a su centro de gravedad, es acelerado hasta tener a " v " como velocidad tangencial, por lo que se incrementa la velocidad angular a " ω_1 " tal que: $\omega_1 = v/d_2$. (Trayectorias III a VI).

En cambio, cuando el segundo contacto tiene lugar por encima del centro de gravedad el razonamiento es análogo, pero, como el cuerpo está animado de una rotación alrededor de ese punto, las partes del mismo que estén por encima del centro de gravedad tendrán velocidades tangenciales debidas al primer contacto opuestas a la velocidad de embestimiento, pero en el segundo contacto toman su mismo sentido, obviamente tras una gran aceleración local. (Trayectorias I y II).

Trayectorias post-impacto de peatones embestidos

El comportamiento de un cuerpo humano embestido por un rodado está influido por una serie de factores que se interrelacionan, como ser características de peso y talla, posición al

momento del impacto, velocidades de desplazamiento tanto del peatón como del agente embestidor, forma del frente de este último, si estaba o no frenando en el instante de contactar al cuerpo, etcétera.

Todas estas variables son de virtualmente imposible determinación para cada caso particular, sin embargo, la investigación, experimentación y la ciencia han permitido sistematizaciones que ayudan significativamente al analista de estos accidentes en la búsqueda de acercarse a la verdad de lo sucedido.

En el siguiente capítulo veremos estas trayectorias.

Capítulo 21

Trayectorias típicas de peatones embestidos

Trayectoria D: proyección frontal (*forward projection*)



Ya hemos visto que a consecuencia del contacto con el vehículo embestiente, el cuerpo del peatón adquiere un movimiento rototraslatorio compuesto por una velocidad lineal " v ", y una rotación alrededor de su centro de gravedad de velocidad angular " ω ".



El punto del cuerpo sometido al segundo contacto será acelerado en la dirección del impacto; si este punto se encuentra por

encima de su centro de gravedad, como en estos casos, la consecuencia de este segundo contacto será cambiar la dirección de la rotación, impulsando a la parte superior del cuerpo en la dirección del embistente, es decir que tenderá a adelantarse y a caer hacia el piso por delante del rodado.

Si, a partir del instante del impacto, el rodado reduce su velocidad lo suficiente como para detenerse sin volver a contactar con el cuerpo, estaremos en lo que se denomina *proyección frontal o forward projection*.

Nótese que las lesiones producidas por los impactos directos estarán en las zonas de los contactos primero y segundo, es decir piernas y parte alta del torso y/o cabeza, zona donde el impacto y las aceleraciones son más violentos.

Pueden aparecer también daños en los miembros superiores.

Suelen aparecer lesiones debidas al golpe contra el piso en las zonas superiores del cuerpo.

Trayectoria II): arrollamiento (*run over*)



Arrollamiento ocurre cuando un vehículo pasa por encima de una persona (o un animal).

Sucede cuando una persona yace en la trayectoria del vehículo.



Además de otras causas independientes, el yacer en la trayectoria de un rodado hasta ser arrollado por él puede deberse a una proyección frontal, en la cual el vehículo no reduce su velocidad en la medida en que lo hace el cuerpo proyectado por el impacto previo, por lo que lo arroja.

Estas trayectorias ocurren cuando camiones, kombis, pickups, vans o colectivos (en general grandes vehículos) embisten personas de cualquier tamaño, o por el embestimiento de niños por automóviles standards.

Esto es debido a las posiciones relativas entre el punto del segundo contacto y el centro de gravedad de las personas involucradas, al estar el punto del segundo contacto por encima del centro de gravedad el cuerpo es impulsado hacia delante, como ya ha sido explicado.

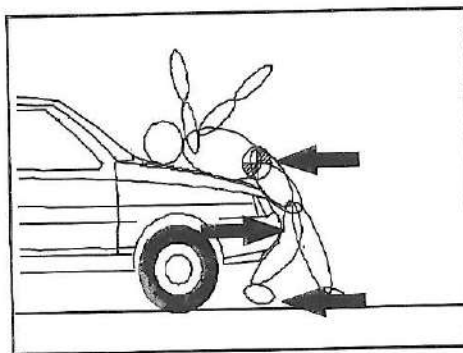
Trayectoria III): montado sobre capot (*wrap trajectory*)

Cuando el segundo contacto ocurre en un punto por encima del punto de contacto inicial, pero por debajo del centro de gravedad de la persona, hemos visto que la rotación que le había impuesto el primer contacto se incrementa en magnitud.



Si el rodado no se detiene o disminuye sensiblemente su velocidad inmediatamente tras el segundo impacto, el cuerpo pivoteará en la zona de contacto (típicamente el extremo delantero superior de la trompa del vehículo).

Como el sentido de la rotación hace que la parte superior del cuerpo se dirija en contra del movimiento del rodado, ésta girará hasta golpear contra la estructura del móvil.



Durante unos instantes el cuerpo del peatón así embestido adopta la forma de la trompa del automóvil, a la que parece envolver, de allí el nombre en inglés: *wrap trajectory*.

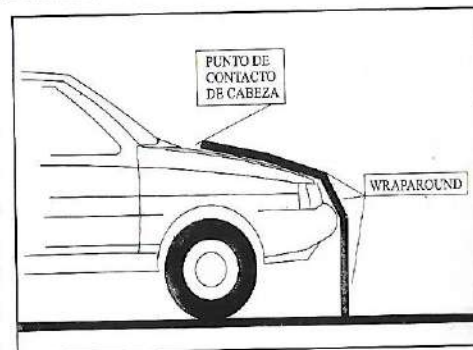
Como la cabeza del peatón es la parte más alejada del centro del giro, estará

animada de mayor velocidad relativa, por lo que su impacto con el coche será el más violento.

Luego del impacto de la parte superior del cuerpo, éste permanece "cargado" sobre el capot, hasta que se separa del coche por la desaceleración del mismo, siendo proyectado hacia adelante, o hasta que el móvil se detiene, si frena suavemente.

En general se acepta que, cuanto mayor es la velocidad, tanto más hacia atrás del rodado golpea la víctima del embestimiento, pero esto, por lo que sabe el autor, aún no ha podido cuantificarse, aunque se ha propuesto la utilización de una medida, llamada *WRAPAROUND*, a tal fin.

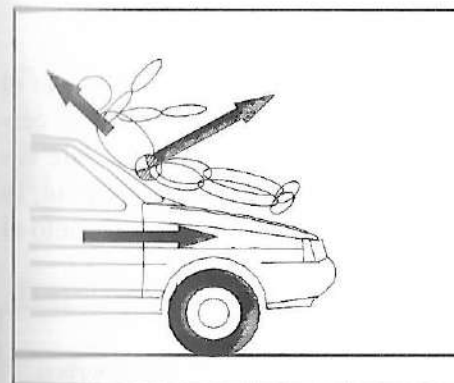
WRAPAROUND es la medida que surge de considerar la altura desde el piso del borde delantero del paragolpes del rodado, en su posición de embestimiento; sumada a la distancia entre éste y el borde delantero del capot; y a la distancia



entre este punto y aquel donde golpeó la cabeza del peatón.

La diferencia entre el *wraparound* y la altura del peatón ha sido propuesta como índice de la velocidad de embestimiento, pero, hasta el momento, infructuosamente.

Se han registrado casos en los cuales el cuerpo desliza sobre el parabrisas, el que actúa como deflector elevando al cuerpo en dirección de su inclinación.



Así el cuerpo toma una dirección oblicua respecto al rodado y su movimiento respecto al piso resulta de la composición de ambos movimientos, como se ve en el gráfico siguiente.

Frecuentemente aparecen lesiones importantes en piernas, caderas, torso y cabeza por contacto direc-

to entre peatón y vehículo, además de las provocadas por el golpe contra el piso, si existiera.

Improntas típicas sobre el rodado



Trayectoria IV): vuelta por guardabarros (*fender vault*)

Es un caso especial de la anterior trayectoria, en la que el peatón, por ser embestido con una parte del frente del rodado cercano a su borde lateral y/o por estar animado de considerable velocidad propia, describe una trayectoria tal que, oblicuamente, lo lleva a pasar sobre el capot y el guardabarros, cayendo al suelo al costado del rodado.



No debe olvidarse que todo movimiento resultante de la combinación de otros puede analizarse mediante el estudio de cada uno de sus componentes, y que en casos como el considerado las fuerzas e impulsos y los movimientos que generan pueden siempre descomponerse según la dirección de avance y otra perpendicular, y que las fuerzas e impulsos no provocan efectos en direcciones ubicadas a 90° con su recta de acción, en lo que a la cinemática se refiere.

Por lo dicho, al ser embestido un peatón que, por ejemplo, cruza corriendo transversalmente al rodado, pese a ser impulsado hacia adelante por el impacto, el cuerpo del peatón continúa con la componente de desplazamiento transversal al rodado que tenía en el momento del embestimiento, es decir que sigue moviéndose hacia el costado del móvil, aunque lo haga también hacia su frente debido al impacto.

Esto hará que, salvo que el cuerpo sea enganchado, o que de alguna otra manera alguna fuerza contrarreste su inercia transversal, tienda a quedar fuera de la zona "barrida" por el rodado en su desplazamiento.

También puede producirse esta trayectoria cuando el punto de contacto del rodado con el peatón es alguno del frente del primero cercano a su lateral.

Además de lesiones similares al caso anterior, suelen ser importantes las producidas por el golpe contra el piso, y frecuentemente no aparecen lesiones en la cabeza pues ésta puede no golpear, aunque en estos casos suelen ser de importancia las lesiones del tórax y el cuello.

Trayectoria V): vuelta por el techo (*roof vault*)

Cuando el vehículo embistente es muy perfilado y/o la velocidad del mismo muy elevada puede ocurrir que, tras el o los primeros contactos, el rodado avance lo suficiente antes de que descienda por caída el cuerpo, como para "meter" bajo el mismo su techo, por lo que, al descender, el cuerpo golpea contra éste, y/o planos traseros del automóvil.



Ocorre que, en determinadas circunstancias, el giro iniciado alrededor del centro de gravedad es tal, que las piernas inmediatamente siguen la rotación elevándose, es decir el cuerpo se comporta más rígidamente que en los casos anteriores.

Esto parece deberse a combinaciones especiales de velocidad y posiciones relativas de las zonas de primero y segundo contacto.

Existen registros de accidentes en los cuales la víctima ha caído directamente al piso por detrás del rodado.

Considerando que en este tipo de accidentes la energía cinética de rotación del cuerpo suele no ser disipada principalmente por el impacto de la cabeza, el que puede no ocurrir, se explica que suelen presentarse lesiones en la cabeza de menor intensidad que en las trayectorias anteriores.

Trayectoria VI): salto mortal (*somersault*)

Si en circunstancias como las descriptas para la trayectoria anterior, es decir que provocan un comportamiento rígido del cuerpo, el rodado, en vez de "meterse" bajo el cuerpo, se detiene, el mismo completará su rotación, por lo que existirán grandes posibilidades de que golpee con su cabeza directamente contra el piso por delante del rodado sin volver a contactar con éste.



Este tipo de embestimiento presenta principalmente lesiones de importancia en cabeza y cuello, además de las presentes en las piernas.

Las cuatro últimas trayectorias mencionadas ocurren en embestimientos de personas cuyo centro de gravedad está a una altura superior a la del punto de segundo contacto.

En general adultos embestidos por automóviles de paseo.

Obviamente, las seis trayectorias típicas de peatones embestidos lo son a efectos descriptivos y de estudio, siendo en la realidad, frecuentes las combinaciones de las mismas.

Comentario sobre las tablas existentes

Estamos en conocimiento de la existencia de ciertas tablas que relacionan velocidades de embestimiento con las lesiones sufridas por peatones embestidos, pero, analizando el fenómeno, con su gran cantidad de variables, numerosos ensayos realizados con dummies y/o cadáveres, hemos llegado a la conclusión de que tales tablas carecen del necesario rigor científico como para ser de utilidad en cuestiones judiciales.

Capítulo 22

Nota general sobre lesiones

En general el ser humano sufre lesiones debidas al contacto directo y violento con objetos duros, por lo que éstas suelen indicar la dirección relativa del impacto, por ejemplo la pierna de un peatón embestido que presenta fractura de tibia o peroné muy probablemente haya sido la que soportó el primer contacto estando apoyada.

Pero, atención, ya que a veces se registran lesiones óseas en zonas relativamente alejadas de donde se recibiera el impacto, así suele ocurrir con huesos del cráneo, que pueden fracturarse en la zona opuesta al golpe, o con la parrilla costal, motivo por el cual

la determinación de la dirección de la fuerza incidente en un cuerpo humano en base a las lesiones sufridas debe ser realizada únicamente por médicos avezados.

Las menciones sobre lesiones realizadas lo han sido a modo ilustrativo y sólo para facilitar la interpretación de fenómenos correspondientes a otras disciplinas.

Es importante resaltar que, si bien, como lo postula el sentido común, hay una tendencia estadística a cumplir la relación "a mayor velocidad de impacto, mayor gravedad de las lesiones", esto no siempre se cumple, de modo que es un grosero error pre-

tender determinar velocidades a partir de las lesiones en las personas para casos específicos.

Así, se han comprobado lesiones gravísimas y fallecimientos en impactos a muy bajas velocidades, tanto como lesiones relativamente menores con impactos a altas velocidades.

También debe decirse que las lesiones producidas por impacto contra el piso, en general tienden a ser de tipo menor (*minor injuries*) cualquiera sea la velocidad de embestimiento, aunque se han registrado fallecimientos y cuadriplejías imputables a impacto contra el piso.

Reiterando: Pese a ciertas tabulaciones que circulan al respecto, determinar velocidades de impacto en función de las lesiones para un caso particular es un grave error metodológico.

Lo mismo ocurre si se pretende calcular velocidades en base a la magnitud de los daños sufridos por los rodados, ya que la resistencia de los materiales no es homogénea, ni siquiera en un mismo vehículo.

Es decir, pequeñas diferencias de ubicación del impacto, aun en un mismo automóvil, y para igualdad de las demás variables (velocidad propia, peso, altura, actitud, etc. del peatón) pueden provocar daños significativamente distintos. No cuesta imaginar la variación cuando los automóviles son distintos o su posición al impacto es diferente.

Capítulo 23

Personas transportadas

Mecanismos lesivos

En un choque los ocupantes de un vehículo pueden sufrir lesiones debido a varios fenómenos:

El más frecuente es el golpear contra partes del interior del habitáculo o cockpit debido a la inercia propia, ante la modificación de velocidad debida al accidente. (Los cuerpos tienden a seguir moviéndose con la velocidad que tenían en magnitud, dirección y sentido).

En el instante de este golpe se produce una altísima desaceleración (reducción de velocidad en un lapso infinitésimo) que es lo que genera las lesiones.

Los **cinturones de seguridad** y las **bolsas de aire** (*air-bags*) reducen sensiblemente las posibilidades de lesiones atribuibles a la inercia del cuerpo al amortiguar las bruscas desaceleraciones que se producen al golpear el cuerpo con el interior del rodado.

Es interesante recordar que en el accidente de Lady Di el único sobreviviente fue el custodio que estaba "atado" con su cinturón de seguridad, y esto pese a estar en el lugar estadísticamente más comprometido, acompañante del conductor.

Así también la inercia del cuerpo es la causa de los latigazos de cuello, cuando por un impacto trasero el vehículo es acelerado bruscamente hacia delante y la inercia de la cabeza tiende a mantenerla en su sitio original. Se minorizan o anulan sus consecuencias con los "apoyacabezas" bien colocados (su parte superior nunca por debajo de la altura de los ojos de quien esté sentado en el asiento).

El segundo fenómeno es debido a la deformación de la estructura del rodado, la que golpea y/o aprieta a los ocupantes.

El tercero es debido a que por inercia, ante la brusca desaceleración, algunos órganos internos se mueven y golpean o se aplastan contra huesos del cuerpo, dañándose, por ejemplo, el cerebro contra las crestas del cráneo, o el corazón contra la parrilla costal.

También, recientemente se ha descubierto que los movimientos relativos que provoca la inercia pueden generar el letal estiramiento de los axones neuronales del cuerpo calloso.

Otra forma en que se lesionan las personas es debida a la proyección de objetos sueltos.

En efecto, por la archimencionada inercia los objetos sueltos "se proyectan" ante una brusca desaceleración (en realidad continúan moviéndose respecto al camino como venían haciéndolo). A estos efectos son "objetos sueltos" también las personas que no tengan colocados sus cinturones de seguridad, cuyos movimientos inerciales pueden golpear a otros ocupantes del rodado.

Muy frecuentemente se producen varios o todos los *mecanismos lesivos* en una misma persona.

Las lesiones, su ubicación y magnitud pueden tener efectos jurídicos, por ejemplo, en conjunción con las partes del rodado que las produjeron pueden determinar quién conducía, y/o si estaba "atado" con el cinturón de seguridad (ante un impacto violento, éstos, si estaban colocados, suelen dejar moretones en las zonas del cuerpo que retuvieron, generalmente tórax, aunque se los han descrito también en las crestas ilíacas).

Si no están retenidas por los cinturones, a veces las personas son despedidas de los automóviles, especialmente cuando se ge-

nera una rototraslación, en que las fuerzas centrífugas "empujan" a los ocupantes hacia los laterales.

Estadísticamente las consecuencias de ser despedido del rodado son más graves que si se está retenido, y a los efectos de la reconstrucción significa que el rodado estuvo girando tras el choque, sobre todo si se alejó del punto de impacto.

Las ecuaciones del movimiento de los ocupantes son diferenciales de segundo grado que caen fuera del alcance de estas páginas, y son necesarias en escasísimas oportunidades.

En páginas anteriores hemos ido mencionando muchos de los indicios, huellas y secuelas que son de utilidad en la investigación de accidentes, así como sus significados.

Por su importancia dedicaremos varios capítulos específicos a las huellas de neumáticos, a los fenómenos que las generan, en integralidad con el fenómeno de frenado y la interacción entre el rodado y el camino.

Rozamiento, adherencia, frenado

Siempre que dos cuerpos están en contacto, y con movimiento relativo entre sus respectivas superficies, existe rozamiento.

El fenómeno de rozamiento es muy complejo, y se debe a la interacción entre las irregularidades macro y microscópicas de las superficies en contacto, así como a la acción de las fuerzas de cohesión de las moléculas en las superficies de contacto entre sí.

Si bien existe rozamiento en todos los estados de la materia, nos referiremos solamente al rozamiento entre sólidos.

Cotidianamente comprobamos que para hacer deslizar un cuerpo de peso " P ", inicialmente en reposo, sobre una superficie

horizontal, debemos ejercer una fuerza " F_e ", paralela a dicha superficie.

A la relación (división) entre la menor fuerza necesaria para iniciar el movimiento y el peso del cuerpo se la denomina **coeficiente de rozamiento estático " μ_e "**.

Que representa qué proporción del peso [o fuerza normal a la superficie de contacto] es necesario aplicar al cuerpo para que éste inicie su desplazamiento.

Esta fuerza, paralela a la superficie, y al movimiento, se denomina **resistencia por rozamiento estático, o adherencia**, y es debida a que, estando en reposo el cuerpo, las irregularidades de su superficie se "encastran" con las irregularidades de la superficie sobre la que apoya.

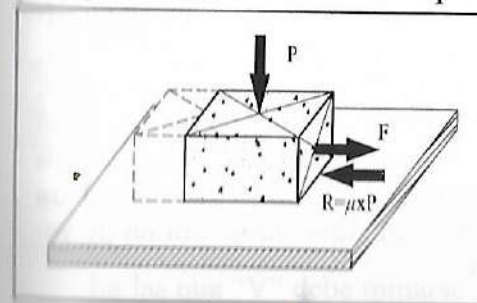
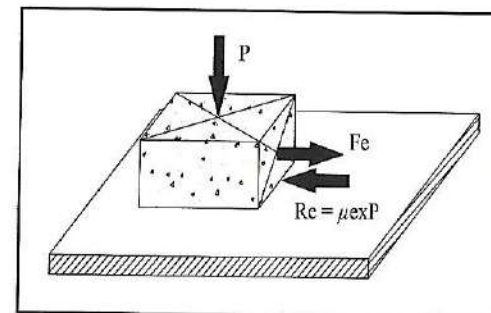
Empíricamente también se comprueba que luego de iniciado el movimiento, la fuerza necesaria para mantenerlo, con velocidad uniforme " F ", es menor que F_e .

Esta fuerza " F ", llamada resistencia por rozamiento dinámico o fricción, es también paralela y opuesta al movimiento.

Es menor que " F_e " por cuanto, una vez iniciado el movimiento relativo, las irregularidades de ambas superficies tienen peor encastre.

A la relación entre la fuerza de rozamiento dinámico y el peso [o la fuerza normal a la superficie de contacto] se la denomina **coeficiente de rozamiento dinámico o de fricción " μ "**.

El hecho de que el coeficiente de rozamiento estático sea mayor que el friccional explica en parte por qué la eficacia del



frenado disminuye cuando se bloquean los neumáticos durante el mismo.

Es así que, mientras un automóvil frena su desplazamiento sin llegar a bloquear sus neumáticos [se denomina bloqueo de neumáticos cuando se impide el giro de los mismos], éstos ruedan sin resbalar, es decir que en cada instante, la zona que está en contacto con el piso carece de movimiento relativo con respecto a éste, por lo que su rozamiento es de tipo estático.

Cuando se bloquean los neumáticos, aparece movimiento relativo entre el piso y la zona de aquéllos que está en contacto con él, por lo que el rozamiento entre estas dos superficies es de tipo dinámico.

A esto hay que agregar que, mientras los neumáticos están rodando, también actúa la resistencia a la rodadura (que veremos más abajo), la que desaparece en cuanto comienza el bloqueo, con el consecuente deslizamiento.

Experimentalmente se ha demostrado que la máxima *eficacia de frenado* de un rodado ocurre cuando los frenos reducen la velocidad angular de las ruedas sólo en un 15% de la que tendría en ese instante sin frenar.

Leyes de la fricción

Cuando un sólido resbala sobre otro, la fuerza de fricción es:

- 1º] Proporcional a la fuerza normal.
- 2º] Independiente del área de la superficie de contacto.
- 3º] Independiente de la velocidad de resbalamiento.

Las dos primeras leyes, enunciadas por Leonardo, se consideran actualmente suficientemente correctas.

La tercera, enunciada por Coulomb, se sabe que no lo es, ya que el coeficiente friccional disminuye con el aumento de la velocidad, pero como tal disminución es pequeña, dentro de los entornos de velocidad habituales tiene suficiente exactitud. (Para acero sobre acero cuando la velocidad aumenta un millón de veces, " μ " disminuye a un tercio).

Por lo que, para el rango de velocidades con que nos encontramos en accidentología, es suficientemente exacto tomar los coeficientes de fricción como independientes de la velocidad, tomando valores medios.

Un ejemplo de esta variación lo da Soldi Sotelo:

Para carretera de concreto seca-neumáticos standard:

Velocidad [Km/h]	Coefficiente Friccional
64	0,8
96	0,7

Como se ve, la variación es mucho más acentuada para neumáticos sobre concreto que para acero sobre acero.

Esto se debe a que, con el incremento de la velocidad, al frenar, se incrementa la temperatura de los neumáticos, por lo que disminuye su resistencia mecánica desprendiéndose mucho más fácilmente partículas de caucho de la superficie de los neumáticos. De todos modos, se ve que la variación es suficientemente pequeña como para que sea válido utilizar un coeficiente medio.

Debe aclararse que, si bien el coeficiente de fricción varía con la velocidad, lo hace con la velocidad inicial, ya que, para cualquier velocidad, una vez bloqueadas las ruedas, el coeficiente de frenado permanece sensiblemente constante durante el mismo, siempre que no se modifique la superficie o la interfase.

Cuando es necesaria extrema precisión puede utilizarse la expresión de Limpert:

$$\mu = \mu_0 - v \cdot V$$

En la que " μ_0 " es el coeficiente de fricción a bajas velocidades, " V " es la velocidad de deslizamiento, y " v " un coeficiente de decrecimiento, que tiene las unidades de la velocidad a la inversa, de modo de dejar el miembro adimensional.

$\mu_0 = 0,85$ y $v = 0,0040$ para deslizamiento en pavimento seco.

$\mu_0 = 0,70$ y $v = 0,0080$ para deslizamiento en pavimento húmedo.

En las que " V " debe tomarse en Km/h y " v " en $[\text{Km/h}]^{-1}$.

Otros factores que inciden sobre el coeficiente de fricción

Se ha comprobado que el coeficiente de deslizamiento virtualmente no está influido por el desgaste de los neumáticos, ya que su diferencia en este caso, a la misma velocidad, es del orden del 5% a favor de los neumáticos nuevos.

Los coeficientes de fricción dependen de muchos factores, tales como naturaleza de los materiales, estado de las superficies, temperatura, grado de limpieza de las superficies, tipo de suciedad de las superficies, etcétera.

Así, mientras que el coeficiente medio para una carretera seca está entre 0,6 y 0,8, cae a 0,5 con la misma carretera mojada.

Si sobre la superficie hay arena seca " μ " varía entre 0,4 y 0,5.

La misma carretera, con nieve, puede tener un coeficiente del orden de 0,3. Si presenta hielo estará en 0,1.

Un incremento de la temperatura ambiente de 27° disminuye el coeficiente en 0,1, para carretera limpia y seca.

Los valores más bajos del coeficiente de fricción se encuentran para nieve compacta o hielo a temperatura del entorno de cero grado centígrado, pues en esas condiciones, punto de congelamiento o fusión coexisten dos estados del agua, líquida y sólida, y ante la presión ejercida por los neumáticos, se licua una capa superficial, al igual que con los patines para hielo, que lubrica el movimiento.

Valores del coeficiente de fricción medio [neumáticos-piso]

Piso	Seco	Húmedo
Asfalto nuevo	0,85	0,60
Asfalto viejo	0,70	0,55
Asfalto resbaladizo	0,55	0,35
Concreto nuevo	0,85	0,55
Concreto viejo	0,70	0,55
Empedrado limpio	0,60	0,40
Ripio	0,65	0,65

Piso	Seco	Húmedo
Tierra dura	0,65	0,70
Tierra suelta	0,50	0,55
Arena s/ pavimento	0,45	0,30
Barro s/ pavimento	0,45	0,30
Barro s/ empedrado	0,40	0,25
Nieve s/pavimento	0,30	0,20
Hielo cristal	0,15	0,07

Valores para camiones

Los valores de la tabla anterior son útiles para el frenado de automotores.

Los ensayos de Reed & Keskin [89036] han demostrado que, para camiones o vehículos pesados, los valores medidos son del orden del 70% de los que surgen de la tabla anterior, para la misma superficie [excepto para nieve o hielo, en los que se mantiene].

Esto es debido a que, en estos vehículos, usualmente hay neumáticos que no contribuyen totalmente al frenado por características de diseño [ejes libres, etc.], como el peso se distribuye en el total de los neumáticos en los que el vehículo se apoya, la fuerza de resistencia al movimiento (rozamiento) que cada rueda que sí frena puede ejercer es menor a la que ejercerían si sólo ellas soportasen el total del peso.

A efectos de explicarlo mejor aceptemos que el peso " P " se distribuye uniformemente en todas las ruedas.

Si el vehículo tiene seis ruedas, la parte del peso que cada una soporta será: $p = P/6$; entonces la fuerza de rozamiento que cada una podrá ejercer será:

$$r = \mu \cdot p = \mu \cdot \frac{P}{6}$$

• Si las seis ruedas son capaces de frenar, la fuerza de rozamiento total será:

$$R = 6 \cdot r = 6 \cdot \mu \cdot \frac{P}{6}, \text{ es decir: } R = \mu \cdot P.$$

Si sólo cuatro de las seis ruedas tienen capacidad de frenar la fuerza de rozamiento total será

$$R' = 4.r = 4.\mu.\frac{P}{6}$$

Es decir que en este caso $R' = 0,67 \mu.P$

Como podemos apreciar, cuando dos de las seis ruedas no frenan, la fuerza del frenado es el 67% (cercano al 70%) de la que se obtendría si todas las ruedas frenasen.

Por eso, para ser estrictos, al coeficiente correspondiente a automóviles en las condiciones dadas, debe multiplicárselo por relación entre el número de neumáticos frenantes al número de neumáticos de apoyo que posca el camión.

También se ha propuesto que la reducción del coeficiente friccional para el caso de grandes vehículos se debe a una mayor dureza en el compuesto con el que se fabrican sus neumáticos.

Averiguaciones realizadas por el autor ante fabricantes de neumáticos para estos vehículos han resultado en que, salvo en neumáticos diseñados para servicios especiales (*off road*), los compuestos y coeficientes friccionales correspondientes de neumáticos ("rúters") no difieren de los de automóviles convencionales, con lo cual los coeficientes friccionales han de ser análogos.

Factor de desaceleración o frenado —Drag factor—

En realidad los experimentos de frenado miden globalmente la desaceleración, que suelen denominar "*factor de desaceleración*" (a/g) mediante acelerómetros.

Se demuestra que el factor de desaceleración es igual al coeficiente de fricción " μ " multiplicado por la aceleración de la gravedad " g "; veamos:

Durante un frenado puro, desde una velocidad " V ", la energía cinética $E_c = 0,5.M.V^2$ se transforma en trabajo de frenado: $ET = F.D$.

Donde " F " es la fuerza que se opone al movimiento y " D " la distancia en la que actúa.

Ya hemos visto que cuando las ruedas están bloqueadas $F = \mu.P$.

Donde " P " es el peso y " μ " el coeficiente friccional, entonces: $ET = \mu.P.D$.

Además se puede escribir que $F = M.a$, por la 2ª ley de Newton.

Entonces: $ET = M.a.D$.

Donde " M " es la masa del cuerpo, " a " la aceleración negativa o desaceleración.

Como: $M = P/g$.

Donde " g " es la aceleración de la gravedad, tenemos: $P.a.D / g = \mu.P.D$.

En consecuencia: $a/g = \mu$.

Como vemos, si bien conceptualmente son distintos, cuando las ruedas se bloquean, los valores del coeficiente de fricción y del de frenado coinciden.

Es decir que, si se considera la desaceleración habida como fracción de la aceleración de la gravedad, puede reemplazar al coeficiente de fricción medio.

Esto es lo que utiliza habitualmente la bibliografía, llamándolo *drag factor*, o *coeficiente de frenado*, o *factor de desaceleración*.

A la inversa, a partir del Drag factor (desaceleración) se puede obtener el coeficiente friccional, " μ " dividiendo la desaceleración por la aceleración de la gravedad " g ".

Otros coeficientes de fricción usuales

Motos

El valor del coeficiente de frenado, para ser utilizado en cálculos de detención de motocicletas, es variable con el tamaño de la moto, así como si se frena sólo con la rueda trasera, o con ambas ruedas.

Según Fries - Smith & Conrath: Valores para asfalto seco:

<i>Peso</i>	<i>Coefficiente</i>	
[Kg]	<i>Rueda Trasera</i>	<i>Ambas Ruedas</i>
100	0,31 a 0,40	0,53 a 0,67
150	0,36 a 0,43	0,62 a 0,76
200	0,31 a 0,42	0,72 a 0,87
350	0,36 a 0,51	0,63 a 0,88

Moto deslizándose, caída de costado sobre asfalto seco:
 $0,35 \leq m \leq 0,50$

Moto deslizándose, caída de costado sobre asfalto húmedo
 $0,30 \leq m \leq 0,40$

Vuelco - Choque

Automóviles deslizándose sobre su techo o costado: [830612]

Sobre concreto: $\mu = 0,30$

Sobre asfalto: $\mu = 0,40$

Sobre grava o ripio: $0,5 \leq \mu \leq 0,7$

Sobre césped $\mu = 0,5$

Sobre polvo: $\mu = 0,2$

Pick Up deslizándose de costado sobre concreto: $0,3 \leq \mu \leq 0,4$.

Rozamiento de carrocería con carrocería: $\mu = 0,60$.

Derrape

Decimos que un automóvil "derrapa", cuando, estando sobre sus ruedas, se desplaza con un movimiento tal que tiene una componente horizontal transversal al eje longitudinal del rodado.

Los estudios de Reveley, Brown & Guenther [890635] encontraron que el coeficiente de fricción es en este caso mayor que el correspondiente a los mismos neumáticos en la misma superficie en movimiento longitudinal; así mientras determinaron un coeficiente $\mu = 0,7$ para asfalto seco, en frenada recta, determi-

naron que para un derrape en la misma superficie el coeficiente correspondiente era de $\mu_l = 0,80$ (superior en un 15% al que se mide en frenada recta).

Cuerpo Humano

Cuerpo humano deslizándose: $\mu = 1,10$

Cuerpo humano deslizándose y rebotando:

Sobre asfalto seco o húmedo: $\mu = 0,80$

Sobre pasto alto seco o húmedo: $\mu = 0,80$

Cuerpo humano contra carrocería: $\mu = 0,25$

Sensibilidad

Es importante destacar que un error de adopción de 10% (0,70 a 0,77) en el coeficiente, genera un error de sólo el 5% en el cálculo de velocidad a partir de las huellas de frenado.

Efecto de las pendientes

Las pendientes en el camino tienen, a los efectos del frenado, un efecto análogo al del coeficiente de rozamiento, aunque con la enorme diferencia de que dependiendo de su ángulo pueden generar no sólo fuerzas resistentes al movimiento, como el rozamiento, sino fuerzas motoras, es decir que favorecen el movimiento.

En efecto, si la pendiente es positiva respecto al plano horizontal (es decir si el camino se eleva), su efecto será resistir al movimiento, tender a frenarlo, como habrá comprobado el lector al subir una cuesta con su auto.

En estas circunstancias, si ha de calcularse la frenada de un rodado, deberá sumarse a su coeficiente friccional la tangente del ángulo que forma la pendiente con el plano horizontal.

Por el contrario, si se está en una cuesta descendente, la gravedad tiende a acelerar el movimiento (experiencia que también

habrá comprobado el lector), por lo que, a los efectos prácticos, se reduce el coeficiente de frenado, es decir que al coeficiente friccional debe restársele la tangente del ángulo que forma el camino con el plano horizontal.

Obviamente, si se obtiene el "coeficiente de frenado" mediante ensayos en la zona del hecho, el así obtenido es el efectivo, no requiriendo corrección por pendiente.

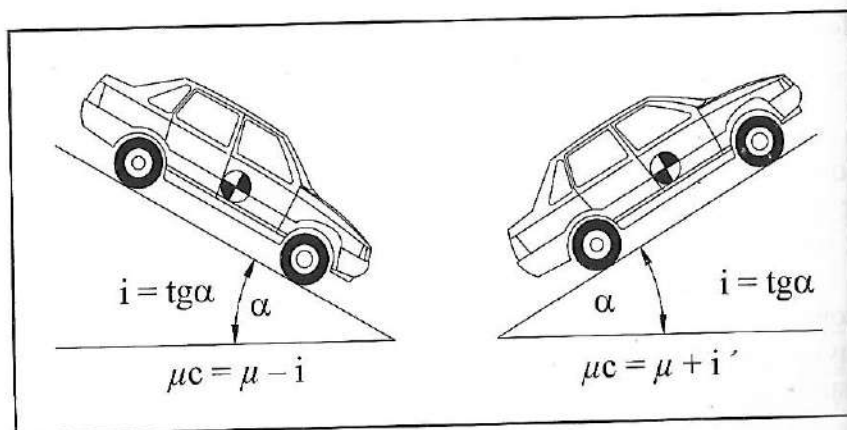
Es usual que, en accidentes ocurridos en zonas donde existe pendiente o inclinación del camino, para los cálculos se utilice un Coeficiente Friccional Corregido " μc " tal que:

$$\mu c = \mu \pm i, \text{ donde:}$$

" μ " es el coeficiente friccional neumáticos-piso correspondiente a su estado.

" i " es la pendiente (tangente del ángulo con la horizontal) de la trayectoria seguida por el móvil. Se sumará si el ángulo es "cuesta arriba" —se opone al movimiento— y se restará si es "cuesta abajo" —favorece el movimiento—.

Puede ocurrir que si la pendiente es descendente y muy pronunciada, el valor del coeficiente corregido sea negativo, lo que nos está diciendo que el móvil se acelerará en vez de frenar.



Capítulo 25

Frenado

Todos sabemos lo que significa "frenar", pero para la mejor comprensión de los informes técnicos, nos parece oportuno presentar algunas consideraciones que, esperamos, sirvan para aclarar algunos conceptos.

Así, técnicamente, frenar es sinónimo de desacelerar, o aplicar aceleración negativa. Esto es: "reducir la velocidad".

La **aceleración negativa** en un rodado puede ser consecuencia de la voluntad de su conductor (aplicar los frenos) o independiente de ésta (subir una cuesta - fallas en el rodado).

Cuando se aplican los frenos, el sistema transforma la energía cinética del vehículo (que depende de su masa y el cuadrado de su velocidad) en energía de rozamiento (trabajo de rozamiento).

En primera instancia este rozamiento se produce entre partes del sistema de frenos (zapatas y campanas o discos).

Descripción del proceso

Rápidamente descripto: al apretarse el pedal, un sistema de palancas (o hidráulico o eléctrico) presiona las zapatas —solidarias con la carrocería— contra la campana que gira solidaria con la rueda.

Esta presión hace que se toquen zapatas y campanas (o discos) entre sí y comiencen a rozarse. Ya hemos visto que el rozamiento genera una resistencia al movimiento relativo, y que ésta

es proporcional a la fuerza con que las superficies se aprietan una contra otra.

Entonces, cuanto mayor es la fuerza que se aplica al pedal, tanto mayor será la fuerza que comprime a los mecanismos de freno, y mayor será el rozamiento, con lo que la resistencia a que las ruedas giren será mayor.

Es decir que el sistema de frenos hace que las ruedas giren más lentamente, se reduce su velocidad de rotación (angular), provocando el **"resbalamiento"** "S":

$$S = \frac{\omega_r - \omega}{\omega_r}$$

Donde " ω_r " es la velocidad angular de la rueda correspondiente a la velocidad de avance del rodado, rodando sin resbalar, y " ω " es la velocidad angular instantánea de la rueda.

Vemos que si la velocidad de rotación instantánea es coincidente con la correspondiente a la velocidad de avance, el resbalamiento "S" es cero, la rueda rueda sin resbalar.

Por el contrario, es decir si no hay rotación, el resbalamiento "S" será uno ($1 = 100\%$), y el movimiento será de deslizamiento sin rodadura.

El **"resbalamiento"** indica cuánto más lentamente gira la rueda de lo que lo haría a esa velocidad del automóvil si no estuviese frenada.

Atención que este concepto de **"resbalamiento"** no es el mismo de uso cotidiano, en efecto se refiere a una relación entre la velocidad angular real de la rueda frenante con la velocidad angular que tendría la rueda si estuviese rodando sin resbalar a la correspondiente a velocidad de avance del rodado.

Así puede llegar un momento de la frenada en que el rozamiento entre las partes del freno es tal que impide que las ruedas giren. Resbalamiento "S" del 100%.

Estamos ante el **"bloqueo"** de las ruedas.

Ahora bien, que las ruedas no giren no significa que el rodado se haya detenido, puede muy bien seguir avanzando y los

neumáticos, que están quietos con respecto al mismo, estar patinando, o deslizándose sobre el camino.

Acá aparece la segunda instancia del rozamiento, el cual se produce ahora por el deslizamiento de los neumáticos bloqueados sobre la superficie del piso.

Es en esta fase del frenado cuando pueden quedar impresas en el piso las **"huellas de frenado"**.

En la fase en la que la desaceleración se provoca mediante el rozamiento entre partes internas del rodado, no se imprimen huellas de caucho en el camino, y como hemos visto, este rozamiento es muy variable.

Todos hemos experimentado que se puede detener un rodado desde la misma velocidad con distintos grados de frenado, claro, variando la distancia y el tiempo que insume la detención.

Esto hace que sea imposible, en ausencia de huellas, determinar el grado de frenado aplicado.

Por el contrario, cuando los neumáticos dejan marcas de frenado, no sólo se puede lograr una muy buena aproximación al valor real de desaceleración obtenido durante las mismas, sino que también puede estimarse qué proporción de la energía cinética total se insumió en la etapa de rozamiento interno.

Ensayos de frenado

A pesar de estar tabulados los coeficientes de fricción o rozamiento, para aumentar la precisión es recomendable, de ser posible, en cada caso, hacer ensayos de frenado, en el mismo sitio del accidente, bajo condiciones atmosféricas análogas, y con el mismo rodado, circulando a velocidades predeterminadas, para luego de medir la distancia de parada, calcular el coeficiente friccional " μ " del caso.

Cuanto más nos apartemos de las condiciones reales (distinto rodado y/o neumáticos y/o clima y/o escenario), menos seguros estaremos de haber obtenido datos certeros.

Deben realizarse varios ensayos y adoptarse el " μ " medio.

Conviene utilizar dispositivos que disparen pintura hacia abajo en el momento de tocarse el pedal de freno, de forma de marcar exactamente el inicio de la frenada, y tener calibrado el velocímetro del rodado, constatado a esa velocidad en distintas pasadas, cronometradas ante distancias conocidas.

En ningún caso medir solamente las huellas de frenado, ya que las mismas aparecen visibles muy poco antes del bloqueo, el que, en automóviles, acaece alrededor de 0,5 segundos luego del comienzo de aplicación de los frenos, lo que representa una disipación de energía de entre el 15 y el 30% de la inicial.

Otro modo, más sencillo, de obtener el valor del coeficiente es mediante el uso de acelerómetros, recordando lo explicado más arriba sobre su relación con el "**drag factor**", y que debe ubicárselo lo más cerca posible del centro de gravedad del vehículo (en coches de pasajeros, en el eje de simetría longitudinal y a la altura de la cadera del conductor es suficiente aproximación).

Hemos visto muy buenos resultados utilizando filmaciones de una frenada que incorporan un cronómetro digital para medir la desaceleración total media.

De todos modos, realizando los cálculos adecuados se puede verificar que al cometer un error en la adopción del coeficiente de rozamiento, se provoca un error en la determinación de la velocidad, cuyo valor es la mitad del error porcentual inicial. Es lo que se denomina *sensibilidad* del resultado a la variable.

Es decir que, si tomamos el " μ " con un error del 10% respecto del real, la velocidad que obtendremos será diferente de la real en sólo un 5% (si la velocidad real era de 60 km/h, el error generado por equivocarnos en un 10% del " μ " nos llevará a 57, o 63 km/h).

Frenado de pánico o *stop panic*

En informes sobre accidentes muchas veces se menciona la frenada de pánico sin explicarla, y mucho menos sus orígenes y consecuencias.

Hemos visto que, cuando las ruedas se "bloquean", es decir dejan de girar aunque el móvil sigue avanzando, se reduce la eficacia del frenado. (La eficacia máxima ocurre cuando la velocidad angular de las ruedas es del orden del 15% de la que tendrían sin frenar a esa velocidad).

Esto se debe a dos fenómenos que se agregan:

- 1) El coeficiente de rozamiento deja de ser el "estático" como lo es cuando la rueda está rodando, para pasar a ser "dinámico", que es menor.
- 2) Desaparece la resistencia por rodadura, que al oponerse al movimiento, contribuye al frenado.

En situaciones de peligro inminente muy difícilmente el conductor tenga la sangre lo suficientemente fría como para soltar y apretar el freno reiteradamente para mantener sus neumáticos rodando en vez de permitir que se deslicen.

Incluso cuando quiera hacerlo, como veremos más adelante, en el capítulo de tiempo de percepción y reacción, puede serle físicamente imposible.

Lo usual es que quien perciba un peligro inminente "clave" sus frenos, en lo que se llama *frenada de pánico o stop panic*, que bloquea el giro de sus neumáticos, provocando así dos efectos perjudiciales: por un lado **reduce la eficacia de su frenado**, y por otro se reducen las "fuerzas de guía laterales" (que actúan sobre los neumáticos, resistiendo al desvío en marcha recta, y permitiendo el accionar de la dirección cuando se quiere girar), por lo que **se reduce también la eficacia de la dirección**, llegando a virtualmente anular los efectos que produce el giro del volante, e invalidando la ejecución de una maniobra de esquivar (ver capítulo de fuerzas sobre los neumáticos).

Aunque es casi una reacción refleja, la frenada de pánico frecuentemente no es la mejor opción para evitar un peligro o minimizar las consecuencias de un accidente, como veremos en Análisis del Accidente.

Para contrarrestar los efectos perjudiciales de la frenada de pánico se ha creado el sistema **ABS (Anti Blocking Sistem)**.

Capítulo 26

Huellas de neumáticos

Los neumáticos dejan varios tipos de huellas, que muchas veces son confundidas, pero cuya distinción es trascendente, pues se originan en fenómenos distintos, y tiene consecuencias muy diferentes, tanto para la determinación de la mecánica del accidente, como para cuantificar las velocidades de los móviles. Son:

- Huellas de frenado.
- Huellas de derrape.
- Huellas de rodadura
- Huellas de aceleración.
- Otras.

Huellas de frenado

Se producen cuando, debido al bloqueo de las ruedas, los neumáticos presentan a la fricción con el piso permanentemente la misma zona de contacto, como describiéramos en el capítulo correspondiente.

Por lo anterior, parte de la energía cinética que, durante esta etapa del frenado, se transforma en trabajo, es transformada en calor en las zonas de contacto neumático-piso.

Este calor localizado provoca un incremento sensible de la temperatura en la zona.

Tal temperatura llega a ablandar al compuesto de caucho del neumático, de modo que, ante la abrasión a que está sometido, se desprenden partículas del mismo, depositándose sobre el pavimento.

Tal depósito continúa mientras la energía transferida sea suficiente para producir el fenómeno descrito, marcándose así las llamadas huellas de frenado.

En realidad el fenómeno se inicia antes de bloquearse las ruedas, cuando el retardo en la velocidad angular de las mismas provoca un "resbalamiento" "S" suficiente.

En la práctica, la huella de frenado se inicia muy poco antes del bloqueo total de las ruedas (menos de una décima de segundo), por lo que no se comete un error trascendente al considerar que ocurren simultáneamente.

Lo anterior encuentra justificativo en que las huellas de frenado comienzan gradualmente, siendo su inicio real de muy difícil, sino imposible determinación, de modo que antes de comenzar la huella nítida, siempre existe una *huella difusa* [shadow marks] cuyo inicio es incierto, que se va acentuando en nitidez hasta convertirse sin solución de continuidad en la huella claramente visible. La longitud de esta huella difusa depende de la potencia con que se hayan aplicado los frenos, y puede ser de longitud significativa.

Los estudios de Reed y Keskin han determinado que desde que se empieza a accionar el freno hasta que los neumáticos dejan huellas de frenado claramente visible se disipa entre el 15 y el 30 por ciento de la energía cinética inicial, teniendo en cuenta lo cual la indeterminación sobre el inicio real de la frenada queda salvada.

También, se ha determinado que desde que el conductor empieza a apretar el freno, hasta que esto comienza a producir efecto incipiente en la velocidad del rodado, transcurren unas dos décimas de segundo, y hasta el bloqueo de las ruedas unas cinco décimas de segundo.

Ya veremos como esto es útil para determinar el comienzo de la maniobra evasiva y en consecuencia el punto de percepción efectiva, a partir de las huellas de frenado.

Otra cuestión que suele provocar indeterminación es la longitud real de la huella de frenado visible, ya que suele ser muy difícil discriminar cuál huella corresponde sólo a neumáticos delanteros o cuál corresponde a la superposición de delanteros y traseros.

Esto ha sido salvado por los estudios de Brown y Guenther que demostraron que **no se incurre en error significativo si se considera la longitud total de la huella de frenado nítidamente visible**, es decir sin discriminar entre huellas simples o superpuestas, y se desprecian las huellas difusas.

Alguna antigua bibliografía sugería como norma tomar la cuarta parte de la sumatoria de las longitudes de las huellas de deslizamiento encontradas, teniendo en cuenta la superposición de las mismas, considerando que así se tomaba una longitud media. (Para vehículos de cuatro ruedas).

Parece correcto, pero continuaba sugiriendo aplicar el mismo procedimiento aunque se encontrasen menos de cuatro huellas de frenado, aduciendo que las ruedas que no dejan marca no contribuyen al frenado.

Como consecuencia de esto la velocidad obtenida cuando sólo se encuentra una huella de frenado es la mitad de la que se obtendría si la longitud de tal huella se considerase íntegra.

¿Es esto correcto?: ¡NO!

Como veremos, salvo que se verifique defecto en el sistema de frenos, lo razonable es tomar la longitud máxima de las huellas.

Lo anterior obedece a que, como vimos, que una rueda no deje huellas no significa que no contribuya al frenado, sólo significa que no se bloqueó, y como en una frenada de máxima eficacia no se dejan huellas (las huellas obedecen al bloqueo de los neumáticos, lo que ocurre con un resbalamiento del 100%, mientras que la máxima eficacia del frenado ocurre con resbalamientos del orden del 15%), la rueda que no dejó huellas pudo estar frenando con eficacia máxima o, al menos, superior a la que sí dejó huellas.

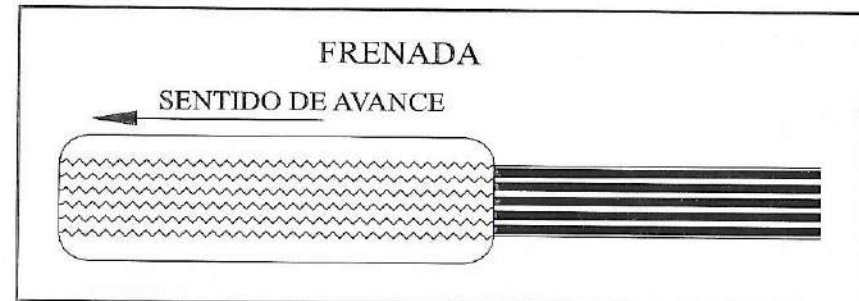
Por lo dicho, con un sistema de frenos operativo, las ruedas que no dejaron marcas, o las dejaron más cortas, muy probable-

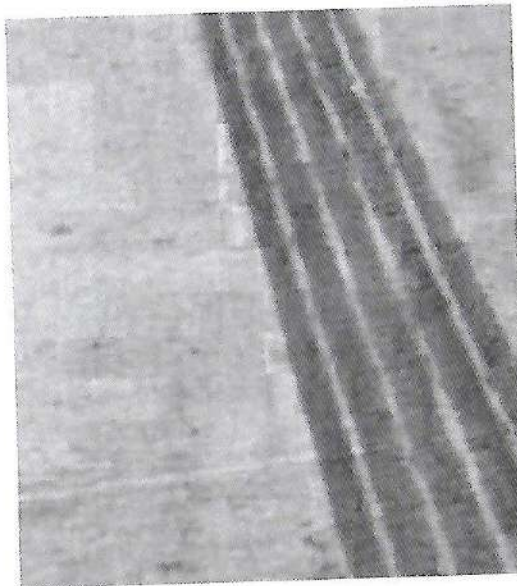
mente hayan contribuido al frenado más que las que se bloquearon y dejaron marcas, por lo menos es razonable aceptar que lo hicieron en la misma medida.

Reed y Keskin han demostrado que en el momento de máxima eficacia de frenado se produce una desaceleración que es 20 a 30% mayor que la que se produce a partir del bloqueo.

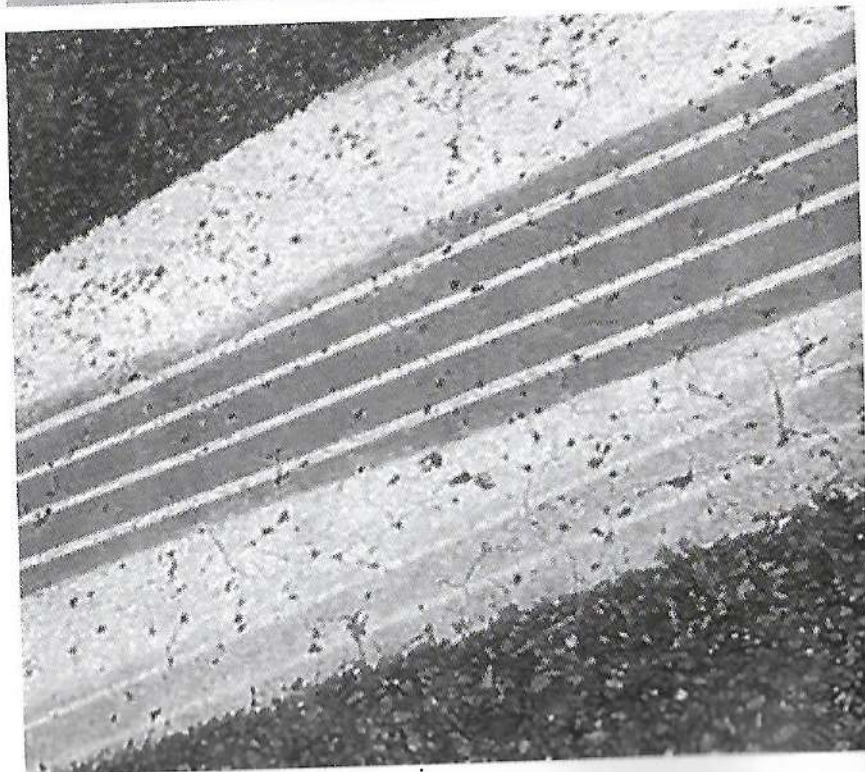
Por lo dicho (repito: salvo que se detecten serias deficiencias en el sistema de frenos), considerar la longitud de la más larga huella como distancia de frenado tiende a proporcionar valores de velocidad inicial que, aunque menores a los reales, obtiene resultados más cercanos a éstos que los obtenidos según recomendaba la antigua bibliografía mencionada, que da resultados menores aún.

A las huellas de frenado o deslizamiento se las distingue por presentar alternadamente marcas longitudinales claras y oscuras, paralelas entre sí y a la dirección general de la huella.



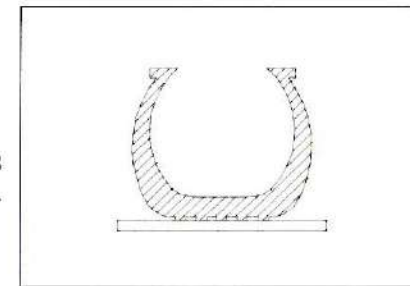


A veces las huellas de neumáticos frenando nos brindan información adicional sobre el estado de los mismos, así si un neumático está poco inflado imprime huellas cuya zona central aparece "vacía" de impresión. Sólo los bordes exteriores dejan huella. Si el neumático está totalmente desinflado, los bordes exteriores de la huella aparecen ondulados.



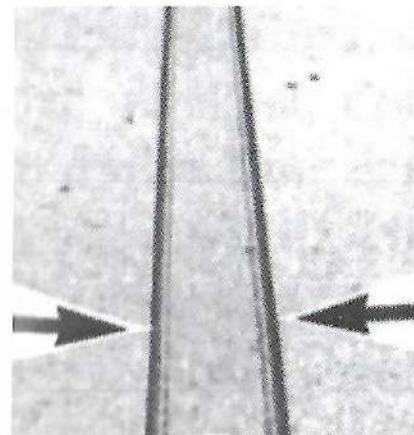
Corte de neumático con presión correcta

Con la presión correcta las huellas impresas aparecen "llenas".



Corte de neumático con presión insuficiente

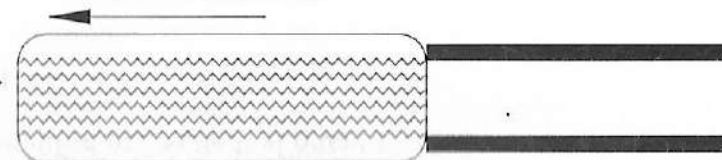
Por el contrario, si el neumático está sobreinflado sólo



imprimirá huella su zona central, con lo cual aparecerá muy ennegrecida la zona central, de la huella, siendo ésta más angosta que el ancho del neumático.

FRENADO CON NEUMÁTICO DESINFLADO

SENTIDO DE AVANCE





Corte de neumático con sobrepresión



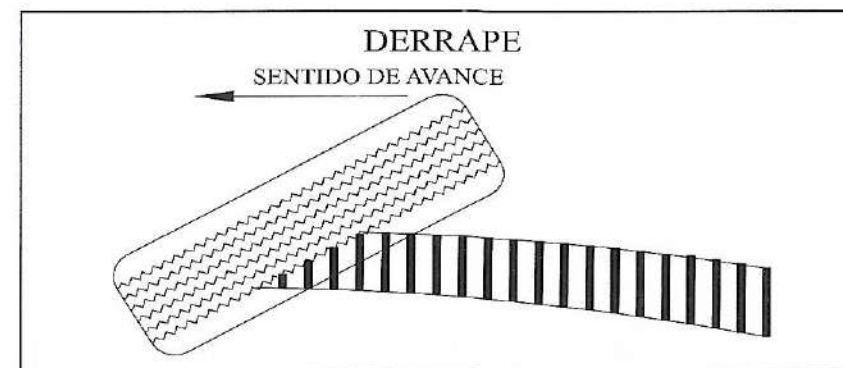
Huellas de derrape

Recordemos que “derrape” es un movimiento de un vehículo, que tiene una componente de dirección transversal al eje longitudinal del rodado, o perpendicular al plano de sus neumáticos. (Es equivalente a “irse de ronza” o “deriva” en los barcos).

Si bien son movimientos esencialmente distintos, el frenado y el derrape, la fricción en ambos casos puede provocar el depósito de partículas de caucho sobre el pavimento, que suelen ser confundidas.

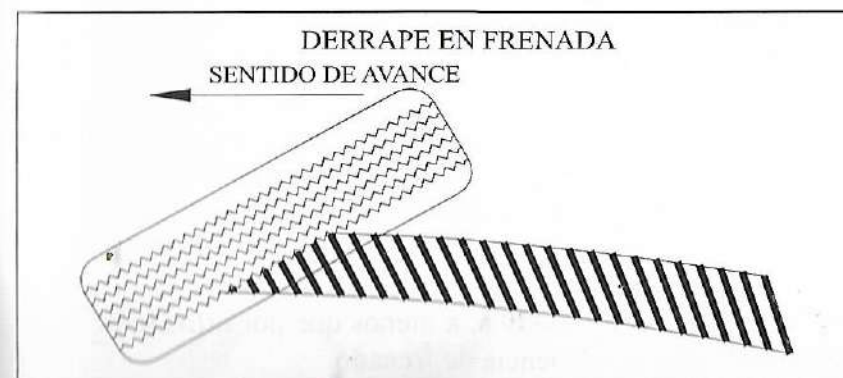
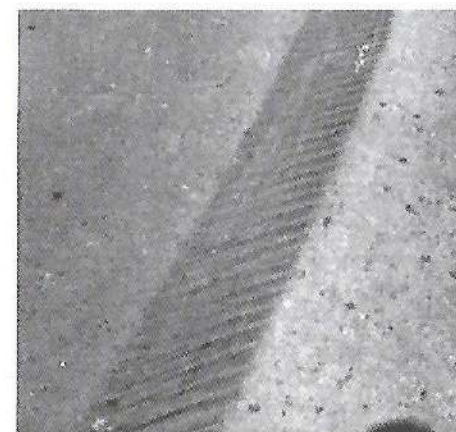
Lamentablemente es muy frecuente que personas legas en la cuestión, y en afán de utilizar lenguaje “culto” (confundiendo rebuscado por “culto”) se refieran a las huellas de neumáticos, como huellas de “derrape”, sin advertir que el “derrape” es un fenómeno físico especial (movimiento perpendicular al plano de rotación de las ruedas).

Así, como veremos, confundir huellas de derrape con huellas de frenado y/o de rodadura implica asignar comportamientos del móvil esencialmente distintos.

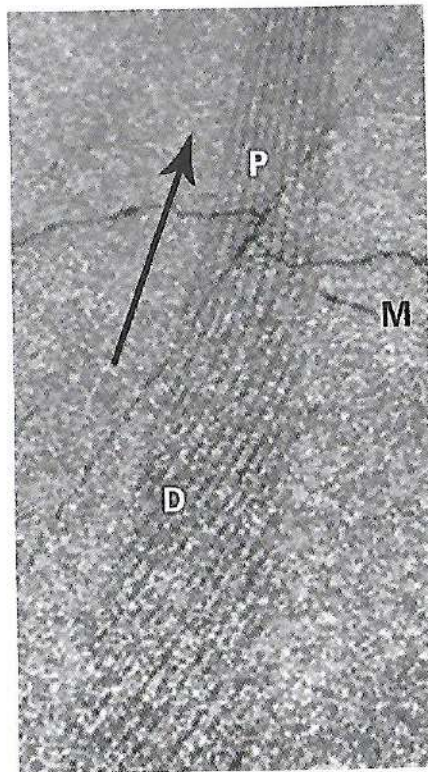


Se pueden distinguir con facilidad ambos tipos de huella mediante la observación directa, y, a veces, mediante fotografías ya que, mientras la huella de frenado muestra estrías longitudinales, **en las de derrape estas estrías son transversales a la huella.**

En los casos de derrape durante un frenado las es-



trías son oblicuas, y cuando un frenado se transforma en derrape o viceversa se puede determinar la zona de ocurrencia por la modificación de las estrías de un tipo a otro.



Transición de derrape a frenado

Hay otro caso en que se presenta oblicuidad de las estrías, esto es cuando ocurre el derrape estando las ruedas no bloqueadas, es decir rodando.

A veces es muy difícil diferenciar cuál de los fenómenos origina este tipo de huellas.

Si se tiene la oportunidad de analizar detenidamente las huellas puede observarse que, para un dibujo de neumático dado, con huella plena, las estrías del derrape con rodadura son más cortas que las estrías de huellas de derrape con bloqueo.

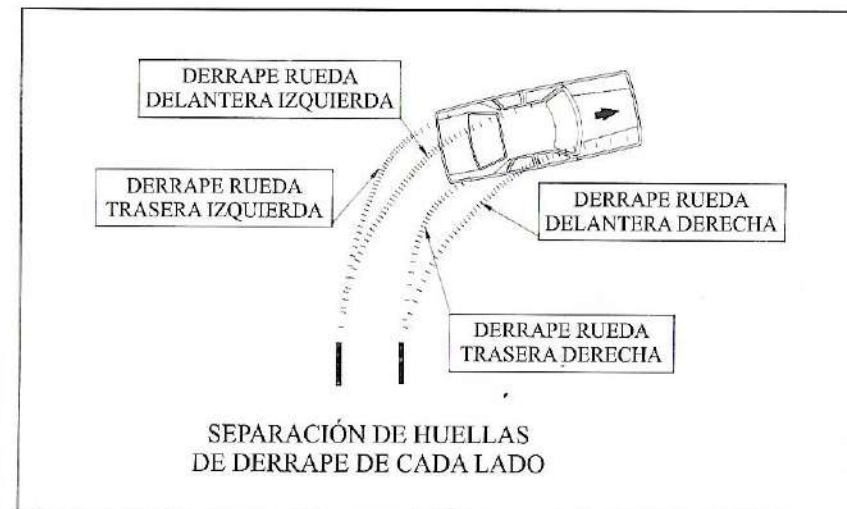
Además, en el primer caso cada estría empieza y termina difusamente, mientras que en derrape con bloqueo, sobre todo el extremo externo de cada estría presenta una finalización nítida.

Usualmente esta discriminación se realiza mediante la relación entre la oblicuidad y la curvatura de las huellas y/o por el contexto general de la ubicación del accidente.

Así, para una determinada curvatura de huella, las estrías del derrape en rodadura tienden a estar más alineadas con la huella, es decir son menos oblicuas que en derrape con bloqueo.

También, encontrar huellas de neumáticos, con estrías oblicuas, en medio o a la salida de una curva cerrada del camino, implica derrape con rodadura, a menos que por otros indicios se pueda confirmar la existencia de frenado.

También indica la existencia de derrape el hecho de que las huellas de las ruedas traseras se separen mucho de las huellas de las delanteras.



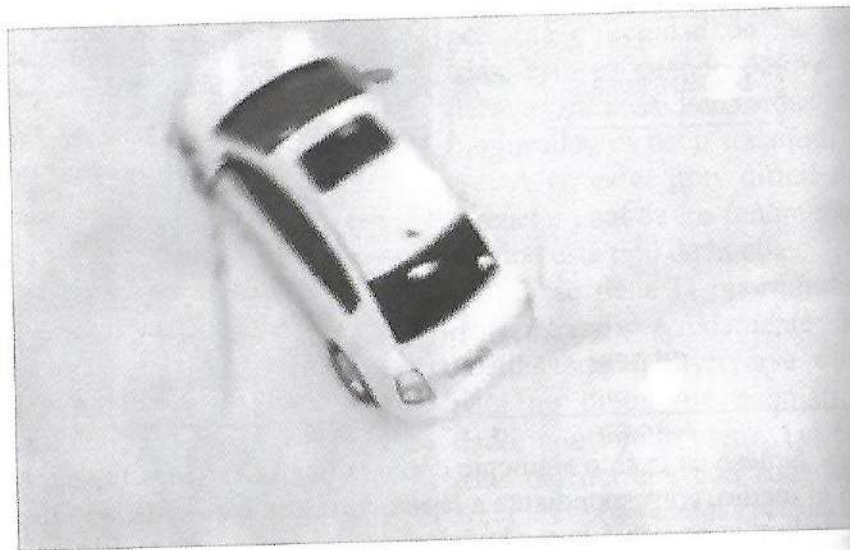
Nótese en la foto siguiente cómo la huella corta que aparece en el medio, correspondiente a la rueda trasera izquierda, se aleja de la huella que dejó la rueda delantera del mismo lado.

La foto ha sido burdamente retocada para darle mayor nitidez, pero el concepto es válido.



A continuación vemos una secuencia de derrape (obtenida de una publicidad de Nissan), en la cual se aprecia claramente el proceso de separación de las huellas de los neumáticos delanteros de las de los traseros del mismo lado.

También es apreciable que las huellas de los neumáticos derechos son más nítidas y anchas que las de los neumáticos



zquierdos, lógica consecuencia de la transferencia de pesos hacia a derecha dado el sentido de giro (antihorario).

Es muy importante tener en cuenta que en caso de derrape la energía cinética se insume en sentido transversal a la huella (en sentido de las estrías), lo que, como veremos más adelante, es trascendente a la hora de determinar la velocidad del móvil que derrapó.

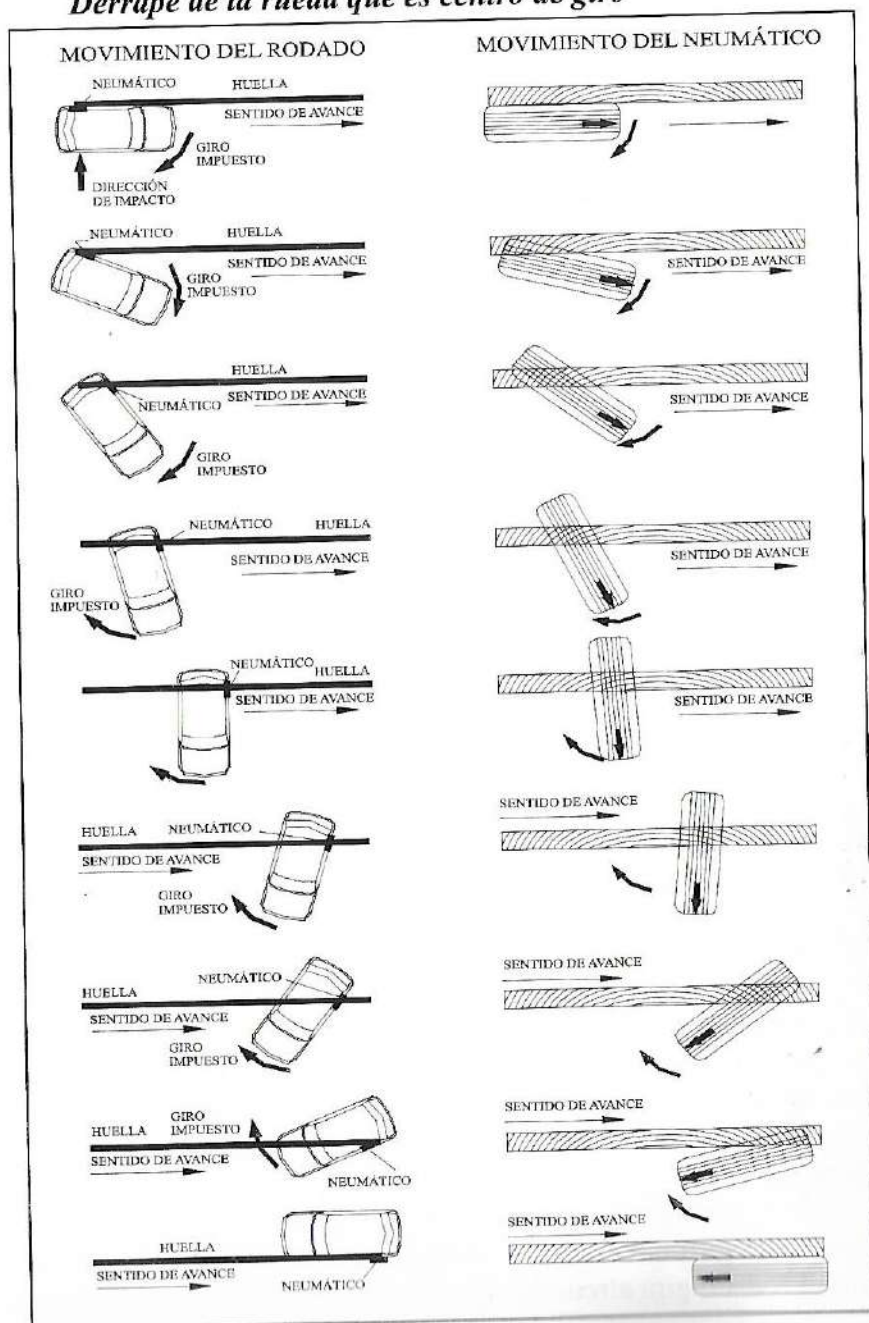
Este tipo de huella es fácilmente confundida con otros tipos porque presenta características variadas, estrías curvas que, de ser transversales inicialmente, se alinean con la dirección de la traza y luego pueden volver a curvarse, hasta volverse transversales nuevamente.

Puede ocurrir que mientras está avanzando, un rodado sea embestido excéntricamente.

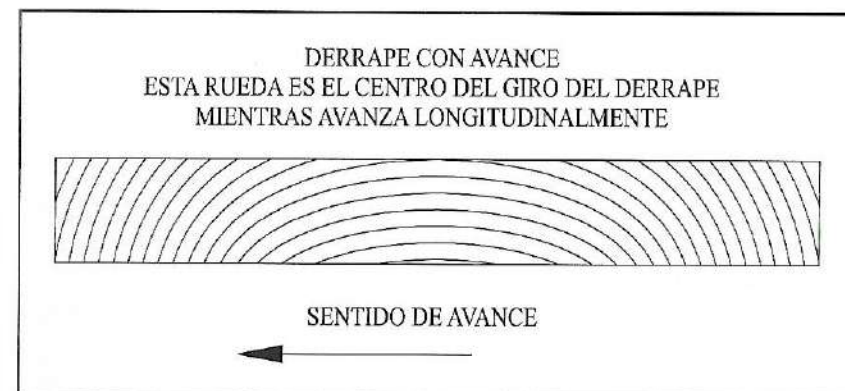
Esto provocará que el móvil entre en movimiento rototraslatorio, como ya hemos visto, combinación de movimiento lineal y rotación. Es decir, la suma de un movimiento recto y uno circular.

Si en estas condiciones uno de los neumáticos toma el rol de centro del giro circular, su movimiento será longitudinal, mientras el rodado gira alrededor del mismo.

Derrape de la rueda que es centro de giro



Así sus estrías describirán una curva (elipse en principio) pudiendo imprimir una huella como la que se grafica a continuación (recordar que la rueda sigue rodando).



Huellas de rodadura

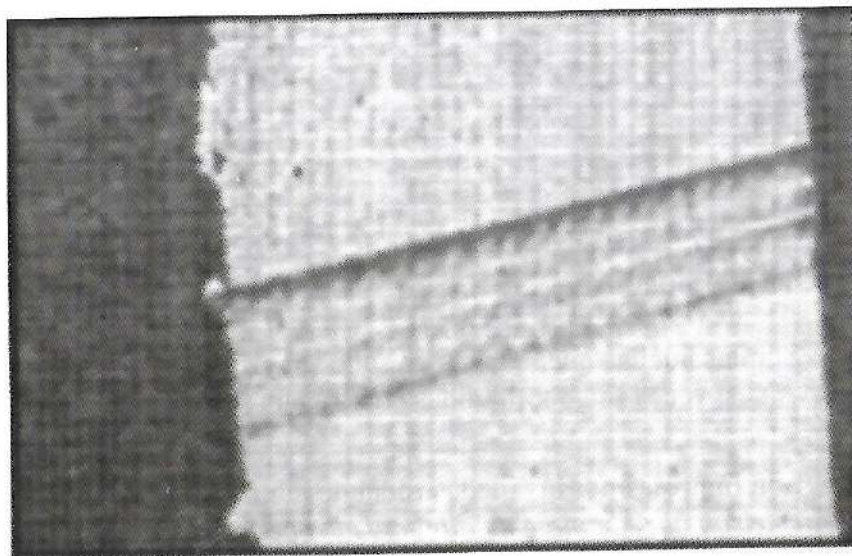
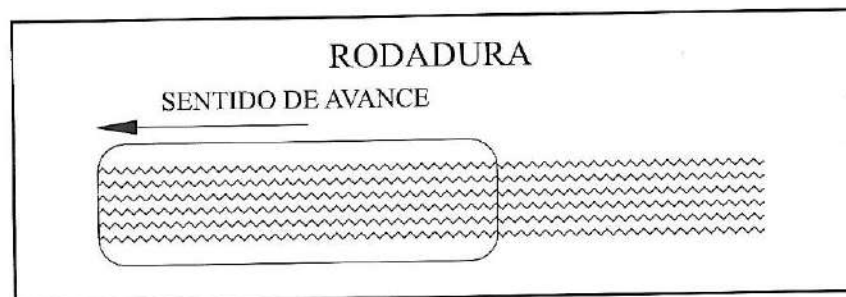
Son las huellas que, a guisa de sello, imprimen los neumáticos y que a veces son confundidas con frenado o derrape.

Son impresas por las ruedas rodando sin resbalar y se caracterizan por "copiar" el dibujo de los neumáticos.

Es frecuente que sean dejadas por un rodado que transitó una zona húmeda, un charco, o un parche de brea semisólida, o cualquier cosa que pueda impregnar los neumáticos y luego, a medida que el rodado se desplaza, éstos van imprimiendo sus dibujos como lo haría una rotativa.

Si bien personalmente o en acercamientos es muy fácil distinguirlas y clasificarlas adecuadamente, en fotografías panorámicas presentan el mismo aspecto que huellas de deslizamiento.

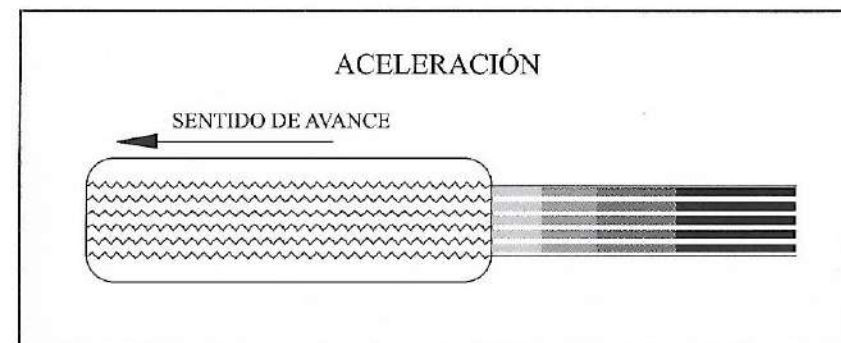
Durante su impresión es escasísima la energía disipada.



Huellas de aceleración

Cuando un vehículo potente acelera bruscamente ("pica"), puede, sobre todo si sus neumáticos "patinan" inicialmente, dejar huellas muy similares a las que dejaría una frenada, y eventualmente pueden ser confundidas.

La forma más sencilla de reconocer este tipo de huella es analizar el **comienzo de la misma, donde suele existir un nítido ennegrecimiento que gradualmente va "diluyéndose" en sentido de avance**, y esta "dilución" es sensiblemente más larga que la que se aprecia al inicio o el fin de una frenada, porque todo el neumático está sobrecalentado en el patinamiento de la aceleración.



Huellas sobre pisos "blandos"

Por otro lado aparecen las huellas dejadas sobre pisos "blandos" (tierra, césped, barro, arena, etc.) que deben analizarse individualmente, en función de las pautas explicadas para cada tipo de los anteriores, atendiendo a las particularidades del terreno, así, un frenado sobre césped tenderá a alinear y arrancar las hierbas en el sentido de avance, mientras que la rodadura solamente las aplastará, y el derrape acumulará residuos en el lado externo de la huella, frecuentemente se introduce tierra o pasto entre la



llanta y la cubierta en la cara de la rueda que se presenta como frente de avance.

Rodadura de tractor sobre piso blando



Otros tipos de huellas

A las ya mencionadas, deben agregárseles otros tipos de huellas, como ser la combinación de algunas de ellas, y/o configuraciones o condiciones especiales.

Falsas huellas

Con cierta frecuencia aparecen en las fotografías y/o filmaciones unas marcas que suelen tomarse como huellas de neumáticos, usualmente de frenada, cuando en realidad no son otra cosa que sombras, por ejemplo de cables.

Esto es nítido en la fotografía siguiente, nótese el tendido de cables a la derecha, que fue obtenida a propósito de ejemplificar la cuestión, en una ruta de Argentina, orientada de Este a Oeste, al atardecer.



Nótese cómo la “huella” parece haber sido dejada por el camión que se ve a lo lejos en el préstamo izquierdo.

Este fenómeno y otros similares justifican la necesidad de la inspección del sitio por parte del reconstructor, y la importancia de las tomas fotográficas panorámicas, además de las de detalle.

En la foto siguiente (tomada en dirección contraria) se aprecia que la “huella” parece indicar que el automóvil blanco retomó su mano después de irse a la banquina de su contramano.



Ya lo hemos dicho: no todas las frenadas dejan huellas de frenado, es más, cotidianamente comprobamos que la inmensa mayoría de las veces que un rodado frena lo hace reduciendo su velocidad sin deslizarse, y sin dejar las huellas de frenado consiguientes.

También hemos mencionado que la máxima eficacia del frenado, esto es, la más corta distancia de detención, se logra cuando el resbalamiento "S" (relación entre la velocidad angular de la rueda y la velocidad angular que tendría en ese instante si rodase sin resbalar, es decir la correspondiente a la velocidad del móvil) es del orden del 15% y que el bloqueo de las ruedas [$S = 100\%$] reduce tal eficacia.

Es por eso que, ante una frenada comprometida, se aconseja evitar el bloqueo mencionado mediante la "modulación" de la presión que se ejerce sobre el pedal de freno. Si en esta modulación no se llegan a bloquear las ruedas, no se dejan huellas apreciables de la frenada.

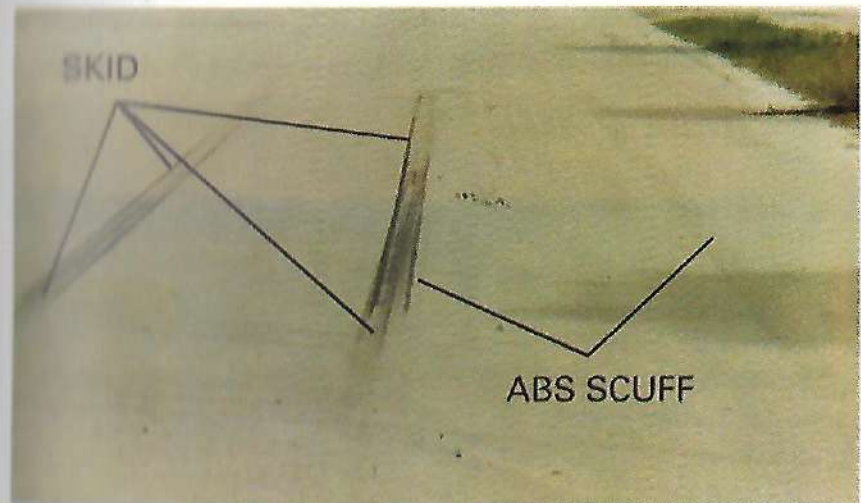
Para lograr esto actualmente existe un sistema llamado "ABS" [anti-blocking sistem], que automáticamente evita el nefasto bloqueo de las ruedas, aunque el conductor no cese de apretar el pedal del freno y lo haga "a fondo".

Lamentablemente todavía pocos modelos están provistos de este ingenio, que mejora sensiblemente las chances de evitar los accidentes o disminuir sus consecuencias.

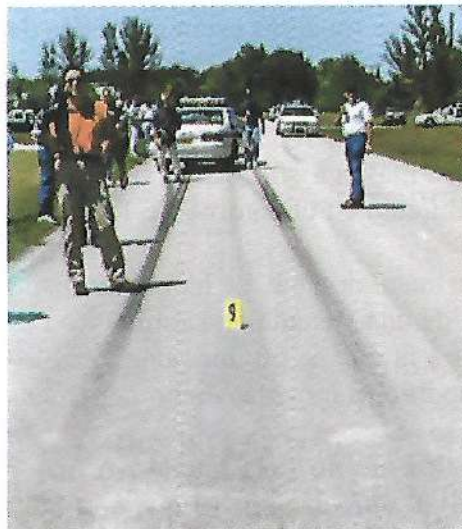
El ABS procura, y logra en gran medida, mantener durante toda la duración de la frenada su máxima eficacia, es decir mantener a la rueda con un resbalamiento en el entorno de 15%, evitando el bloqueo.

Ya hemos visto que, experimentalmente, se ha comprobado que la máxima desaceleración de una frenada en camino seco es entre un 20 y un 30% superior a la que se produce una vez bloqueados los neumáticos (en superficies mojadas dicho incremento llega al 50%).

El frenado con ABS usualmente no deja huellas, o mejor dicho, deja huellas de muy difícil apreciación, ya que son muy tenues.



Estas huellas suelen mostrarse como una suerte de "barrido" en la zona de contacto del neumático con el piso, a veces entrecortado, que es apreciable desde un ángulo muy cerrado y con cierta incidencia de la luz. Raramente son visibles en las fotografías normales, aunque en las tomadas a ras del piso a veces pueden apreciarse, sobre todo en pavimentos claros.



***Huellas de frenado
sin ABS
sobre pavimento seco***

Son muy efímeras, su duración difícilmente llegue a las 24 horas.

Nótese que el pavimento de estas fotos es muy claro, si fuera más oscuro las huellas del ABS no serían visibles a simple vista.

No debe perderse de vista que, en algunas condiciones de superficies mo-

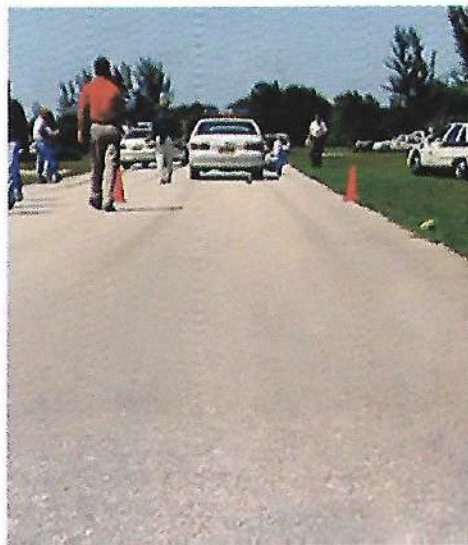
jadas, suelen no quedar huellas nítidas a pesar de bloquearse los neumáticos en la frenada, usualmente esta ausencia es debida a hidroplaneo parcial o incipiente.

***Huellas de frenada
con ABS
sobre pavimento seco***

En resumen, la ausencia de huellas puede deberse a que:

- El conductor no accionó los frenos, o éstos no funcionaron.
- El conductor moduló su frenada sin bloquear sus ruedas.
- El rodado estaba equipado con ABS.

• El conductor clavó sus frenos hasta bloquear, pero las condiciones del piso, humedad, aceite, hielo, impidieron la impresión de las huellas y/o su apreciación y/o su preservación.



Capítulo 28

Hidroplaneo

Definición

El hidroplaneo (**acquaplaning o hydroplaning**) es la súbita pérdida de adherencia de los neumáticos o de alguno de ellos, lo que puede provocar la pérdida de control por parte del conductor del rodado.

Este fenómeno se presenta cuando existen unos pocos milímetros de agua sobre la superficie del camino, y se transita a relativamente alta velocidad.

Causas

Es debido a que se pierde totalmente el contacto entre el caucho de los neumáticos y la superficie del camino, ya que debido a la velocidad, el agua no llega a ser desalojada de la interfase, y se mantiene a alta presión específica, por lo que los neumáticos literalmente se apoyan sobre ella.

Por ejemplo, cuando normalmente el coeficiente de fricción " μ " es del orden de 0,50, cae bruscamente a 0,08 cuando se presenta hidroplaneo (coeficiente similar al del hielo húmedo).

En condiciones normales de circulación sobre piso mojado el neumático desaloja el líquido de la interfase líquida (usualmente agua) por la presión que hace sobre la misma, ayudado para esto

por los surcos y estrías habidos en su superficie ("dibujo"), diseñados con tal fin.

Así, permanentemente hay zonas del neumático que están en contacto directo con el piso, permitiendo la interacción de objetos sólidos.

Cuando, por razones complejas, entre las que la velocidad no es la menos importante, el líquido no es desalojado en toda el área de contacto del neumático o "pisada", se produce el hidroplaneo.

Al presentarse este fenómeno, ningún punto del neumático tiene contacto con el piso, toda el área de pisada está solamente en contacto con el líquido.

Consecuencias

Conocida la escasísima resistencia a las cargas de corte —tensiones tangenciales— de los fluidos, se entiende que la capa acuosa no pueda resistir las cargas tangenciales que transmite el neumático hacia el piso (tracción —frenado— guía).

Operativamente esto hace que desaparezca la capacidad de ejercer reacción a las cargas tangenciales, y recordemos que son estas reacciones las que generan efectos en el movimiento del rodado.

El hidroplaneo se presenta bruscamente, provocando la súbita pérdida de adherencia de los neumáticos o de alguno de ellos, lo que puede provocar la pérdida de control por parte del conductor del rodado.

Cuando decimos "pérdida de adherencia" nos referimos tanto a la reducción del coeficiente de fricción durante una frenada, como a la capacidad de tracción de las ruedas motrices y a funcionalidad de las ruedas directrices como sistema de guía.

Descripción

Cuando se presenta hidroplaneo, los neumáticos pierden contacto con el piso por la formación, en la parte frontal de su zona de contacto con el mismo, en la interfase fluida, de lo que

se denomina "cuña hidrodinámica", que es capaz de sustentar la carga radial del neumático.

Así, las ruedas quedan en contacto únicamente con el líquido.

Para algunos el neumático "flota" en la interfase, lo cual no es cierto, pues para que algo flote debe existir sustentación estática, es decir cumplir el principio de Arquímedes según el cual el peso es igual al empuje hidrostático. (El peso del objeto flotante debe ser igual al peso del volumen de líquido desalojado). Obviamente no es el caso.

La sustentación hidrodinámica es lo que permite alcanzar altas velocidades a algunos tipos de embarcaciones, como los alíscafos (que presentan apéndices de sustentación con perfil alar) y algunas lanchas veloces (su casco plano les permite "planear" en el agua).

Físicamente, el hidroplaneo es una adecuada lubricación.

En efecto, cuando, para reducir el desgaste de piezas que están en contacto con movimiento relativo, por ejemplo un eje y su bancada, se diseña el mecanismo de tal modo que se produzca la cuña hidrodinámica en un fluido colocado a tal efecto.

El fluido lubricante, al formarse la cuña, separa las piezas del mecanismo lo suficiente para evitar la fricción entre sólidos.

El hablar de "sustentación hidrodinámica" ya nos orienta en que la clave del fenómeno, tanto de la lubricación como del hidroplaneo, es la velocidad relativa.

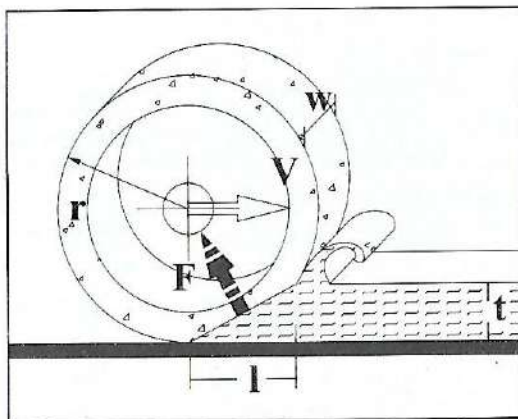
Sin embargo, el fenómeno es muy complejo y depende de muchas variables además de la velocidad, el peso, tipo y características de las superficies (rugosidad o grado de pulido), su forma y dimensiones, área de contacto, espesor de la interfase, características del fluido como densidad, untuosidad, viscosidad, dibujo del neumático, etcétera.

Velocidad mínima de hidroplaneo

En el exagerado esquema adjunto, pueden apreciarse los parámetros geométricos del hidroplaneo: Fuerza de sustentación "F" - velocidad de avance "V" - radio del neumático "r" - espesor de la

capa fluida "t" - longitud de la cuña "l" - "w" ancho del neumático.

Debe mencionarse aquí que, al ser deformables, todos los neumáticos presentan un aplastamiento en la zona de contacto con el piso. Tal cosa es el plano inclinado dibujado en la parte inferior de la rueda.



A partir de las ecuaciones que determinan la fuerza de sustentación "F" en función de la velocidad de avance "V", la densidad del fluido "γ", el espesor de la capa fluida "t", y el ángulo de inclinación "α", Horne desarrolló en 1968, utilizando el coeficiente de arrastre hidrodinámico y considerando que $p = F/(w.l)$, la siguiente ecuación para la velocidad mínima a la que puede producirse hidropneumático (corregida desde la teoría por resultados empíricos):

$$V_h = 6,35 p^{0,5} \quad \text{Para automóviles}$$

Más adelante (1984) propuso:

$$V_h = 5,55 [p/(w/l)]^{0,5} \quad \text{Para automóviles}$$

$$V_h = 29,4 p^{0,21} [1/(w/l)]^{0,5} \quad \text{Para camiones (perfeccionada por Ivey).}$$

Donde "Vh" surge en km/h, y "p" presión del neumático, está en kPa (kilopascal - 1 kPa = 1 N/m² = 0,145 lb/sq in), mientras que "w", ancho de la pisada y "l", longitud de la misma están expresadas en milímetros.

Atención que estas ecuaciones son aptas para superficies anegadas con $t > 20$ mm.

La relación w/l varía entre 0,75 y 1, siendo un valor medio 0,85.

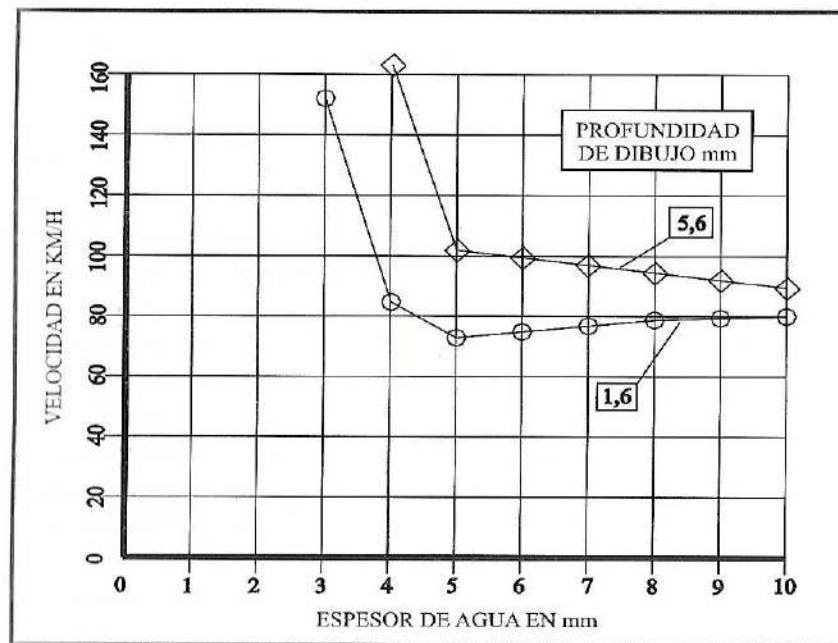
El TTI (Texas Transportation Institute) desarrolló fórmulas en las que la velocidad mínima para que se produzca hidropneumático es función del resbalamiento rotacional del neumático "S",

presión de los neumáticos "p", profundidad de los surcos de los neumáticos "TD", espesor de la capa de agua por encima de las rugosidades del piso "WD", y la textura del piso "TXD".

Tomando valores medios (TD = 5,56 mm, TXD = 0,96 mm, S = 10% y WD = 6,1 mm, la ecuación del TTI puede escribirse

$$V_h = 20,6 P^{0,3} \quad \text{Para automóviles}$$

Se han desarrollado también ecuaciones para determinar la velocidad mínima de hidropneumático con espesores de anegación inferiores a los 20 mm, que consideran las mismas variables que la ecuación anterior, y cuyos resultados se grafican a continuación para dos valores de profundidad de dibujo de neumático 5,6 mm (medio) y 1,6 mm (mínimo).



Estos estudios han permitido establecer algunas conclusiones:

- Espesores de la capa líquida menores a 3 mm parecen no permitir hidropneumático a velocidades razonables en autopistas

y presión normal de neumáticos. (para $t = 3$ mm V_h es 150 km/h con neumáticos casi lisos).

- Por encima de 20 mm para la capa de agua, la profundidad del dibujo de los neumáticos carece de incidencia.

- A mayor presión de inflado de los neumáticos, mayor será la velocidad requerida para que se pueda producir hidroplaneo.

- Neumáticos con insuficiente presión (70 kPa - 10 libras) fácilmente entran en hidroplaneo hasta con espesores de agua de 0,3 mm (aumenta mucho la superficie de pisada).

- Cuanto mayor es el espesor de la capa de agua, menor es la velocidad que se requiere para hidroplaneo.

- Para que se produzca hidroplaneo en todas las ruedas, la zona anegada debe tener una longitud 3 o 4 m superior a la longitud entre ejes.

- La aparición del fenómeno es realmente súbita pues ocurre en menos de medio segundo.

Debe alertarse que los resultados de las ecuaciones presentadas son sólo indicativos, como puede verificarse mediante la dispersión que los mismos muestran para una misma configuración.

Como ya se dijo, son muchos los factores que intervienen en la cuestión, cada uno de ellos con capacidad para modificar los resultados, por lo que ecuaciones basadas sólo en alguno de ellos necesariamente habrán de brindar resultados con cierta validez para el entorno en el cual se consideran constantes el resto de las variables.

No se agota el tema con las ecuaciones ni conceptos acá presentados, sólo es una aproximación al tema, ya que ni siquiera está agotada la investigación al respecto.

Capítulo 29

"Eficiencia" de frenado (discusión)

En alguna bibliografía, particularmente europea, y en algunos trabajos de reconstrucción de accidentes, hemos encontrado a las ecuaciones de cálculo de velocidad en función de las huellas de frenado, afectadas por un coeficiente que denominan "eficiencia del frenado".

Es decir, hemos visto aplicar esta ecuación:

$$V = (2 \times g \times \mu \times D \times E)^{0.5} \text{ Donde:}$$

"V" es la velocidad del móvil al inicio de la frenada.

"g" = $9,8 \text{ m/s}^2$ es la aceleración de la gravedad terrestre.

"μ" es el coeficiente de rozamiento neumáticos piso para las condiciones del caso.

"D" es la distancia recorrida durante el frenado.

"E" = *Coeficiente de eficiencia de frenado (menor que 1)*.

La aplicación de la "eficiencia" al ser menor que "1" reduce el valor de la velocidad obtenible por la ecuación energética anterior (deriva del Principio de Conservación de la Energía).

Conceptualmente tal entidad "eficiencia de frenado" nos resulta sumamente discutible, y totalmente inaplicable para estos casos, veamos:

Debemos partir de recordar las fases del proceso de frenado de un automóvil.

Todo frenado consiste en la transformación de la energía cinética del móvil en trabajo mecánico.

En un automóvil pueden ocurrir dos tipos de frenado:

1. Disipación de energía cinética fundamentalmente en el sistema de frenos (la más frecuente, no deja huellas).
2. Disipación de la energía cinética, una parte en sistema de frenos y otra por rozamiento entre los neumáticos y el piso (bloqueo de ruedas, ocurre en lo que se llama frenada de pánico, en condiciones adecuadas, esta última fracción de la energía disipada es la que imprime marcas en el piso).

Cuando toda la disipación de energía se realiza en el sistema de frenos (1) esa energía se transforma en trabajo mecánico (la mayor parte rozamiento interno en el sistema de frenos), y finalmente en calor que se disipa a la atmósfera.

Cuando, en frenada de pánico (2) se aprieta el pedal de frenos, inicialmente se disipa energía en el sistema de frenos, como en el caso anterior, incrementándose el resbalamiento, pero a partir de un momento el neumático se bloquea, con lo cual deja de girar (resbalamiento 100%).

A partir del bloqueo, toda la energía cinética remanente se disipa por el trabajo mecánico de rozamiento entre la superficie de los neumáticos y la del piso.

Este rozamiento genera calor que ablanda el caucho del neumático, a la sazón fijo, es decir que sólo una zona del mismo está rozando con el piso, por cuya abrasión se desprenden partículas del neumático, que se adhieren al piso originando las famosas "huellas de frenado", o de rozamiento, o de fricción, o de deslizamiento longitudinal, etcétera.

Distintos autores han determinado que cuando se dejan huellas de frenado nítidas hasta la detención, estas han disipado alrededor del 85% de la energía cinética inicial.

Éstas son las dos formas en que puede frenar un automóvil o camión tradicionales (en automóviles eléctricos o híbridos, durante el frenado se utiliza la energía cinética para recargar las baterías).

En este marco, ¿cuándo es razonable aplicar el concepto de eficiencia de frenado?

Por empezar, la denominación "eficiencia" es inapropiada, ya que la eficiencia de cualquier sistema se define por la relación entre lo que entra al mismo (*input*) y lo que sale como resultado (*output*), o entre insumos y productos.

En el caso de frenado no se nos ocurre qué elementos colocar en el cociente, tal vez podría utilizarse como divisor una desaceleración óptima o máxima obtenible en las condiciones dadas, y en el dividendo la desaceleración real de frenado.

Esto podría tener sentido en el caso de frenado sin bloqueo, ya que se trataría de la eficacia de la acción de frenado y del sistema de frenos frente a la mejor acción posible en esas condiciones.

Como la desaceleración real es función del resbalamiento, toma distintos valores entre cero y la desaceleración máxima, hasta que los neumáticos se bloquean.

Hay sistemas de medición mecánicos que permiten determinar una eficacia relativa del sistema de frenos, tal medición, lógicamente, está limitada por el bloqueo. Inclusive mediante un dinamómetro dispuesto en el pedal de freno, permiten evaluar la acción del conductor.

De hecho, los sistemas de Verificación Técnica Vehicular, Inspección Técnica Vehicular o el nombre que adopten en cada jurisdicción, determinan lo que llaman "eficiencia" del sistema de frenos, pero tal cosa lejos está de ser una eficiencia, pues lo que mide es la relación entre la fuerza de rozamiento y el peso del rodado, como no hay deslizamiento, no podemos decir siquiera que la medición brinde el coeficiente de rozamiento para esas condiciones, pese a adoptar la misma forma.

Sin dudas sí se trata de un coeficiente o factor de frenado, según la definición clásica:

$$\mu = Fr/P$$

Que, multiplicado por la aceleración de la gravedad, se convierte en el valor de la desaceleración obtenible en las condiciones de ensayo.

Es interesante en este punto recordar algunos de los parámetros del test del frenómetro.

Los rodillos del frenómetro tienen una superficie de contacto metálica con "dibujo" en altorrelieve para maximizar el agarre o "grip".

El aparato se desconecta, y gira libremente en cuanto aparece resbalamiento superior al 1%, para evitar la abrasión de los neumáticos. Esto implica que es ensayo de frenado sin deslizamiento.

La medición se realiza a velocidades de rotación de los neumáticos equivalente a 3 o 5 km/h según los modelos.

Por lo que vemos, esta medición de "eficiencia" es en realidad la medición de una variable inherente al sistema de ensayo, y sirve a guisa de parámetro de comparación interna.

Es decir, permite determinar cuánto mejor o peor frena un rodado ensayándolo antes y después de alguna modificación, pero de ninguna manera es extrapolable a otro sistema de medición.

Es una situación comparable a los sistemas de medición de durezas, recordemos que cada uno de ellos (Rockwell o Brinell) tienen coherencia interna, y los resultados de los ensayos son perfectamente comparables y tienen sentido si se realizan dentro de una misma norma, pero de ninguna manera pueden compararse durezas medidas con el método Rockwell con las medidas con el Brinell.

Así, aplicar cualquier "factor de eficacia" (término más feliz que "eficiencia") resulta una arbitrariedad, por eso, lo que metodológicamente corresponde es hacer dos cálculos, uno con eficacia cero (rodadura - sin actuación de frenos) y otro con eficacia absoluta (valor uno - máxima desaceleración posible teórica en esas condiciones) para obtener los valores de las velocidades mínimas y máximas posibles.

En realidad, lo razonable, cuando no hay huellas de deslizamiento, para obtener el máximo valor de velocidad posible asociado a la distancia de detención, es utilizar máximo *drag factor*, es decir la máxima desaceleración obtenible por el sistema de frenos.

Todos los estudios determinan que en piso seco el máximo *drag factor* es entre un 10 y un 15% superior al *drag factor* medible en el bloqueo en esas condiciones.

Para piso húmedo la diferencia respecto al piso seco es mucho mayor, siendo del orden del 30 - 40%.

En el caso de frenadas con ABS, los ensayos en piso seco determinan que la distancia de frenado para una velocidad dada es, con suerte, sólo 8% inferior a las realizadas con el mismo rodado en el mismo sitio.

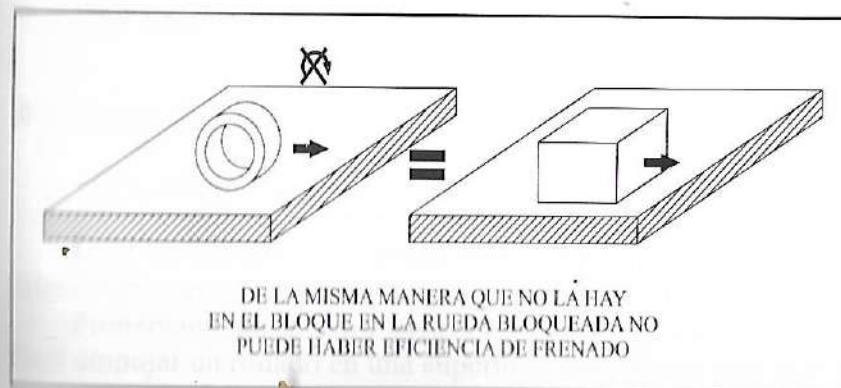
Esto es coherente con un incremento del coeficiente de frenado del 10 al 15%.

Con piso mojado la reducción en la distancia de detención es del orden del 20%.

Una vez bloqueadas las ruedas la posibilidad de variación inherente al sistema de frenos (capacidad de frenado) ya no existe, el sistema de frenos desaparece como modificador de factores y la acción del conductor está en un estadio determinado, por lo que hablar de eficiencia carece de sentido físico, siempre es 1, pues la desaceleración (*drag factor*) depende sólo del coeficiente de fricción, que es único en bloqueo, para cada conjunto de condiciones.

Es útil analizar esto desde el absurdo:

¿Cuál es la eficiencia que hemos de considerar cuando tenemos que determinar la velocidad inicial de un objeto que carece de frenos, como en los problemas de Física I de la Facultad, donde un bloque de madera, deslizándose sobre un piso pulido, con un coeficiente de rozamiento " μ " determinado, se detenía en "D" metros, o si un rodado volcado se desliza sobre su lateral una distancia de "L" metros?



A los efectos del fenómeno físico, un móvil que se desplaza con sus neumáticos bloqueados es igual a uno que tuviese tacos de goma en vez de ruedas como apoyo sobre el piso.

Resulta clarísimo entonces que, en los cálculos de velocidad que se basan en huellas de frenado con bloqueo, utilizar la "eficiencia de frenado" que brindan los frenómetros o cualquier otra es un absurdo.

Sin embargo hemos visto su utilización en estas condiciones, esperemos que esta discusión sirva para evitar la repetición de estos errores.

Capítulo 30

Otras resistencias

Resistencia al avance

Cuando no se está frenando, ni transmitiendo energía del motor a las ruedas, un rodado que circula a una velocidad "V" terminará deteniéndose en una distancia "D" debido a la "resistencia al avance".

Despreciando resistencias menores la resistencia al avance "R" está compuesta por:

$$R = R_r + R_a \pm R_i$$

"R_r" es la resistencia de rodadura:

"R_a" es la resistencia aerodinámica o del aire.

"R_i" es la resistencia que imponen las pendientes.

Resistencia de rodadura

"Rozamiento" de rodadura

Es la resistencia al movimiento de cuerpos que ruedan, como cuando se empuja un automóvil en una superficie horizontal.

Probablemente el lector haya comprobado que es mucho más fácil empujar un rodado en una superficie dura que en una blanda

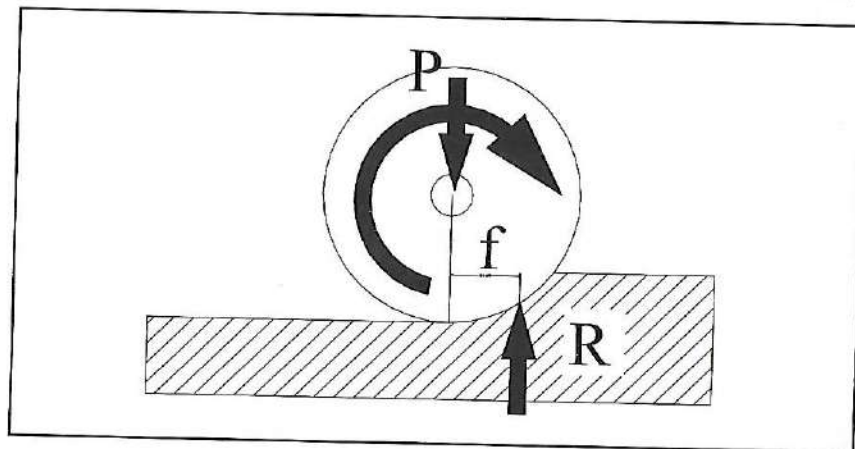
(arena suelta por ejemplo) o que, en una superficie dura, es más penoso montar una bicicleta con las ruedas desinfladas que cuando están bien infladas.

Estos ejemplos nos van arrimando a la esencia del fenómeno, esto es que depende de las características y deformaciones de las ruedas y las superficies sobre las que ruedan.

La resistencia por rodadura estrictamente no es un rozamiento, aunque asume, en principio, sus mismas formas y efectos.

Por esta razón en alguna bibliografía se adjunta a las anteriores resistencias al movimiento por rozamiento, la correspondiente a la rodadura, aunque éste fenómeno es esencialmente distinto ya que depende de la deformación y geometría de los cuerpos que ruedan y de la superficie sobre la que lo hacen.

La deformación de la superficie, debida al peso "P" del cuerpo implica la aparición en ella de una suerte de escalón o escollo,



que tiende a impedir el movimiento relativo, y por cuyo centro pasa la reacción al peso "N", con lo que ésta deja de pasar por el centro de gravedad del cuerpo [lo hace a una distancia de "G", que llamamos "f", es decir que aparece un "momento": $M = P \cdot f$].

El cual puede igualarse al que provoca la fuerza de resistencia por rozamiento estático "Fe", que, por estar aplicado a ras del piso, dista "R" del centro de gravedad "G" (este momento o par es el que permite el giro, si no lo hubiese, la rueda resbalaría sin rodar): $Fe \cdot R = P \cdot f$.

Para que exista rodadura deberá ser: $Fe \leq P \cdot \mu_e$

Como $Fe = P \cdot f / R$ debe ocurrir que

$$f / R \leq \mu_e$$

Los valores del "coeficiente de rodadura" " $\mu_r = f/R$ " se hallan tabulados para distintos materiales.

Para automóviles o camiones, con neumáticos inflados a la presión correcta, sobre asfalto es del orden de 0,015.

Cuanto más desinflados estén los neumáticos, mayor su deformación, y por ende mayor el coeficiente de rodadura, la resistencia al avance y el consumo energético.

Un caso notorio y útil para facilitar la comprensión de este tipo de resistencia al movimiento ocurre cuando se circula con un automóvil sobre un terreno blando (médano por ejemplo), en cuyo caso se nota que el movimiento es mucho más dificultoso que sobre una superficie dura, pudiendo resultar imposible si la profundidad de la huella es similar al radio de la rueda.

Análogamente a lo comentado para el coeficiente friccional, al usar el "coeficiente de rodadura" se deberá considerar la pendiente de la trayectoria, sumándole el valor de la tangente del ángulo con la horizontal si es cuesta arriba, y restándoselo si la misma es cuesta abajo, es decir tomado un coeficiente de rodadura corregido " μ_{rc} " haciendo: $\mu_{rc} = \mu_r \pm i$.

Puede ocurrir que si la pendiente es descendente y muy pronunciada el valor del coeficiente corregido sea negativo, lo que nos está diciendo que el móvil se acelerará en vez de frenar.

$$Rr = P \cdot \mu_{rc} = M \cdot g \cdot \mu_r$$

Donde "P" es el peso del vehículo; "M" es su masa; "g" la aceleración de la gravedad; y " μ_r " es el coeficiente de rodadura, cuyos valores son:

Neumáticos sobre hormigón	$\mu_r = 0,015$.
Neumáticos sobre adoquines	$\mu_r = 0,020$.
Neumáticos sobre asfalto	$\mu_r = 0,030$.
Neumáticos sobre tierra dura	$\mu_r = 0,050$.
Neumáticos sobre arena suelta	$\mu_r = 0,15$ o más.
Neumáticos sobre barro	$\mu_r = 0,15$ o más.

La energía disipada por la resistencia por rodadura será entonces: $Err = P \cdot \mu_r \cdot D$

Resistencia aerodinámica

Otra resistencia al movimiento es la *resistencia aerodinámica*, usualmente despreciada, porque a bajas velocidades es realmente insignificante, pero a altas velocidades puede ser muy significativa.

De hecho, cuando se circula horizontalmente a velocidad constante, casi toda la energía que entrega el motor se utiliza para vencer la resistencia del aire y la de rodadura.

Esta resistencia depende, groseramente explicado, del "Cx", coeficiente de penetración que relaciona el área frontal del rodado, el paralelogramo en el que está inscripto, las formas de la carrocería transversales y longitudinales y de la velocidad elevada al cuadrado.

Esto implica que cada vez que se duplica la velocidad, se cuadruplica la resistencia aerodinámica.

Esto muestra que a velocidades considerables pueden cometerse errores importantes si se desprecia la resistencia aerodinámica, provocando la subvaloración de la velocidad.

"Ra" es la resistencia del aire, o aerodinámica (por debajo de 70 km/h la resistencia aerodinámica es despreciable frente a las otras).

$Ra = 0,5 \cdot d \cdot Cx \cdot A \cdot V^2$ (kgr) (1) expresada en kilogramos

Donde "A" es el área frontal proyectada del vehículo en metros cuadrados (Aprox. $A = 0,8 \cdot \text{ancho} \cdot \text{alto}$). Ver tablas.

"Cx" es un coeficiente aerodinámico (de penetración) que vale alrededor de 0,7 para camiones; 0,5 para ómnibus; 0,4 para automóviles standard y 0,7 para motocicletas. Siendo del orden de 0,3 para automóviles deportivos. (Ver tablas específicas).

"V" es la velocidad en m/s.

"d" = 1,225 kg/m³ es la densidad del aire

Atención que esta resistencia es función de la velocidad instantánea, para determinar la energía total insumida por ella (EA) en un tramo con velocidad variable, debe integrarse esta ecuación a lo largo del tramo en cuestión:

$$EA = 0,5 \cdot cx \cdot d \cdot A \cdot \int_0^D V^2 \cdot dx \quad (2)$$

Para lo cual deberá ponerse la velocidad instantánea en función de la distancia recorrida, pero no conocemos la ley de variación, por lo que hemos de valernos de algunas otras consideraciones:

Así, la bibliografía es conteste en que por debajo de 70 km/h la resistencia aerodinámica es despreciable frente a la resistencia al avance por rodadura (sin frenar), por lo cual ante una frenada resulta ser muchísimo más despreciable.

Como en la práctica hemos de determinar las velocidades en una detención, sin error significativo podemos considerar entonces $Ra_{70} = 0$, siendo "Ra₇₀" la resistencia aerodinámica desde "Vi" hasta 70 km/h.

Acá haremos una simplificación que consiste en aceptar que la ley de variación de velocidad (debida a la resistencia al avance) con la distancia recorrida es lineal entre la velocidad inicial "Vi" y "V₇₀" = 70 km/h, lo cual nos brindará una buena aproximación.

Entonces, siendo "X" la distancia recorrida entre los 70 km/h ("X₇₀") y "D" (longitud total de la frenada) podemos poner:

$$V = X \cdot Vi / D$$

Porque en $X = D$; $V = Vi$, y en $X = 0$; $V = 0$ (consideramos el módulo porque estamos calculando la energía, que siempre es positiva).

Reemplazado "V" en la (1) obtenemos

$$Ra = 0,5 \cdot Cx \cdot A \cdot d \cdot Vi^2 \cdot X^2 / D^2$$

La cual ponemos en "x" para obtener la energía insumida por la resistencia aerodinámica en la frenada.

$$EA = \frac{0,5 \cdot Cx \cdot A \cdot d \cdot Vi^2}{D^2} \int_{D-X_{70}}^D x^2 \cdot dx$$

Realizando la integración:

$$EA = \frac{0,5 \cdot Cx \cdot A \cdot d \cdot Vi^2}{3 \cdot D^2} \cdot [D^3 - (D - X_{70})^3]$$

Si "x" está en metros, la ecuación anterior quedará expresada en kilogrametros.

Resta determinar el valor de X_{70} para lo cual nos valdremos del Principio de Conservación de la Energía en la detención en rodadura pura, pues por debajo de 70 km/h consideramos despreciable el efecto aerodinámico.

$$x = \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot \mu_r}$$

$$X_{70} = \frac{70^2}{9,8 \cdot \mu_r \cdot 2,3,6^2} = \frac{19,3}{\mu_r} (m)$$

Dando valor a " μ " (coeficiente de rozamiento) obtenemos el valor de X_{70} .

Resistencia debida a la pendiente "Ri"

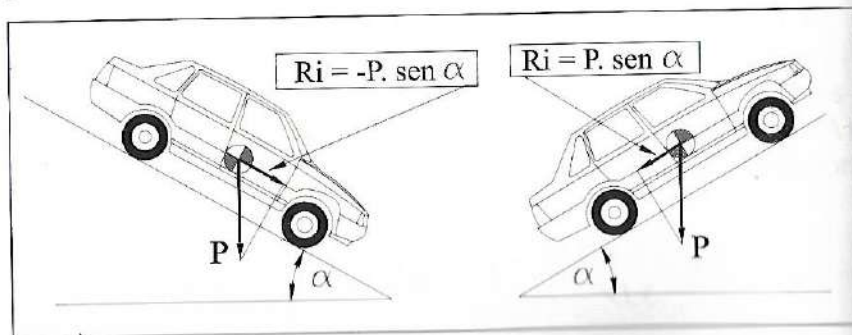
Considera el efecto del ángulo o inclinación en el sentido de avance

$$Ri = \pm P \cdot \text{sen} \alpha$$

Si el vehículo sube una cuesta, su signo será positivo, si descendiéndolo será negativo (ayuda, promueve el movimiento).

Obviamente, en un tramo horizontal, esta resistencia será nula.

" α " es el ángulo que forma la dirección de avance con el plano horizontal.



La energía insumida (o aportada) por la pendiente es, entonces, $Ei = \pm P \cdot \text{sen} \alpha \cdot D$

En realidad el efecto de las pendientes es considerar el incremento o disminución de la Energía Potencial Gravitatoria.

Recordar que $P = M \cdot g$,

Donde "P" es el peso del móvil, "M" su masa y "g" la aceleración de la gravedad.

Energía total insumida por la detención sin frenar

Recordando que la energía cinética se transforma en energía mecánica durante la detención, y que el trabajo realizado por las resistencias es en este caso: $TR = Err + Ea \pm Ei$, tendremos:

$$\Delta Ec = Err + Ea \pm Ei$$

$$\Delta Ec = \frac{1}{2} M \cdot (Vi^2 - Vf^2)$$

$$Err = P \cdot \mu_r \cdot D$$

$$Ei = \pm P \cdot \text{sen} \alpha \cdot D$$

$$Ea = \frac{0,5 \cdot Cx \cdot A \cdot d \cdot Vi^2}{3 \cdot D^2} [D^3 - (D - X_{70})^3]$$

$$\frac{1}{2} \cdot M \cdot (Vi^2 - Vf^2) = \{P \cdot \mu_r \cdot D + \frac{0,5 \cdot Cx \cdot A \cdot d \cdot Vi^2}{3 \cdot D^2} [D^3 - (D - X_{70})^3] \pm P \cdot \text{sen} \alpha \cdot D\}$$

Energía total para el caso de detención con frenado

"Efr" es la energía insumida por el rozamiento neumático-piso.

$$\Delta Ec = Efr + Ea \pm Ei$$

$$\Delta Ec = \frac{1}{2} M \cdot (Vi^2 - Vf^2)$$

$$Efr = P \cdot \mu_c \cdot D$$

(μ es el coeficiente friccional corregido por efecto de la pendiente, como ya hemos visto).

$$E_i = \pm P \cdot \text{sen} \alpha \cdot D$$

$$EA = \frac{0,5 \cdot Cx \cdot A \cdot d \cdot V_i^2}{3 \cdot D^2} (D - X_{70})^3$$

$$\text{En este caso } X_{70} = \frac{70^2}{9,8 \cdot \mu \cdot 2,3,6^2} = \frac{19,3}{\mu} (m)$$

Como $\frac{0,5 \cdot Cx \cdot d \cdot A}{3 \cdot D^2} [D^3 - (D - X_{70})^3]$ es constante, podemos llamarla "K".

Con lo que la ecuación general, que permitirá hallar la velocidad inicial, será: $M \cdot (V_i^2 - V_f^2) = [P \cdot \mu \cdot D + K \cdot V_i^2 \pm P \cdot \text{sen} \alpha \cdot D]$

Despejando " V_i ":

$$V_i = \sqrt{\frac{g \cdot \mu \cdot D + 0,5 V_f^2 \pm g \cdot \text{sen} \alpha \cdot D}{0,5 - \frac{K}{M}}}$$

Resolviendo la ecuación observamos que, al dar valores a "D", ante frenadas bruscas, la energía insumida por la resistencia al avance es absolutamente despreciable.

Capítulo 31

Velocidades. Su determinación energética. Por huellas

Generalmente la velocidad a la que circulaban los móviles es la cuestión más requerida a los investigadores de accidentes.

Los que transitamos un poco el camino de la investigación accidentológica sabemos que, aunque muy importante, la velocidad es sólo uno de los parámetros que definen la etiología del proceso que culmina en un accidente.

También sabemos que la posibilidad de determinación de este parámetro sólo es posible en contadas ocasiones, pese a la incredulidad al respecto de quienes encaran los fenómenos físicos desde fuera del método científico.

Las metodologías que se pueden utilizar son básicamente estudios energéticos, y a veces aplicaciones de la Teoría de Choques y Cantidad de Movimiento.

El Principio de Conservación de la energía dice que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma de un tipo a otro.

Esto implica que en un fenómeno dado, la energía permanece constante.

La energía presente antes de un accidente será igual a la energía habida luego del mismo.

Esta constancia nos permite saber que por ejemplo durante un frenado la energía cinética de un móvil (que depende de la velocidad) se va transformando por la fricción en trabajo.

Despreciando energías menores: $\Delta E_c = TR$.

Donde "Ec" es energía cinética y "TR" es el trabajo de rozamiento.

Es decir $0,5m.V_i^2 - 0,5m.V_f^2 = m.g.\mu.D_f$.

Esto nos permite hallar la variación de velocidad experimentada por un móvil durante un frenado mediante la conocida ecuación:

$$V_i^2 - V_f^2 = 2.g.\mu.D_f \quad (1)$$

Donde "Vf" es la velocidad final del móvil.

"Vi" es la velocidad al inicio de la frenada.

"g" es la aceleración de la gravedad.

"μ" es el coeficiente friccional neumáticos-piso para las condiciones del hecho.

"Df" es la longitud del frenado.

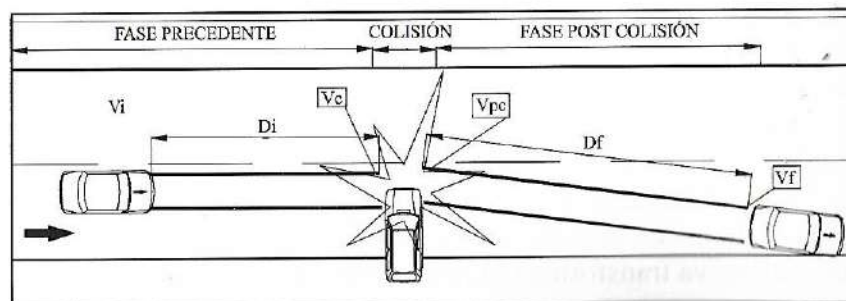
Usualmente "Df" se obtiene de las huellas dejadas por el rodado (como ya hemos visto en el capítulo correspondiente).

Cuando la longitud de frenado se obtiene considerando la longitud de las huellas de frenado, es necesario considerar la energía disipada por los frenos antes de bloquearse los neumáticos, para ello debe afectarse a la ecuación (1) por un coeficiente "C", con lo que toma la forma:

$$V_i^2 - V_f^2 = 2.g.\mu.D_f.C \quad (2)$$

"C" varía de 1,15 a 1,20.

Algunos autores consideran que el accidente consta de tres fases: Fase Precedente - Colisión Propiamente Dicha - Fase Post Colisión. Utilizaremos esta sistematización para ejemplificar un cálculo de velocidad:



Así, en la fase precedente, el móvil empieza su frenada con "Vi", y la culmina en el inicio de la colisión con "Vc". Durante la colisión por transformación de una parte de su energía cinética en deformaciones, su velocidad se reduce de "Vc" a "Vpc" (velocidad post colisión).

Tras la colisión, de la que sale con "Vpc", el móvil va agotando su energía cinética en rozamientos hasta detenerse, en cuyo caso su velocidad final "Vf" será nula.

Es decir, en la etapa post colisión tenemos una variable (Vf) conocida, motivo éste que nos impone realizar los cálculos en orden cronológico inverso.

Si se imprimieron huellas, es sencillo calcular la disipación de la energía, y con ello la velocidad, aplicando la ecuación (2).

Como en la etapa post colisión "Vf" es cero, la (2) se transforma en:

$$V_{pc} = \sqrt{2.g.\mu.D_f.C}$$

Si las huellas fuesen de derrape, la longitud deberá considerarse como se explica en el capítulo correspondiente.

Si no hubiese huellas, Vpc puede asumir cualquier valor entre los límites dados por detención por rodadura, sin frenar ($\mu = 0,02$ en asfalto seco) y frenado de máxima eficacia, que es el que debe considerarse cuando, existiendo constancias de importante frenado, no se dejaron huellas, ya sea porque el rodado estaba provisto del ABS, o porque el conductor "moduló" su pedal.

Para esto basta incrementar el coeficiente de frenado usual de esa superficie en 10% para camino seco, o en 25% en superficies mojadas. 20% y 30% son respectivamente los valores mínimos de los rangos de incremento, pero deben tomarse los valores indicados (10 y 25%) debido a que si bien se intenta mantener en todo momento la eficacia máxima del frenado, es imposible lograrlo permanentemente.

* Ahora supongamos conocida la Energía insumida en las deformaciones "Ed".

La variación de la energía cinética en el choque es consecuencia de la energía insumida por las deformaciones.

ABS

Entonces puede escribirse:

$$Ed = 0.5.m. (Vc^2 - Vpc^2)$$

En la que "m" es la masa del rodado.

Con "Vpc" conocida es inmediato hallar "Vc" despejándola de la ecuación anterior.

$$Vc = \sqrt{\frac{2.Ed}{m} + Vpc^2} \quad (7)$$

Conocida así "Vc", y aplicando la ecuación (2) se obtiene "Vi" con:

$$Vi = \sqrt{2.g.\mu..Di.C + Vc^2} \quad (3)$$

En la que "Di" es la longitud de la frenada inicial.

Como veremos, muchas veces es imposible calcular la energía insumida por las deformaciones, en cuyo caso es dable establecer una velocidad mínima poniendo en la ecuación (3) "Vpc" en vez de "Vc", es decir considerar como nula la energía de deformación es tomar $Ed = 0$ en la ecuación (7).

En estos casos debe alertarse que el valor así obtenido es menor al real por no haberse podido determinar la energía insumida por las deformaciones.

Atención: En estos cálculos es muy fácil confundirse con las unidades y, como en todos, debe trabajarse con unidades homogéneas. Para esto es útil recordar que Fuerza es igual a Masa por Aceleración, de donde la masa "M" de algo que tiene peso "P" en la tierra es:

$$M = P/g \quad (8)$$

Es decir que algo de un kilo-masa tiene una masa (expresada en función del peso) de un kilo-fuerza multiplicado por la inversa de la aceleración de la gravedad:

$$1kg = 1 \text{ kgr. } s^2 / 9,8 \text{ m} \quad (9)$$

Al conjunto $\text{kgr.s}^2/\text{m}$ se lo denomina Unidad técnica de Masa (UTM).

Así, por ejemplo, si necesitamos conocer cuál es la velocidad que animaba a un cuerpo que tiene $Ed = X \text{ kgrm}$ (kilográmetros) debemos plantear, de donde

$$V = \sqrt{2.Ed/M} \text{ es decir } V = \sqrt{\frac{2.X.\text{kgr.m}}{M.\text{kg}}}$$

en el numerador aparecen "kgr" (kilogramos-fuerza) y en el denominador aparece "kg" (kilogramos-masa), para poder resolverlo necesitamos homogeneizar las unidades, para lo cual reemplazamos la masa en función de su peso según (8).

$$V = \sqrt{\frac{2.X.\text{Kgr.m}}{P.\text{kgr}}} = \sqrt{\frac{2.X.\text{Kgr.m.m}}{P.\text{kgr.g.s}^2}} = \sqrt{\frac{2.X.m^2}{P.s^2}}$$

$$\sqrt{g \cdot \frac{m}{s^2}}$$

que presenta homogeneidad.

Nota Importante: Como hemos demostrado en el Capítulo 23 (Otras Resistencias) en casos de frenada la energía insumida por la resistencia aerodinámica es absolutamente despreciable frente a las demás que están en juego, a cualquier velocidad razonable.

Ver capítulo 23 "Otras resistencias".

Energía total transformada (caso general)

La variación de energía cinética "Ec" de un móvil surge de:

$$\Delta Ec = Tr + Ed \pm Ei \pm Ep$$

Donde

"Tr" o "Efr" es la energía insumida por el rozamiento con el piso.

"Ed" es la energía insumida en las deformaciones.

"Ei" es la energía perdida o adquirida por efecto de la pendiente $\pm P.sena.D$.

"Ep" es la energía potencial consumida (−) o ganada (+) en el recorrido. Si hay cambios bruscos de pendiente durante "D". Si

hay será $E_p = \pm P \cdot H$ siendo "H" la altura final respecto al nivel de inicio de la discontinuidad en la pendiente (zanja, escalón, etc).

En realidad tanto "Ei," como "Ep" forma la energía potencial total, perdida o ganada, se las ha separado para fijar los conceptos y facilitar los cálculos cuando hay un cambio brusco en la pendiente de la trayectoria recorrida por el móvil.

Con lo que la ecuación general que permitirá hallar la velocidad inicial será:

$$\frac{1}{2} \cdot M \cdot (V_i^2 - V_f^2) = C [M \cdot g \cdot \mu_c \cdot D + E_d \pm E_p]$$

Despejando "Vi"

$$V_i = \sqrt{2C \left(g \cdot \mu_c \cdot D + 0,5 V_f^2 \cdot D \pm P \cdot D \cdot \text{sena} + \frac{E_d}{M} \right)}$$

"C" es un coeficiente que considera la energía insumida por el sistema de frenos antes de imprimirse huellas de bloqueo en la frenada.

Recordar que el coeficiente "C" sólo debe considerarse cuando se han impreso huellas de frenado nítidas.

El coeficiente " μ_c " es el coeficiente friccional corregido por efecto de la pendiente $\mu_c = (\mu \pm i)$.

Cuando no se tengan huellas de frenado habrá que realizar dos cálculos: el de velocidad con frenada de máxima eficacia (como ya se explicó), y de velocidad mínima, en rodadura. Para este caso "C" es igual a 1 y el coeficiente a considerar es el de rodadura " μ_r ". Obtenemos así, con estos dos resultados, los límites inferior y superior del rango de velocidades posibles.

En el caso en que uno o los dos rodados hubieran rotado horizontalmente deberá considerarse la energía insumida por las rotaciones dentro del trabajo de rozamiento con el piso.

Si no es necesario conocer las velocidades intermedias, ésta es la forma más sencilla de obtener la velocidad de un móvil al inicio del conflicto.

De necesitarse conocer las velocidades intermedias deberá procederse como se explicó al principio de este capítulo, aplicando lo dicho acá a cada tramo en que se deba dividir el fenómeno.

No olvidar homogeneizar las magnitudes (por ejemplo pasar kilogrametros a Joules).

En los tramos donde no hubiera huellas de frenado deberán hacerse dos cálculos para calcular la energía insumida por el desplazamiento, uno con el coeficiente de rodadura, y otro con el de máxima eficacia. El valor real de esta energía habrá sido cualquier valor entre ambos extremos.

Rototraslación

La rototraslación es el movimiento más general de un cuerpo.

La traslación pura y el giro puro son casos especiales del movimiento general.

Se puede analizar estudiando los dos componentes por separado, la traslación del centro de gravedad y el giro del rodado alrededor de su centro de giro (que puede o no coincidir con el centro de gravedad).

Con frecuencia la energía insumida por el giro no es tenida en cuenta, pero en algunos casos es de suma importancia.

A veces el giro ocurre alrededor de su centro de gravedad (o es aceptable considerarlo así), pero muchas veces esto no es así, por ejemplo en choques muy excéntricos.

Esto es especialmente útil para resolver casos en que los móviles, tras el impacto se desplazan y quedan girados respecto a su dirección inicial.

Para calcular esta energía debemos conocer cuál es el ángulo girado.

Medir el ángulo en el sitio requiere de brújulas con mira, pínulas, o si no se dispone de goniómetros, tomando medidas con respecto a un eje de referencia y graficando a escala, luego mediante trigonometría determinar los ángulos.

Conocido el mencionado ángulo se debe calcular la energía insumida por el rozamiento de los neumáticos con el piso.

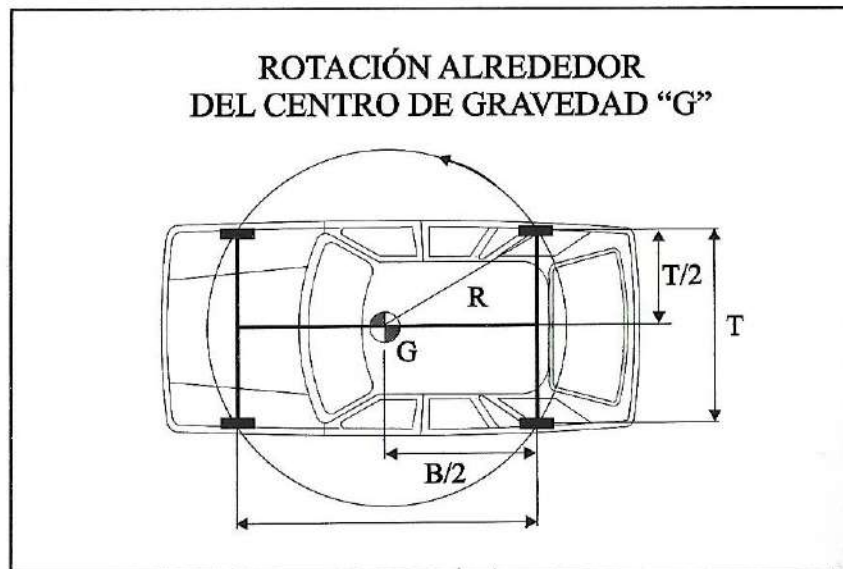
Hay dos formas de hacerlo, la más sencilla y menos precisa es aceptar que el rodado describió un arco de circunferencia con centro en su centro de gravedad, ubicado en el cruce del eje lon-

gitudinal del vehículo a la mitad de la distancia entre ejes y a la mitad de la trocha, (plano de simetría longitudinal y vertical).

En el esquema siguiente vemos que el radio de giro es, por aplicación de Pitágoras:

$$R = \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{T}{2}\right)^2}$$

Donde "B" es la distancia entre ejes ("batalla" para los españoles) y "T" es la trocha del rodado.



Conocido el ángulo en grados, la longitud en la que habrán rozado los neumáticos surge de una regla de tres simple.

La longitud "L" de la circunferencia de un círculo de radio "R" es $L = 2 \pi R$

Y corresponde a un ángulo de giro de 360° , entonces:

$$360^\circ \text{ ----- } 2 \pi R$$

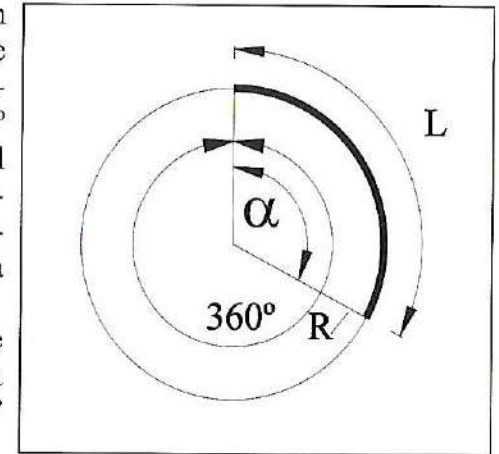
$$1^\circ \text{ ----- } 2 \pi R / 360^\circ$$

$$\text{Alfa}^\circ \text{ ----- } 2 \pi R \alpha^\circ / 360^\circ$$

La longitud que habrán recorrido transversalmente las ruedas en la rotación habrá sido $L' = 2 \pi R \alpha^\circ / 360^\circ$

Multiplicado por el peso y el coeficiente de rozamiento transversal tendremos la energía insumida por el rozamiento.

Recordar que en este caso $R = \frac{1}{2}$ de la distancia entre ejes ($\frac{1}{2}$ de la "batalla" para los españoles).



Atención que esta forma no es adecuada cuando el giro no es alrededor del centro de gravedad, por ejemplo cuando algún neumático se convierte en centro instantáneo de rotación, o en choques muy excéntricos.

El método más preciso y apto para todos los casos es medir el arco que ha descripto cada neumático, y considerar el rozamiento de cada uno de ellos para después sumarlos.

Acá debe considerarse la fracción de peso del rodado que soporta cada neumático. Usualmente es suficiente considerar el peso del vehículo dividido por el número de ruedas, pero puede ser necesario considerar el peso real en cada uno, como en el caso de camionetas descargadas, o muy cargadas.

Para medir el arco descripto por cada neumático se debe proceder en cada uno como se explicó inicialmente, en general cada arco subtiende de un ángulo distinto.

La forma más simple de medir el arco descripto por cada neumático es mediante un gráfico en escala adecuada, con un flexible o un odómetro (ruedita de medir) adecuado. Algunos programas de dibujo tienen la función requerida para esta medición.

Capítulo 32

Longitud efectiva de las huellas de derrape. Velocidad

Además de las diferencias cualitativas, porque representan comportamientos de los móviles diferentes, y son fenómenos distintos, a los efectos cuantitativos en los cálculos energéticos es muy importante la diferencia entre huellas de derrape y huellas de frenado, o de rodadura, o de aceleración, etcétera.

En el caso de rodadura al igual que en frenado, la energía, se disipa a todo lo largo de la huella, pero con un coeficiente muy bajo ($\mu_r = 0,03$ o menos).

En caso de derrape con frenado la energía se disipa a lo largo de toda la huella (es fundamental considerar la longitud del arco y adoptar el coeficiente de rozamiento correspondiente al movimiento lateral ("μl").

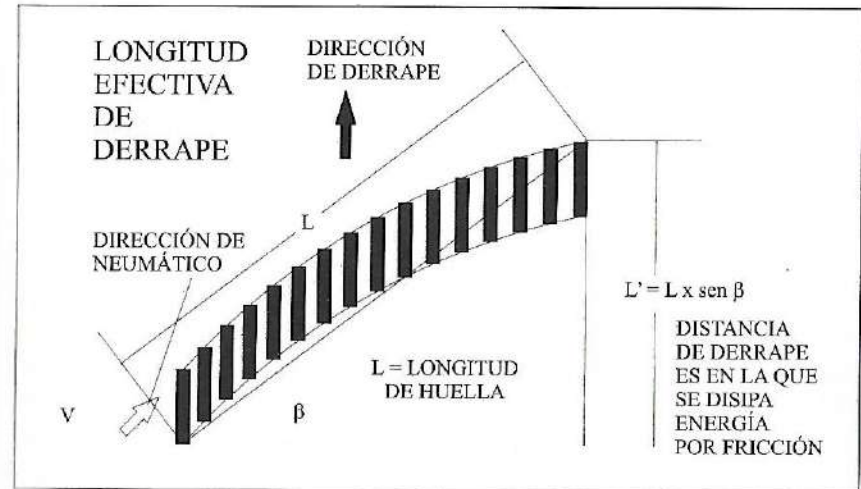
En caso de frenado con derrape, durante toda la longitud de la huella se disipa energía por fricción, pero, cuando el derrape ocurre con los neumáticos girando, sólo se disipa energía por fricción en la dirección de las estrías, es decir en la dirección del derrape (ver gráfico).

El gráfico es muy esquemático y en él se reemplaza sin demasiado error la longitud del arco de la huella, por una recta entre su inicio y fin.

Si la huella fuese muy larga o su curvatura muy pronunciada, es conveniente dividirla en tramos asimilables a rectas y pro-

yectar cada uno en la dirección de las estrías. (Idealmente habría que encontrar el polinomio que representa la curva de la huella y luego proyectarlo).

Podemos ver en el gráfico que la longitud efectiva a efectos de los cálculos energéticos puede ser muy inferior a la longitud de la huella.



Tomando la longitud efectiva de las huellas de derrape (L') y el coeficiente de fricción lateral (μ_l), se calcula la velocidad con las ecuaciones que derivan del Principio de Conservación de la Energía:

$$V_i = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu_l \cdot L' + V_f^2}$$

Velocidad crítica

El derrape, y eventualmente las huellas de derrape, se producen cuando, en un giro, se supera la llamada "velocidad crítica" " V_c ", que depende del radio del giro, las características de rozamiento del conjunto neumáticos - piso, y la aceleración de la gravedad.

$$V_c = \sqrt{\mu_l \cdot R \cdot g}$$

Donde “ μ ” es el coeficiente de rozamiento transversal (10% mayor que el longitudinal), “ R ” es el radio de la curva descripta, y “ g ” la aceleración de la gravedad.

Cuando la curva descripta presenta un cierto ángulo “ α ” en sentido transversal, debe considerarse el efecto de la pendiente, por lo que la velocidad crítica responde a:

$$V_c = \sqrt{(\mu \pm i) \cdot R \cdot g}$$

Donde “ i ” es la pendiente (tangente) del ángulo.

Si el ángulo es tal que el piso se eleva hacia el lado externo de la curva, el signo de la pendiente será positivo, de lo contrario será negativo.

Si la pendiente es positiva, aumenta el valor de la velocidad a la que se puede circular sin derrapar, es el caso de los velódromos o los autódromos en óvalo, típicos de Estados Unidos.

Cuando, como en estos casos, el ángulo en la curva es construido deliberadamente para permitir una velocidad mayor de circulación, se denomina “peralte”.

Atención: lo mencionado en velocidad crítica se refiere a derrapes inerciales, debe tenerse en cuenta que también pueden producirse derrapes por acción de fuerzas exteriores de sentido transversal al de avance del rodado (por ejemplo un choque lateral).

Capítulo 33

Cálculo de la energía insumida por deformaciones

ATENCIÓN

TODOS los métodos de determinación de la energía insumida por las deformaciones (y consecuentemente velocidad de impacto) basados en las deformaciones, aunque tengan fundamento teórico, son métodos empíricos, con lo cual tienen la confiabilidad que tengan los ensayos en los cuales se determinan los coeficientes. Esto remite, además de a la calidad de los tests, a la validez estadística de sus resultados (pocos ensayos, poca validez estadística) y, por supuesto, a que las condiciones del choque real sean similares a las condiciones de ensayo.

En la investigación de accidentes, frecuentemente la cuestión más requerida es la determinación de la velocidad.

Muchas veces se pretende que se determine la velocidad a partir de las deformaciones remanentes, es decir la energía insumida por las deformaciones.

• Supongamos que se dispone de las siguientes fotos y se nos pide que determinemos en cada caso la velocidad de impacto. Le rogamos al lector que haga el ejercicio.



No sé cuáles han sido sus respuestas, pero si entre la primera y segunda foto la velocidad estimada es distinta, así como entre la tercera y cuarta, están erradas, ya que, aunque parezca mentira, el camión de la segunda foto embistió de atrás al camión de la primera, en consecuencia la velocidad de impacto es la misma.

Lo mismo ocurre con las dos últimas fotos, las que son consecuencia de un impacto frontal excéntrico, entre el irreconocible Renault 18 y el poco afectado furgón Mercedes Benz.

Sí sé que, con estos elementos, no se puede saber cuál ha sido la velocidad de impacto en cada caso.

SOLIS LAURA CAROLINA
Lic. en Criminalística M.P. Nº 126
Policía de Corrientes

Decir "No Se Puede" es un imperativo ético, ya que los investigadores somos, o pretendemos serlo, científicos, no adivinos o vendedores de camelos.

Esto muchas veces nos hace parecer ignorantes frente a los chantas que tiran números al boleo, sin fundamentos, sólo basados en "me parece", o su "experiencia".

Lamentablemente hay demasiados personajes de éstos. Algunos por ignorancia y otros por comodidad o interés.

Agrava la cuestión la aplicación indiscriminada de programas de computación "enlatados" que permiten "calcular" la velocidad en función de las deformaciones.

Constantemente debemos estar recordando que no es lo mismo "estar de vuelta que no haber salido", por lo que parece oportuno ir pensando en hacer la división entre *Accidentología Científica* y *Accidentología Mágica o No Científica*.

Los elementos requeridos para determinar científicamente la energía de deformación, cada uno de los cuales modifica los resultados enormemente, son, entre otros:

- **Direcciones relativas** al instante del impacto inicial, y durante todo el tiempo de contacto, en tres planos perpendiculares entre sí.
- **Formas y distribuciones de las estructuras** durante todo el proceso.
- **Dimensiones** de todos y cada uno de los elementos de los móviles involucrados.
- **Forma y calidad de las vinculaciones y/o uniones** de todos los elementos y piezas de los móviles involucrados.
- En teoría, conocer estos factores permitiría conocer la distribución de tensiones en los materiales durante cada instante del accidente.
- **Composición química**, que tuviesen y **Tratamientos Térmicos y Mecánicos** que hubieran soportado todos y cada uno de los elementos de los móviles involucrados.
- En teoría, el conocimiento acabado del estado del material permitiría determinar su resistencia mecánica.
- **Temperaturas** de todos y cada uno de los elementos de los móviles involucrados al momento del hecho, y su evo-

lución durante el accidente, ya que este parámetro modifica sustancialmente la resiliencia, resistencia a cargas de impacto de los materiales.

- Otro factor de imprescindible necesidad sería el **Estado Superficial** de todos los elementos involucrados, ya que la mera presencia de simples rayones modifica sensiblemente la capacidad de absorción de cargas de impacto.

Como se ve, en esta somera enunciación la cantidad y entidad de factores determinantes de las características de deformación ante cargas de impacto hacen imposible su obtención precisa, y, por ende, el cálculo exacto de la energía de deformación, imprescindible para obtener las velocidades.

El autor también conoce la existencia de ciertos gráficos y/o tablas utilizados frecuentemente para determinar velocidades, basados en ensayos de choque de automóviles, los que conviene discutir:

Algunos en uso en Argentina en este momento son las conclusiones de los ensayos realizados por la FIAT a fines de los 50, bajo la dirección del Ing. Giacossa.

Tales ensayos consistían en lanzar con catapulta rodados Fiat 1100 contra paredes u otros rodados.

De las muchas y muy valiosas informaciones que se obtuvieron de estos trabajos pioneros (no fueron los primeros) lamentablemente han trascendido sólo las curvas que relacionan el acortamiento de la estructura con la velocidad de impacto.

Decimos lamentablemente porque su sencillez ha llevado a que sean utilizadas indiscriminadamente por personas no avisadas de sus limitaciones.

Así, utilizar los resultados de cualquier serie de ensayos sin conocer su rango de validez y dispersión estadística es cuando menos aventurado.

Hemos visto la utilización de las "Curvas de Giacossa" a cualquier rodado, en cualquier posición e incluso extrapolarlas por fuera de los gráficos.

No es necesario ser epistemólogo, científico o técnico para comprender que no se obtienen los mismos resultados al chocar

un Fiat 1100 (el "millecento") a la misma velocidad contra una pared a 90° o inclinada a 45°; o si el coche estaba horizontal o cabeceando por una frenada; o si el impacto fue contra el lateral de otro coche, una columna, un camión, un peatón, etcétera.

Si el rodado en análisis es distinto a los utilizados en los ensayos, con distinta estructura, materiales y vínculos entre las piezas, la aplicación de los resultados de ensayos maximiza el disparate.

Hoy en día se utilizan métodos que permiten determinar con mucho más fundamento la energía de deformación en base a las superficies o volúmenes deformados utilizando coeficientes de rigidez específicos para cada rodado y para cada zona del mismo, y que tienen en cuenta el ángulo de incidencia del impacto.

Aun así debe tenerse muy presente el *rango de aplicabilidad del método*:

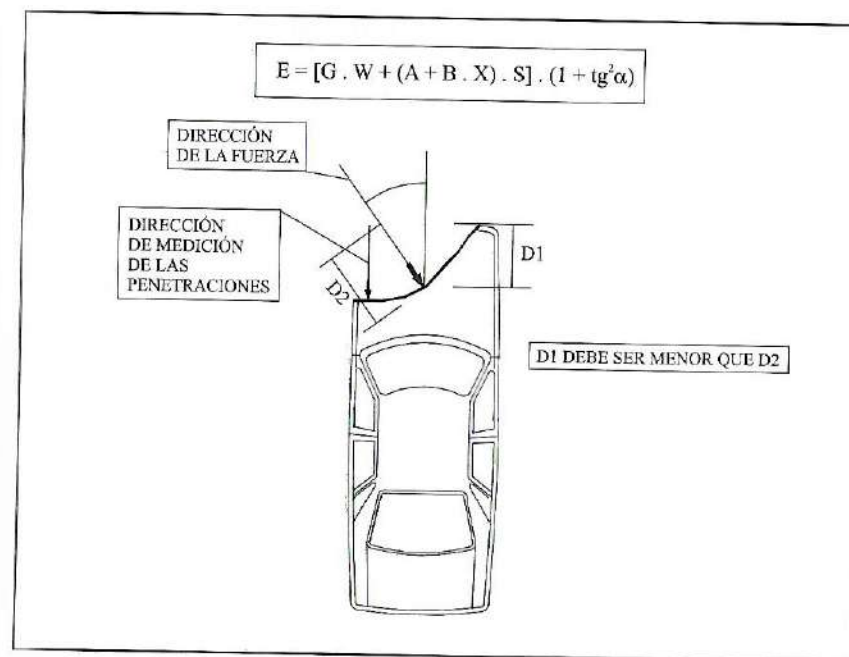
- No es aplicable a camiones o colectivos.
- No es aplicable a motos o bicicletas en general.
- No es aplicable para grandes deformaciones que denoten colapso estructural generalizado.
- No es aplicable cuando las deformaciones son inapreciables o no comprometan refuerzos estructurales.
- No es aplicable cuando la deformación se modifica notablemente en sentido vertical.
- No es aplicable cuando la estructura está muy corroída.

Es imprescindible tener en cuenta que los valores que brinda el método son valores medios y que tienen una *dispersión* del orden del 30%, esto es que el valor real puede ser 30% superior o 30% inferior al que brinda el método.

Determinación de la energía de deformación por deformaciones remanentes

Puede demostrarse que la energía insumida para producir el daño es:

$$E = [G \cdot W + (A + B \cdot x) \cdot S] \cdot (1 + \lg^2 \alpha)$$



Donde: "G" = $A^2/2B$ considera la energía disipada por deformaciones no permanentes.

"W" es el ancho afectado por las deformaciones.

"A" es la máxima fuerza por unidad de ancho dañado que no causa deformaciones permanentes.

"B" Coeficiente de resistencia al impacto por unidad de ancho dañado.

"x" es la ordenada del centroide del área dañada a la superficie original del rodado (distancia de ésta al baricentro del daño).

"S" es el área dañada.

"α" es el ángulo de incidencia (ángulo entre la perpendicular a la superficie original del rodado y la dirección del impacto).

La determinación de "x" y de "S" requiere de la integración numérica de las "penetraciones" del daño.

Llamamos "penetraciones" a las distancias medidas normalmente a la superficie original del rodado, entre ésta y la superficie dañada. Se denominan "Pi", donde el subíndice indica de cuál medición se trata.

Brindamos la ecuación ya desarrollada para 6 "penetraciones":

$$E = (1 + \tan^2 \alpha) \cdot W/5 [5G + 0,5A(P1 + 2P2 + 2P3 + 2P4 + 2P5 + P6) + B(P1^2 + 2P2^2 + 2P3^2 + 2P4^2 + 2P5^2 + P6^2 + P1P2 + P2P3 + P3P4 + P4P5 + P5P6)/6]$$

Para que esta ecuación sea aplicable las "penetraciones" deben ser medidas equidistantemente a una distancia $W/5$.

Recordar que se trata de una integración numérica, por lo que cuanto mayor sea el número de "penetraciones" utilizado tanto más cercano, la realidad será el resultado.

Coefficientes aplicables

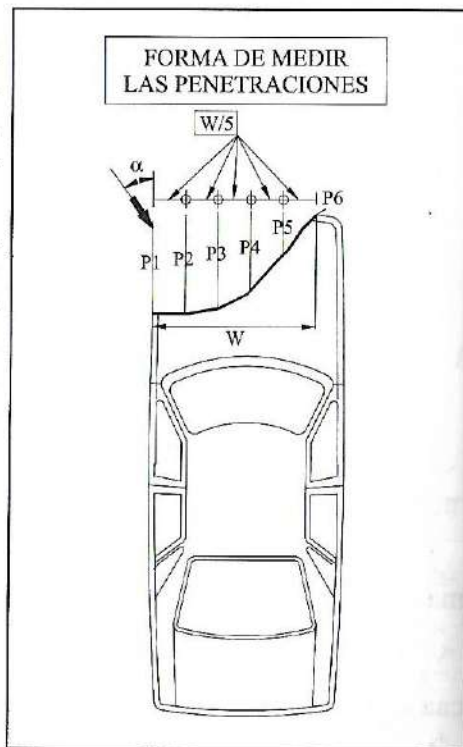
Los coeficientes de rigidez requeridos para un determinado rodado deben buscarse en función de la distancia entre ejes del mismo ("batalla" para los españoles), lo que, en cada tipo de rodado, determina su clase.

Los coeficientes consignados son valores medios para cada clase, por lo que se adjunta, cuando se la dispone, la desviación standard de cada valor.

Tal cosa permite, en cada caso, la determinación de un rango con altas probabilidades de ocurrencia de la energía insumida por las deformaciones, entre un máximo y un mínimo.

El autor debe hacer un notado sobre los coeficientes disponibles para camiones:

En razón de la sorprendente identidad numérica de los coeficientes, tanto A, como B, delanteros, laterales y traseros (en



unidades británicas todos se consignan "1000", a pesar de la diversidad de unidades) se sugiere utilizarlos con extremo cuidado.

En efecto, no habiendo podido acceder a los protocolos de estos ensayos, el autor sospecha que se trata de valores asignados arbitrariamente a los efectos de calcular impactos contra rodados menores. Abona esta creencia que, a las barreras rígidas utilizadas para el ensayo de impacto, se les asignan valores 1000000 - tanto a "A" (lb/in), como a "B" (lb/sqin).

AUTOMÓVILES						
Coeficientes frontales						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	205,49 - 240,79	32,08	7,92	5,05	1,07	101,97
2	240,79 - 258,06	32,87	4,23	4,58	2,44	118,07
3	258,06 - 280,42	36,78	7,07	4,90	1,49	138,11
4	280,42 - 298,45	38,34	6,38	4,67	1,92	157,43
5	298,45	51,39	7,98	7,94	2,05	166,30

Coeficientes traseros						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	205,49 - 240,79	30,71	4,87	3,81	1,19	123,79
2	240,79 - 258,06	28,90	3,43	3,46	1,78	120,70
3	258,06 - 280,42	33,75	6,17	3,62	1,39	157,18
4	280,42 - 298,45	33,11	0,58	3,29	0,11	166,59
5	298,45	51,98	19,43	9,66	7,28	139,83

Coeficientes laterales						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	205,49 - 240,79	15,71	4,31	4,18	2,16	29,49
2	240,79 - 258,06	17,80	3,01	4,63	2,85	34,18
3	258,06 - 280,42	17,04	3,49	5,44	0,73	26,68
4	280,42 - 298,45	24,39	nd	6,65	nd	44,71
5	298,45	16,91	nd	6,65	nd	21,49

PICK UPS						
<i>Coefficientes frontales</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<289,56	47,36	5,69	7,62	1,84	147,11
2	≥289,56	39,09	5,63	4,79	1,35	159,56

<i>Coefficientes traseros</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<289,56	46,16	8,46	7,62	2,75	139,74
2	≥289,56	51,74	8,66	8,61	2,91	155,46

<i>Coefficientes laterales</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<289,56	18,33	0,38	6,44	0,06	26,10
2	≥289,56	13,88	nd	2,50	nd	34,42

MULTIPROPÓSITOS						
<i>Coefficientes frontales</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<265,43	47,36	5,69	7,62	1,84	147,11
2	≥265,43	39,09	5,63	4,79	1,35	159,56

<i>Coefficientes traseros</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<265,43	45,98	8,46	7,62	2,75	138,66
2	≥265,43	51,74	8,66	8,61	2,91	155,46

<i>Coefficientes laterales</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<265,43	18,33	0,58	6,44	0,06	26,10
2	≥265,43	13,88	nd	2,80	nd	34,42

KOMBIS O VANS						
<i>Coefficientes frontales</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<293,11	55,00	15,95	9,45	5,34	160,06
2	≥293,11	63,86	7,21	10,83	1,52	188,21

<i>Coefficientes traseros</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<293,11	55,02	7,44	8,30	2,47	150,80
2	≥293,11	55,54	13,66	9,92	4,33	155,44

<i>Coefficientes laterales</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<293,11	17,09	0,00	5,46	0,00	26,74
2	≥293,11	24,39	nd	6,65	nd	44,71

CAMIONES						
<i>Coefficientes frontales</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<265,43	178,00	nd	70,00	nd	226,31
2	≥265,43	178,00	nd	70,00	nd	226,31

<i>Coefficientes traseros</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<265,43	178,00	nd	70,00	nd	226,31
2	≥265,43	178,00	nd	70,00	nd	226,31

<i>Coefficientes laterales</i>						
Clase	Dist. entre ejes (cm)	"A" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"B" (kg/cm)	Desv. Std (kg/cm)	"G" (kg)
1	<265,43	178,00	nd	70,00	nd	226,31
2	≥265,43	178,00	nd	70,00	nd	226,31

Capítulo 34

Validez del cálculo de velocidad por deformaciones

Por la Teoría del Choque es posible resolver las ecuaciones del movimiento de partículas adimensionales o infinitesimales en condiciones de perfecta plasticidad o elasticidad, y en algunas configuraciones si el coeficiente de restitución es distinto de cero y de uno.

Aplicamos para esto, Newton, Conservación de la Cantidad de Movimiento, de la Energía, etcétera.

Cuando pasamos del modelo infinitésimo al mundo real la cosa se complica, al plantear el sistema de ecuaciones nos encontramos siempre con más incógnitas que ecuaciones.

Como recordamos, esto implica la existencia de infinitas soluciones para ese sistema de ecuaciones.

Para poder acceder a una solución única, o un conjunto acotado de posibles soluciones (un entorno), se deben encontrar entonces valores de algunas de las incógnitas.

A algunas se les asigna un valor arbitrario, pero técnicamente razonable, como cuando despreciamos la energía disipada por el sonido del choque, es decir decimos que esa energía fue cero.

En otros casos se recurre a relaciones empíricas.

Esto es lo que se hace para obtener un valor de la energía insumida por las deformaciones en un choque dada la imposibilidad técnica de calcularla analíticamente por la cantidad de variables

indeterminadas e indeterminables que están en juego (ver capítulo anterior).

Los primeros ensayos (Emory 1956) de impacto frontal de un automóvil contra una barrera inmovible e indeformable llevaron a la conclusión de que la fuerza desaceleradora experimentada por el automóvil era directamente proporcional a las deformaciones por él sufridas.

Es decir que el frente del rodado se comportaba como un resorte totalmente plástico de comportamiento lineal.

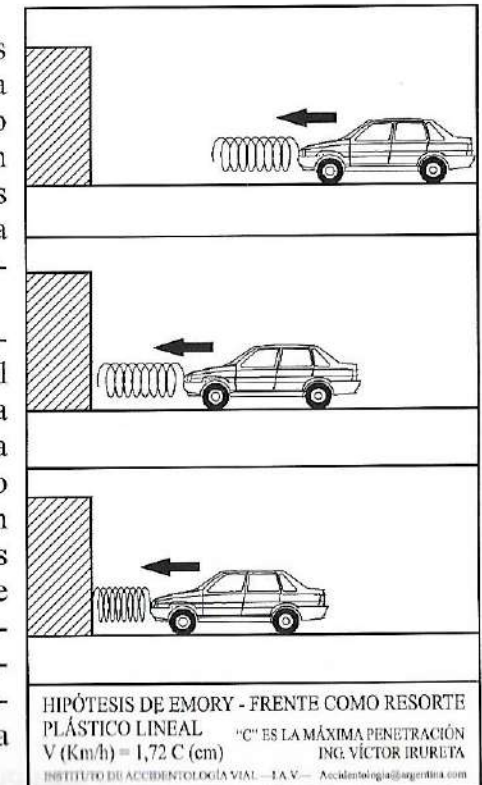
Esto implica que la energía cinética del móvil se disipa totalmente por la compresión de resorte imaginario.

Conociendo la velocidad y la deformación permanente de los tests, Emory pudo calcular la constante del resorte "k" y postuló: $C \text{ (cm)} = 0,58 V \text{ (km/h)}$, o $V = 1,72 C$.

Donde "C" es la máxima deformación permanente y "V" la velocidad de impacto.

Estudios posteriores (Campbell) confirmaron la linealidad de Emory, pero reconociendo que existe un umbral de deformación, es decir la máxima velocidad a la cual no se producen deformaciones permanentes:

Como se ve la cuestión era bastante elemental y sólo servía cuando toda la trompa estaba deformada en modo parejo, el mismo Campbell refinó la cuestión planteando las ecuaciones en función de la unidad de ancho comprometido, utilizando coeficientes de rigidez y resistencia, que reflejan las características de la estructura del rodado.



Estos coeficientes se encuentran tabulados en categorías que son función de la distancia entre ejes, ofreciendo las tablas valores medios para cada categoría.

En las ecuaciones y los coeficientes de Campbell se basan todos los modelos de cálculo de velocidad por deformación actuales y los programas de computación "enlatados" de ellos derivados.

Para su aplicación deben medirse varias penetraciones de los daños a lo largo del ancho dañado y proceder a su integración numérica.

Limitaciones

Todo modelo de aproximación a la realidad tiene implícitas o explícitas ciertas limitaciones, o rango de aplicabilidad, en este caso:

- 1) La elección de los coeficientes A y B, los que son específicos para cada modelo de vehículo, pero que se brindan como valor medio para grupos de rodados con distancia entre ejes similares, asumiendo que tendrán coeficientes similares.
- 2) El modelo pretende que la resistencia es constante en todo el ancho dañado, lo cual no necesariamente es cierto (por ejemplo en la zona frontal en cercanía de refuerzos estructurales, las resistencias, y por ende los coeficientes, son mayores que en el espacio entre refuerzos, ni hablar en rodados con chasis. En laterales, las zonas de los ejes son mucho más rígidas que en el espacio entre ellos.
- 3) El modelo asume que la deformación en sentido vertical es constante, lo cual raramente es cierto (ver cualesquiera de las fotos).
- 4) Es difícil medir las deformaciones, es decir es difícil determinar cuál será el fin de la penetración en una ordenada determinada (¿cuál es la deformación en una zona abovedada?), además la elección del punto donde se la mide puede afectar sensiblemente el resultado. Se han propuesto protocolos para la medición. En general a la altura del paragolpes (lo cual no siempre es adecuado).

- 5) La existencia de corrosión debilita la estructura haciendo inaplicable el método.
- 6) El método no es aplicable a vuelcos, impactos por arrastamiento lateral o cualquier modo de accidente que difiera sustancialmente de un choque concéntrico.
- 7) Tampoco se puede aplicar en estructuras tan dañadas que puedan considerarse que han colapsado totalmente. Estas limitaciones son advertidas explícitamente por los creadores del modelo.

Tampoco es aplicable a choques con estructuras esbeltas (postes, columnas, árboles). *(Recomendamos para estos casos aplicar el método que describen los ingenieros Alba López, Iglesia Pulia y Araguás Viñao en su libro "Accidentes de tráfico: introducción al análisis de deformaciones", 2001, Universidad de Zaragoza, además es una excelente fuente para profundizar los conocimientos sobre estos métodos).*

Discusión

- A) Se ha cuestionado que estos métodos no consideran la restitución elástica de los materiales, la cual lisa y llanamente desprecian, sin embargo ocurre, lo que tiende a provocar la subestimación de la velocidad.
- B) Metodológica: Los coeficientes A y B se obtienen de ensayos, que presumen su existencia y constancia, por consiguiente, desde lo epistemológico es casi una tautología, ya que se postula la existencia de los coeficientes que responden a una ecuación, mediante tests basados en esa ecuación se calculan los coeficientes, que refrendan la ecuación original.
- C) El modelo también asume que la resistencia es constante cualquiera sea la penetración. Esto se ha demostrado que no es cierto (Woods). (Frontalmente, por ejemplo, la resistencia es menor desde la superficie hasta donde empie-

za el anclaje del motor, donde se incrementa y mantiene hasta el fin del mismo, disminuyendo algo entre el fin del motor y el parallamas).

- D) Los ensayos se realizan a 50 o 60 km/h y se presume su validez a toda otra velocidad, lo que desde la ciencia, *a priori*, es cuestionable en tanto sabemos que la velocidad de aplicación de una carga incide determinantemente en la resiliencia. (Resiliencia es la capacidad de absorber cargas dinámicas).
- E) Las pruebas de validación reiteran el problema, ya que se toman choques que están claramente dentro de los standards de ensayo.
- F) En un choque las cargas actuantes son, por definición, dinámicas. De los ensayos de materiales sabemos que la resistencia de éstos a las cargas dinámicas es sumamente sensible a las modificaciones de temperatura. Tanto los ensayos de Charpy como de Izod requieren rangos de temperatura muy específicos para que sus resultados sean homologables.
- G) Análoga sensibilidad se presenta ante el estado superficial de los materiales, a tal punto que rayones superficiales modifican enormemente los resultados, dando lugar a lo que se denomina "sensibilidad de entalla".
- H) Fenómenos similares producen las "condiciones de borde", "grado de empotramiento" y rigidez del vínculo entre las partes de la estructura.
- I) Se asume que el rodado embistente sólo transmite su energía cinética, es decir se asume que sus ruedas motrices no transmiten potencia desde el momento del impacto. Todos hemos visto filmes de Hollywood en los cuales un camión embiste un rodado y sigue avanzando, ya que su tren motriz siguió transmitiendo potencia.

Conclusiones

El método requiere que existan deformaciones sustanciales, las que no se producen por debajo de 30 km/h.

Requiere que la estructura no haya colapsado, lo que en la práctica limita la velocidad de impacto a menos de 80 km/h.

Existe gran dispersión en los resultados de los ensayos, por ejemplo para una deformación residual de 14 pulgadas, la velocidad que la produjo pudo ser 18 millas/h o 30 millas/h, para un mismo modelo, es decir más del 50% de dispersión.

A la inversa: una velocidad de 30 millas/h puede producir una deformación de 14 pulgadas o de 24, dispersión del 80%.

Entonces *¿Es válida la aplicación del modelo descripto?*
 La respuesta es: "a veces y con la advertencia adecuada".

Capítulo 35

Cálculo de velocidad por deformaciones en motocicletas

Las experiencias de Severy y otros han permitido concluir que cuando una moto impacta el lateral de un automóvil, las deformaciones permanentes en el bicicleta (tomadas como el acortamiento de la distancia entre ejes) son función lineal de la velocidad de impacto y no son afectadas significativamente por el tamaño de la motocicleta ni por la zona del automóvil impactada.

Es decir que la mayor energía cinética que presenta una moto grande frente a una chica, a una misma velocidad, resulta compensada por el incremento de la resistencia de su horquilla y estructura delantera.

De los gráficos de Severy hemos desarrollado la siguiente ecuación para el cálculo de la velocidad de impacto de una moto, en función del acortamiento de su distancia entre ejes

$$V = 5/3 A + 5$$

Donde:

“V” es la velocidad de impacto en km/h, y “A” es el acortamiento de la distancia entre ejes en centímetros.

No debe perderse de vista que esta ecuación es sólo una buena aproximación, y esto sólo si se la aplica a casos como los del estudio, esto es:

- Ruedas de la moto con llantas del tipo de rayos de alambre de acero (llantas de aceros aleados tienen distinto comportamiento).

- Que el objeto impactado esté detenido o casi detenido, ya que si el rodado impactado por la moto está en movimiento, al tocarlo, la goma delantera de la moto es arrastrada en su dirección, por lo que el impacto deja de ser axial para la moto.
- Acortamientos de la distancia entre ejes mayores de 12 centímetros y menores de 33 centímetros.

Estudios más recientes como los consignados en el artículo “Motorcycle-To Car And Scooter-To Car: Estimation Of Speed From Permanent Deformation” de Wood, Glynn y Walsh (2009), han permitido hallar otra recta Velocidad-Acortamiento.

También se basan y comprueban la linealidad encontrada por Severy, pero con menores restricciones en cuanto a las características del bicicleta, por ejemplo sus resultados son aplicables a scooters (motonetas como se llamaban antes o “vespas”) y ciclomotores.

Sólo se restringe a que la estructura delantera de la moto (cris, horquilla, amortiguadores, etc.) no haya resultado separada físicamente, y a acortamientos menores a 40 cm.

La ecuación que surge de este *paper* de Wood es:

$$V = 1,38. A + 14.22$$

Donde:

“V” es la velocidad de impacto en km/h.

“A” es el acortamiento en centímetros.

El choque también ha de ser ortogonal y centrado para el vehículo mayor, o con escasa excentricidad (de forma tal que durante todo el proceso del choque se mantenga la perpendicularidad).

Capítulo 36

Choques
contra objetos esbeltos

Asumiendo algunas simplificaciones, es posible calcular la energía absorbida por las deformaciones de un automóvil que ha chocado de frente con una columna, poste o árbol.

A bajas velocidades la energía utilizada en estas deformaciones responde a:

$$E = 537.m. \left[\ln \left(1 - \frac{D}{L} \right)^{-1} + 0,0072 \right] \text{ [Joules]}$$

A velocidades de impacto superiores la energía insumida por las deformaciones responde a:

$$E = 1.191.m. \left[\ln \left(1 - \frac{D}{L} \right)^{-1} + 0,0235 \right] \text{ [Joules]}$$

En las cuales:

“m” es la masa total del vehículo, en orden de marcha más ocupantes [kg].

“D” es la profundidad de la deformación residual del vehículo [m].

“L” es la longitud del vehículo [m].

Si el impacto fuese excéntrico habrá que corregir las ecuaciones anteriores reemplazando “m” por “m1” tal que:

$$m1 = m \left(\frac{k^2}{k^2 + h^2} \right)$$

Donde:

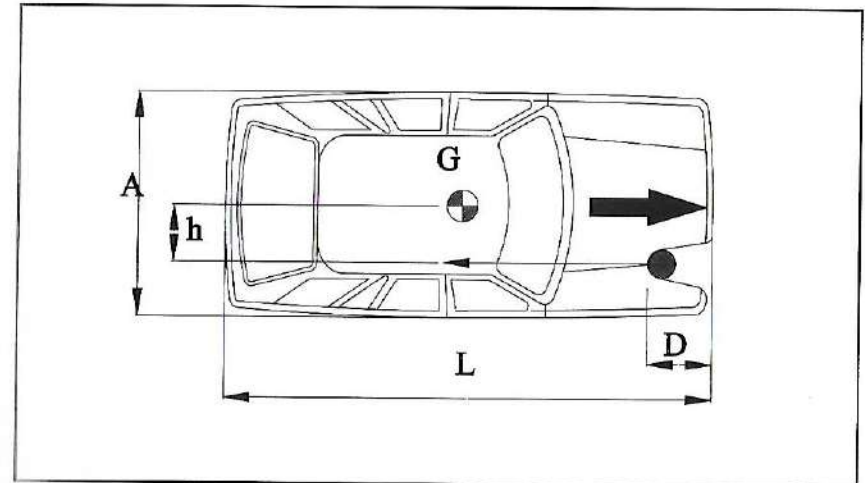
“k” es el radio de giro horizontal del vehículo [m].

“h” es la distancia del centro de gravedad a la recta de acción de la fuerza de impacto [m].

“k²” se calcula según:

$$k^2 = 0,931 \left(\frac{A^2 + L^2}{12} \right)$$

Donde “A” es el ancho del vehículo.



Para mayores explicaciones y justificaciones remitirse a *Introducción al Análisis de Deformaciones* de Alba López, Iglesia Pulla y Araguás Viñao, editado por la Universidad de Zaragoza.

Capítulo 37

Cálculo de velocidad aplicando cantidad de movimiento

Recordamos que la cantidad de movimiento es una magnitud vectorial que se indica como el producto de la masa "m" de un móvil, por su velocidad "V", tiene la dirección y sentido de la velocidad.

En el Libro IV veremos que en un sistema cerrado (en el que no actúan fuerzas exteriores) la cantidad de movimiento "Q" permanece constante, es decir que antes del choque y después del mismo la cantidad de movimiento es la misma. (Principio de la conservación de la cantidad de movimiento).

$$Q_i = Q_f$$

Donde

"Q_i" es la cantidad de movimiento antes del choque. Es la sumatoria del producto de la masa de cada móvil por su velocidad antes del choque.

$$M_1 \times V_{i1} + M_2 \times V_{i2} + \dots M_n \times V_{in} = Q_i$$

"Q_f" es la cantidad de movimiento después del choque. Es la sumatoria del producto de la masa de cada móvil por su velocidad después del choque.

$$M_1 \times V_{f1} + M_2 \times V_{f2} + \dots M_n \times V_{fn} = Q_f$$

Recordar que son magnitudes vectoriales.

La aplicación de este Principio nos permite solucionar algunos casos que, de otro modo, podrían ser insolubles.

Recordemos que un choque es un proceso que presenta al menos dos hitos o sucesos significativos: en un primer contacto (inicio del choque) en el que comienza la interacción de los móviles que se va profundizando hasta llegar a la máxima penetración. (segundo hito) y, eventualmente, separación de los móviles (de ocurrir, es el tercer hito).

Si bien la definición de choque implica un lapso de interacción de los móviles extremadamente corto, lo que no cumplen estrictamente los choques viales, podemos aplicar el principio de cantidad de movimiento si consideramos al choque ocurriendo en el instante de máxima penetración, o máximo engrane, con una duración infinitésima.

Veamos un ejemplo de cálculo.

Choque oblicuo en una intersección:

Se conocen las masas de los móviles (M₁ y M₂).

Sus posiciones finales.

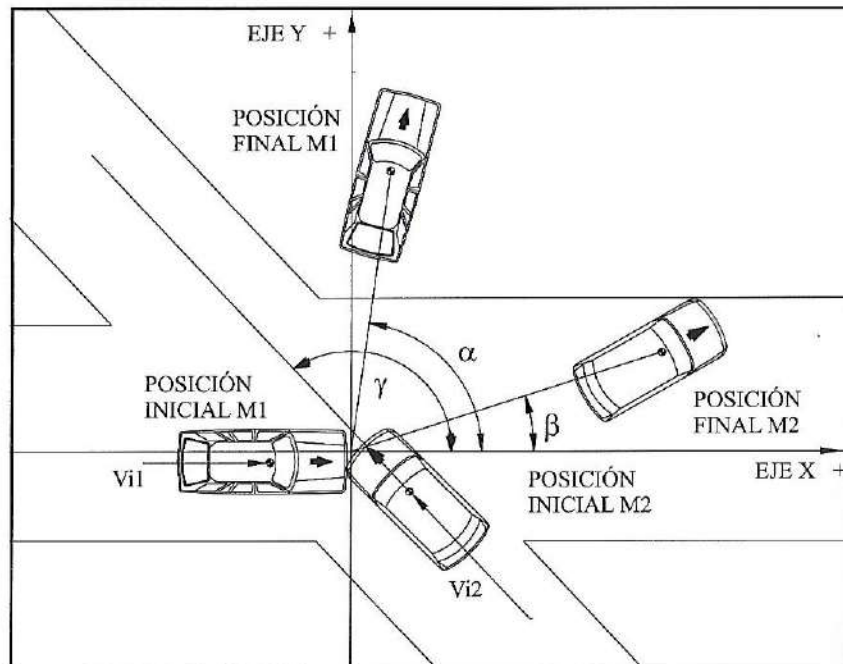
Sus direcciones finales.

Se adopta un sistema de ejes cartesianos, lo más práctico es ubicar su "cero" en el punto de impacto, y hacer que uno de los ejes coincida con la dirección de alguna de las direcciones previas. (Podría no ser así, pero se complicarían innecesariamente los cálculos).

Obviamente lo primero que hay que hacer es determinar el punto de impacto con la mayor precisión posible (ya hemos visto cómo hacerlo).

Hallado el punto de impacto y posicionados los ejes cartesianos habrá que determinar los ángulos de salida de la colisión (α y β) de cada móvil con respecto al (por ejemplo) Eje X.

Esto se hará con los indicios que hubiera, o, en su ausencia, trazando una recta desde el punto de colisión hasta el centro de gravedad de cada móvil, lo cual requiere que el sitio del accidente se haya relevado correctamente, de los modos que ya hemos visto.



Con las posiciones finales, y mediante la metodología energética que ya conocemos podemos hallar las velocidades de “salida” del choque de cada uno de los móviles “ $Vf1$ ” y “ $Vf2$ ” (no olvidar adjudicar a cada móvil la energía inherente al desplazamiento en su sentido de avance del otro móvil, salvo que hubiese evidencias de maniobras evasivas en ese sentido).

Multiplicando la velocidad de salida de cada uno por su masa obtenemos la cantidad de movimiento a la salida de cada uno.

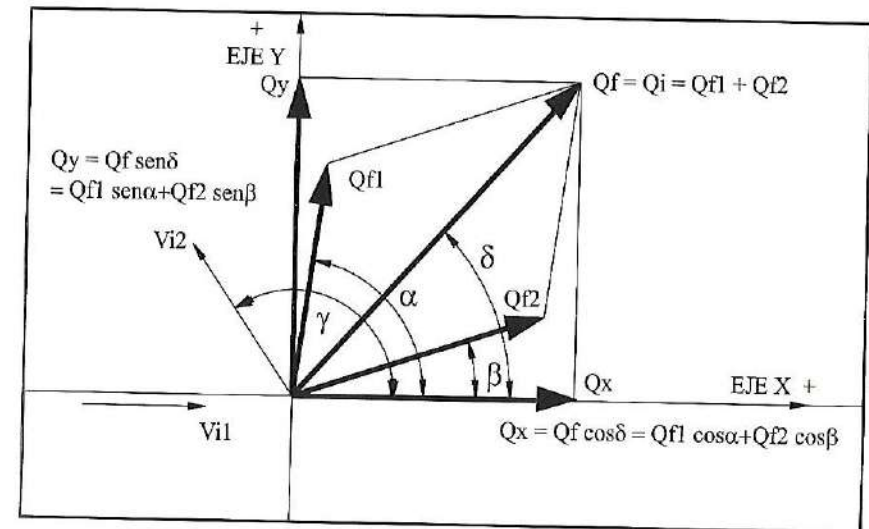
$$Qf1 = M1 \cdot Vf1$$

$$Qf2 = M2 \cdot Vf2$$

Para el cálculo no es necesario el paso siguiente, pero tal vez sí para su mejor comprensión y justificación.

La suma vectorial de $Q1f$ y $Q2f$ nos permite hallar la cantidad de movimiento final “ Qf ”, como se aprecia en el gráfico siguiente:

$$Q1f + Q2f = Qf$$



Por el principio de conservación de movimiento (en este caso lineal) resulta que “ Qf ” es igual a “ Qi ”, siendo ésta la cantidad de movimiento a la “entrada” al choque (instante infinitésimo previo al punto de máxima penetración).

Esto implica que las componentes según los ejes cartesianos será iguales, antes y después del choque.

Como dijéramos, no es imprescindible realizar la suma vectorial de las cantidades de movimiento finales, pero sí saber que tal cosa explica por qué la sumatoria de las componentes de las cantidades de movimiento finales en cada eje es igual a la suma de las componentes en cada eje de las iniciales.

Procedemos ahora a descomponer cada una de las Q finales en sus componentes, lo que nos permitirá sumarlas algebraicamente:

Según eje X:

$$Qf1x = Qf1 \cos \alpha$$

$$Qf2x = Qf2 \cos \beta$$

Según eje Y:

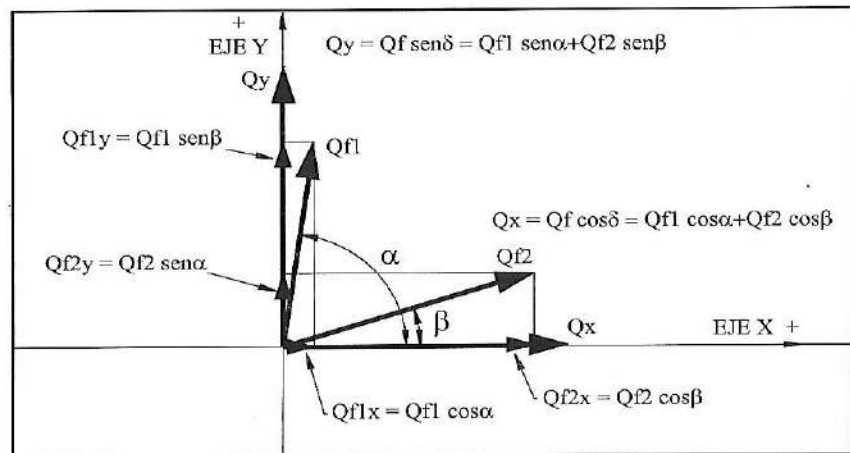
$$Qf1y = Qf1 \sin \alpha$$

$$Qf2y = Qf2 \sin \beta$$

De tal modo que podemos sumarlas algebraicamente:

$$Q_{fx} = Q_{f1x} + Q_{f2x}$$

$$Q_{fy} = Q_{f1y} + Q_{f2y}$$



Ya hemos demostrado que la sumatoria de las componentes en cada eje antes y después del choque son iguales, por lo que:

$$Q_{f1x} + Q_{f2x} = Q_{i1x} + Q_{i2x} \quad (1)$$

$$Q_{f1y} + Q_{f2y} = Q_{i1y} + Q_{i2y} \quad (2)$$

Es decir::

$$M1 \cdot V_{f1x} + M2 \cdot V_{f2x} = M1 \cdot V_{i1x} + M2 \cdot V_{i2x}$$

$$M1 \cdot V_{f1y} + M2 \cdot V_{f2y} = M1 \cdot V_{i1y} + M2 \cdot V_{i2y}$$

Siendo:

$$Q_{f1x} = Q_{f1} \cos \alpha = M1 \cdot V_{f1} \cdot \cos \alpha$$

$$Q_{f2x} = Q_{f2} \cos \beta = M2 \cdot V_{f2} \cdot \cos \beta$$

$$Q_{f1y} = Q_{f1} \sin \alpha = M1 \cdot V_{f1} \cdot \sin \alpha$$

$$Q_{f2y} = Q_{f2} \sin \beta = M2 \cdot V_{f2} \cdot \sin \beta$$

$$Q_{i1x} = Q_{i1} \cos \lambda = M1 \cdot V_{i1} \cos \lambda$$

$$Q_{i2x} = Q_{i2} \cos \gamma = M2 \cdot V_{i2} \cos \gamma$$

$$Q_{i1y} = Q_{i1} \sin \lambda = M1 \cdot V_{i1} \sin \lambda$$

$$Q_{i2y} = Q_{i2} \sin \gamma = M2 \cdot V_{i2} \sin \gamma$$

Es decir que, reemplazando estos valores en las ecuaciones (1) y (2) tenemos un sistema de dos ecuaciones con cuatro incógnitas (V_{i1x} ; V_{i1y} ; V_{i2x} ; V_{i2y}).

Como hemos tomado la dirección del eje X coincidente con la de V_1 , implica que " λ " es cero, con lo que " V_{i1y} " es también nula ($\sin 0 = 0$), con lo que reducimos las incógnitas a tres.

Si bien el sistema presenta infinitas soluciones ahora es posible obtener un conjunto de posibles soluciones, (pares de valores de las incógnitas) mediante el expediente de dar valores razonables a la velocidad de uno de los móviles (aquel cuya componente según algún eje no se anula).

Análogamente pueden obtenerse pares de valores que verifican la ecuación cuando el choque es colineal dando valores razonables a la velocidad de uno de los móviles.

Si el choque hubiese sido perpendicular (direcciones iniciales a 90°) se podrían reducir dos de las cuatro incógnitas, con lo cual el sistema tendría solución única pues toda la componente de cantidad de movimiento final según cada eje es igual a la cantidad de movimiento del rodado que se desplazaba según esa dirección.

Recordar que las velocidades iniciales así obtenidas lo son al instante infinitésimo previo a la máxima penetración.

Cuando se tenga una serie de pares de valores posibles, una forma de "arrimar" a los valores más probables es mediante la **Energía Equivalente**.

Siempre sabiendo, y alertando que el resultado obtenido no es necesariamente exacto y que sólo brinda una idea del orden de valor.

Se basa en comparar las deformaciones sufridas por el automóvil en análisis (de masa conocida "MA") con las deformaciones observables en los "Crash Test" o ensayos de colisión (de allí la fuente inicial de incertidumbre).

* Si se conocen la velocidad "VE" y la masa "ME" del ensayo de colisión, se puede determinar la energía insumida por las deformaciones del ensayo "EdE" como:

$$EdE = 0,5 ME \times VE^2$$

En caso de que las deformaciones sean idénticas o muy similares, esta energía será la misma en ambos casos, es decir $EdE = 0,5 MA \times VA^2$

Siendo VA la velocidad del auto, que suele ser nuestra incógnita.

Despejando

$$VA = (2. EdE/MA)^{0,5}.$$

Hoy en día, en la web es dable encontrar los ensayos de los autos que están a la venta.

Si se trata de un choque frontal, los ensayos buscan reproducir un impacto frontal, al 100% o con 40% de solape con un coche igual al ensayado, con lo que si las deformaciones coinciden, la velocidad de ensayo será la buscada.

Por el contrario, si en el accidente que analizamos los rodados no son el mismo modelo y con la misma cantidad de ocupantes (en realidad, la misma carga total), habrán de resolverse las ecuaciones anteriores.

Atención, si bien hay similitudes, en cada caso debe conseguirse certeza sobre las velocidades de ensayo.

Lo dicho también es válido para impactos traseros:

Por ejemplo si un camión de 40 tn (Mc) embiste a un automotor desde atrás, buscamos el ensayo de colisión trasera de ese automóvil y encontramos que fue realizado por una masa de 1800 Kg (ME) a 50 Km/h (VE), es decir:

$$EdE = 0,5 ME \times VE^2 = 0,5 \cdot 1800 \times 50^2.$$

Si las deformaciones del auto son muy similares:

$$EdE = 0,5 Mc \times Vc^2 = 0,5 \cdot 40000 \times Vc^2.$$

Con lo que:

$$Vc = (2 EdE/Mc)^{0,5} = 2 \cdot 0,5 \cdot 1800 \times 50^2 / 40000)^{0,5}.$$

En realidad este valor de Vc es la pérdida de velocidad que sufrió el camión embistente, debido a que parte de su energía ci-

nética se transformó en trabajo de deformación del automóvil (y propio).

Es la velocidad que habría tenido el camión si el auto hubiese estado detenido e inamovible, y al chocarlo, el camión finalizase también detenido.

Es decir que representa la diferencia de velocidades entre los móviles.

Dato éste que no permite acercarnos a cuál de los pares de valores que hemos determinado aplicando Cantidad de Movimiento es el más probable.

Capítulo 38

Las fuerzas directrices

Giro

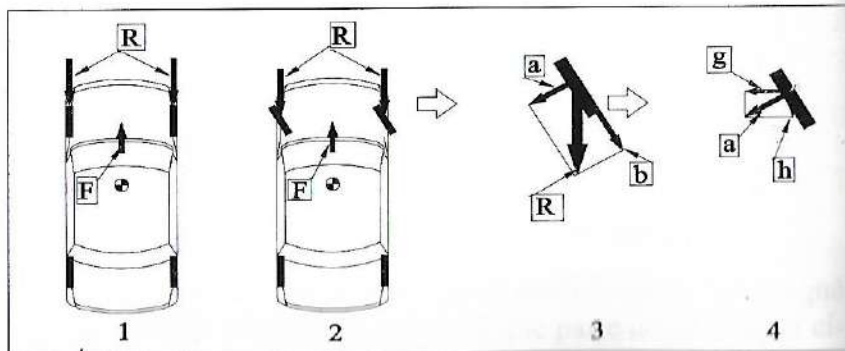
Trataremos de explicar de manera muy elemental y simplificada qué fuerzas hacen girar al rodado cuando se acciona la dirección.

Cuando un rodado avanza en línea recta aparecen fuerzas de rozamiento entre los neumáticos y el piso (representadas por "R" en el gráfico).

En cuanto se acciona la dirección (Gr. N° 2) "R" se descompone en una dirección paralela al neumático ("b") y otra, "a", perpendicular a éste (Gr. N° 3).

A su vez, la fuerza "a" tiene efectos en sentido de avance del rodado ("h" en Gr. N° 4) y perpendicular a éste, fuerza "g".

Esta fuerza "g" (no confundir con gravedad) es perpendicular al avance del móvil.



Por ser excéntrica (no pasa por el centro de gravedad del móvil) genera un par-momento que es lo que hace girar al rodado.

Vemos que la fuerza transversal "g" es mucho más pequeña que la resistencia "R" (longitudinal) que la origina, esto es útil para entender por qué en una frenada con bloqueo la dirección pierde eficacia y puede llegar a ser totalmente inoperante.

En la foto siguiente se puede ver cómo actúa la acción de los neumáticos (igual y contraria a "g"), aun en giros leves.

En este caso, por tratarse de un piso blando esa acción despierta parte del barro hacia el lado externo del giro.



Fuerzas sobre los neumáticos en frenado

En los gráficos siguientes se ha dibujado un círculo que representa el máximo rozamiento entre los neumáticos y el piso (círculo de Kamm).

Se aclara que, con el llamado "Círculo de Kamm", se grafica el lugar geométrico de las máximas resistencias al avance debidas al rozamiento neumáticos-piso en todas las direcciones.

A efectos didácticos se acepta que el coeficiente de rozamiento sea el mismo en todas direcciones, de allí la circularidad de la representación.

Con el mismo objetivo sólo se ha representado el fenómeno ante el frenado.

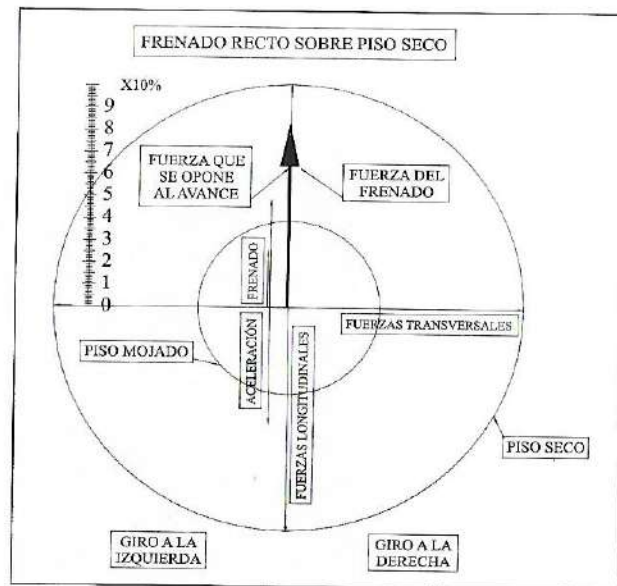
El centro de dicho círculo es el punto de contacto entre el piso y el neumático (o el centro de la "pisada" o "parche de contacto").

El movimiento original es, en este caso, hacia abajo, y se han dibujado las fuerzas que el piso aplica al neumático.

El círculo exterior representa el máximo rozamiento obtenible con piso seco, y el interior el correspondiente a piso mojado.

En el eje vertical se han graficado las fuerzas longitudinales (en dirección de avance) que aparecen al aplicarse los frenos, el horizontal corresponde a las fuerzas transversales.

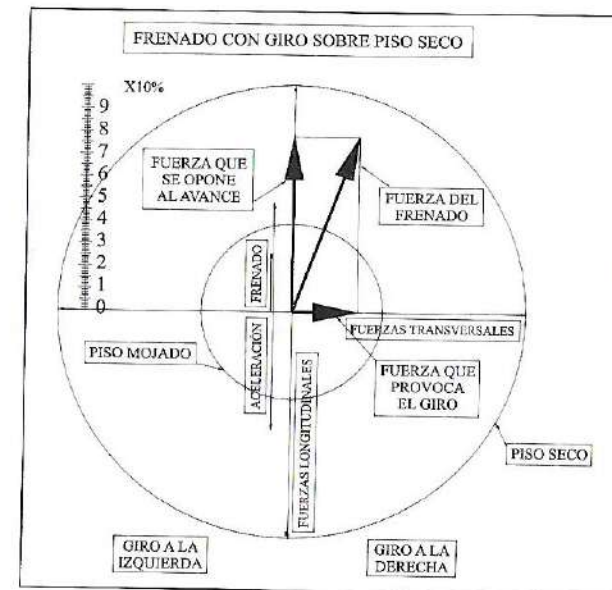
En el primer caso —frenada recta— observamos que la resistencia al avance que puede generar el rozamiento se aplica únicamente en desacelerar el movimiento. Tomemos 80% de intensidad.



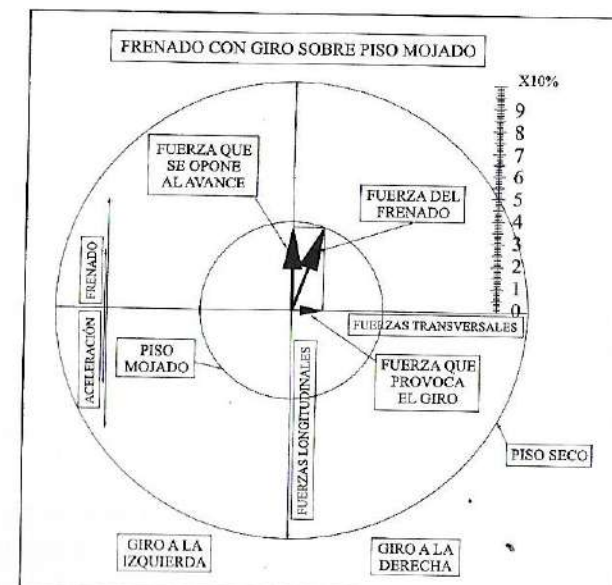
El segundo gráfico representa el fenómeno cuando, además de frenar, se imprime un giro al neumático.

En una frenada de la misma intensidad (80%) simultánea con un giro, la fuerza frenante se descompone en una dirección transversal y una longitudinal, siendo ésta la que reduce la velocidad, y la transversal la que provoca el giro del rodado, como ya hemos visto.

Nótese que la fuerza longitudinal (capacidad frenante efectiva) queda reducida, y que la fuerza transversal que induce el giro es mucho más pequeña.



En el tercer caso, giro sobre piso mojado, se aprecia que no sólo disminuye la capacidad de frenado, sino que virtualmente desaparece el efecto transversal, esto es lo que explica que,



en estas circunstancias, el sistema de dirección del rodado pierde efectividad, pudiendo darse el caso de que directamente el vehículo no responda al giro de la dirección y continúe su movimiento en la misma dirección que traía.



Este fenómeno es mucho más evidente en pisos con bajo coeficiente de rozamiento, por ejemplo, empedrado viejo mojado.

A tal punto se reduce la efectividad de la dirección, que en casos extremos, como piso con hielo, o en hidroplaneo, el efecto de ésta (movimiento de las ruedas directrices) puede llegar a anularse totalmente.

Cuando se intenta frenar al máximo y girar bruscamente puede ocurrir lo que se grafica a continuación.

Nótese en este gráfico que, en cualquier circunstancia, un giro demasiado cerrado, que implica la aparición de importantes fuerzas transversales, puede generar que la resultante de las fuerzas longitudinales y transversales exceda el límite de adherencia, con lo cual el vehículo se deslizará oblicuamente, pudiendo generar la pérdida de control del mismo (si bien ha sido dibujado para piso mojado, el criterio es válido para cualquier condición).

Capítulo 39

Estudio de la colisión

Decimos que hay un choque cuando dos o más objetos intentan ocupar el mismo lugar en el mismo instante, en un intervalo de tiempo muy pequeño.

Lo peor es que a veces lo logran.

Obviamente, para que esto ocurra, primero deben acercarse, lo que nos da idea de que al menos uno de ellos debe estar moviéndose, es decir tiene una cierta velocidad.

El choque en sí tiene una cierta duración que comienza en el instante en que entran en contacto las superficies de los objetos. Éste es el instante del **"Contacto Inicial"** o **"Primer Contacto"**, que es (como veremos) trascendental para definir físicamente cuál es embistente y cuál embestido.

Al entrar en contacto dos cuerpos en movimiento, cada uno ejerce una fuerza (llamada "Acción") sobre el otro, el que a su vez ejerce sobre el primero otra fuerza llamada "Reacción".

Según descubriera Don Issac Newton, la acción y la reacción son fuerzas iguales y de sentido contrario, lo que se conoce como Principio de Acción y Reacción o Tercera Ley de Newton de la Dinámica.

Al empezar a tocarse los cuerpos, comienzan a interactuar las fuerzas que se generan.

Como todos los cuerpos son deformables, aunque en distintos grados, comienza en este punto la interpenetración entre ellos, comienza el **"engrane"**.

Inicialmente estas fuerzas son infinitesimalmente pequeñas, pero van creciendo en intensidad hasta un punto llamado de **Máximo Contacto**, o de Máxima Penetración o de Máximo Engrane.

Luego, eventualmente los cuerpos se separan (debido, por ejemplo, a la elasticidad de sus materiales).

Sin mucha creatividad al sitio-instante en que los cuerpos se separan se lo llama de **Separación**.

Éstas son las tres fases de una colisión, aunque puede no existir la tercera, "**separación**", es decir puede ocurrir que los cuerpos no se separen.

Físicamente se define que tiene lugar un choque cuando una fuerza finita actúa durante un lapso muy pequeño, de manera que el producto de ambos sea una cantidad finita.

("Finita" en Física significa no infinita y no infinitesimal, es decir nada que ver con su delgadez o finura).

Durante un choque, el lapso de interacción de los cuerpos en colisión es el mismo para ambos (Δt), las fuerzas actuantes son iguales y contrarias, por lo que los respectivos impulsos (producto de la fuerza por la duración de su aplicación) son iguales y contrarios (ver Libro IV).

Es decir que las variaciones de las cantidades de movimiento son iguales y contrarias, lo que implica que la variación total de la cantidad de movimiento es nula, por consiguiente, siendo nula tal variación, las fuerzas de choque son internas al sistema, es decir, redundando, que **durante un choque no se modifica la cantidad de movimiento del sistema**.

Lo mismo ocurre cuando las fuerzas externas al sistema son insignificantes frente a las fuerzas de choque, o impulsivas. (Rozamiento del aire, por ejemplo).

Esto da origen a una clasificación de los choques, que es muy útil en accidentología.

Clasificación mecánica de los choques

Cuando durante un choque se conserva la energía cinética, se dice que es un **choque elástico**, por el contrario, cuando no

se conserva íntegramente, se dice que el choque es *inelástico*, o *anelástico*.

Cuando los cuerpos quedan unidos luego del choque, se dice que el mismo es **completamente inelástico, o plástico**.

Los choques reales son siempre inelásticos, aunque, bajo algunos supuestos, a veces pueden tratarse como elásticos, pero en general para accidentología considerarlos completamente inelásticos o plásticos es el mejor acercamiento a la realidad como ya veremos.

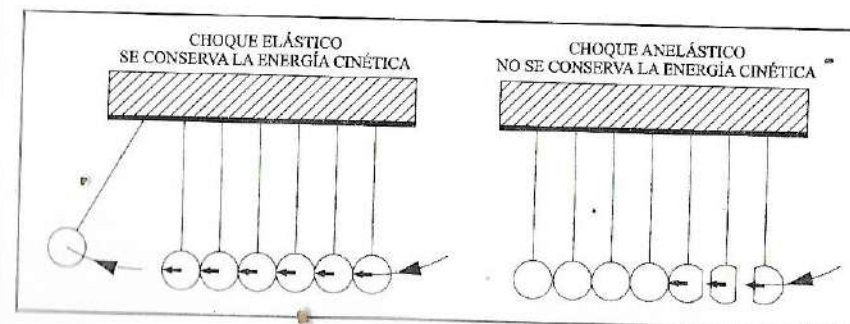
Suele ocurrir que los móviles queden separados luego de una colisión, usualmente debido a giros o a las direcciones previas, pero esto no invalida que en el instante de finalizar el máximo contacto los rodados hayan estado unidos.

En los choques perfectamente elásticos la energía cinética se conserva, el lector habrá visto esos adornos que constan de una serie de varias bolillas de acero alineadas y tocándose, en los cuales golpeando la bolita de un extremo se ve que la del otro extremo se mueve de la misma manera.

Por el contrario, imaginemos ese adorno hecho con bolillas de masilla deformable, es claro que al golpear la primera se deformará y que, tal vez, transmita parte del movimiento a la segunda, pero ya la cuarta se quedará inmóvil.

Esto ocurre porque en los choques imperfectamente elásticos, parte de la energía cinética se transforma en trabajo de deformación de los materiales.

Hay expresiones matemáticas que permiten calcular la energía cinética disipada (o, mejor dicho, insumida) por las deformaciones en los choques no totalmente elásticos.



En la realidad todos los choques son imperfectamente elásticos y/o imperfectamente plásticos.

La distinción rigurosa es que en los choques elásticos se conserva la energía cinética y en los plásticos, parte de ésta se transforma en otros tipos de energía, mediante deformaciones permanentes, ruidos, calentamientos, etcétera.

De esto se deriva otro concepto, también frecuentemente encontrado en informes accidentológicos.

Coefficiente de restitución

Se llama así a la relación de la diferencia de velocidades post impacto con la diferencia de velocidades pre-impacto de los móviles. Usualmente se lo representa como "K".

Así, cuando un choque es perfectamente elástico "K" equivale a 1. Se conserva la energía cinética, que es función de las velocidades.

Por el contrario, cuando un choque es plástico o perfectamente inelástico, "K" vale cero. Como los cuerpos quedan unidos sus velocidades son las mismas, en consecuencia su diferencia es nula.

Entonces el Coeficiente de Restitución puede variar entre cero y uno.

En los choques reales se está siempre mucho más cerca de lo plástico que de lo perfectamente elástico.

Hasta no hace mucho tiempo se aceptaba que el "K" para choques de autos oscilaba entre 0,1 y 0,2 (como se ve, cercano a cero, plástico).

Estudios más recientes sobre estructuras automotrices han comprobado que este coeficiente se modifica con la velocidad de impacto, siendo menor a medida que ésta aumenta.

Para velocidades de impacto muy bajas, hasta 10 km/h, es aceptable considerar $k = 0,20$, hasta 20 km/h, 0,10 es un valor aceptable de K, y por encima de este valor $K = 0,03$ brinda una muy buena aproximación.

Se puede demostrar que el valor de K es la relación entre la altura desde la que se deja caer un objeto sobre una superficie muy dura y rígida, y la altura a la que rebota dicho objeto.

Esto permite sencillas comprobaciones, que el lector puede realizar ante la duda.

Por ejemplo una pelota de fútbol bien inflada suele rebotar unos 70 cm si cae desde un metro, es decir que su coeficiente de restitución será 0,70.

También permite comprobar que "K" es inherente al sistema, ya que si la misma pelota se deja caer sobre barro, difícilmente rebote a más de 30 cm, es decir que "K" valdrá entonces 0,3.

Clasificación geométrica de los choques

Choques Frontales, Laterales, Traseros, Angulares

Frecuentemente suelen clasificarse o describirse choques en función de la zona del rodado en la que aparecen los daños, pero en realidad se está describiendo la dirección de la carga que provocó tal deformación.

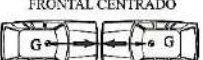
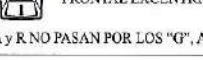
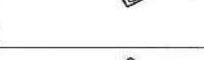
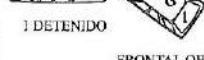
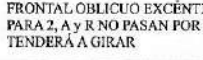
Así, cuando se habla de choque frontal entre dos rodados, se sobreentiende que al menos uno de los rodados incidió longitudinalmente con su frente sobre el frente del otro que estaba dispuesto paralelamente al inicial.

Pero ¿qué pasa respecto a un rodado que con su frente arrasa el frente de otro dispuesto transversalmente? Evidentemente es frontal para uno y lateral para el otro, y todavía no hemos descrito qué zonas específicas se afectaron y mucho menos cuál fue el punto de contacto inicial.

Lo mismo ocurre cuando un vehículo embiste la zona trasera de otro, ¿es choque frontal o trasero?, evidentemente depende de a qué rodado nos estemos refiriendo.

Es decir que para cada rodado un choque podrá ser Frontal, Lateral o Trasero, pero además, en cada caso, podrá ser Recto u Oblicuo en función de la dirección del impacto sobre la superficie chocada.

En el gráfico siguiente se muestra lo dicho:

TIPO DE CHOQUES A y R SON EL PAR DE ACCIÓN Y REACCIÓN, "G" EL CENTRO DE GRAVEDAD	
TRASERO POR ALCANCE 	TRASERO POR ALCANCE DESCENTRADO O EXCÉNTRICO 
CENTRADO ACCIÓN Y REACCIÓN PASAN POR AMBOS "G" 	ACCIÓN Y REACCIÓN NO PASAN POR LOS "G" AMBOS ROTARÁN 
FRONTAL CENTRADO 	FRONTAL EXCÉNTRICO 
LATERAL CENTRADO PARA 2 Y FRONTAL CENTRADO PARA 1 	ACCIÓN Y REACCIÓN NO PASAN POR AMBOS "G" 
ACCIÓN Y REACCIÓN NO PASAN POR AMBOS "G" 	FRONTAL EXCÉNTRICO PARA 1 
LATERAL EXCÉNTRICO PARA 2 	LATERAL OBLICUO CENTRADO PARA 2 A y R PASAN POR SU "G" 
FRONTAL EXCÉNTRICO PARA 1 	FRONTAL OBLICUO EXCÉNTRICO PARA 1, A y R NO PASAN POR SU "G" TENDERÁ A GIRAR 
LATERAL EXCÉNTRICO PARA 2 	TRASERO OBLICUO EXCÉNTRICO PARA 2 
FRONTAL OBLICUO EXCÉNTRICO PARA 1 	FRONTAL OBLICUO CENTRADO PARA 1 A y R PASAN POR SU "G" 
FRONTAL OBLICUO EXCÉNTRICO PARA 1, A y R NO PASAN POR SU "G" AMBOS TENDERÁN A GIRAR 	FRONTAL CENTRADO PARA 2 A y R PASAN POR SU "G" 
FRONTAL OBLICUO EXCÉNTRICO PARA 1 A y R NO PASAN POR SU "G" TENDERÁ A GIRAR 	FRONTAL OBLICUO EXCÉNTRICO PARA AMBOS A y R NO PASAN POR SU "G" AMBOS TENDERÁN A GIRAR 

Otra sistematización

A juicio del autor, la práctica de clasificar o describir los accidentes mediante las zonas dañadas de los móviles, aunque extendida, es muy poco feliz, ya que se presta a confusiones, requiriendo múltiples explicaciones y reiteraciones para obtenerse precisiones.

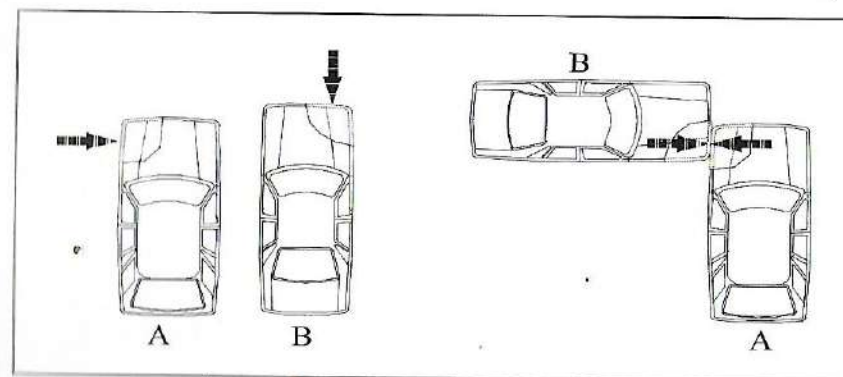
Es más útil referirse a las cargas que provocaron las deformaciones.

Como una carga —fuerza— se define por sus características:

- Dirección: Longitudinal —transversal— oblicua (especificando ángulo) vertical.
- Sentido: de adelante hacia atrás, o de atrás hacia adelante —de izquierda a derecha o de derecha a izquierda —de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba—, combinaciones para las oblicuas.
- Punto de aplicación: Zona del rodado donde se evidencia la zona del contacto inicial.

Aparece mucho más claro y preciso, y finalmente menos laborioso, explicitar de esta manera los esfuerzos a que fueron sometidas las estructuras de cada uno de los rodados.

Esta otra sistematización tiene la ventaja, además, de ser inmediata la conclusión sobre las posiciones relativas en el momento del impacto, alineando las rectas de acción de las fuerzas (direcciones), los sentidos (orientaciones de los rodados) y los puntos de aplicación de esas fuerzas (zonas de contacto inicial).



En el gráfico previo, "Tipos de Choques", además de la posición relativa del impacto respecto a la superficie, se muestra otra muy importante clasificación, basada en si éste tiene una dirección que pase o no por el centro de gravedad de cada vehículo (ver Libro IV).

En función de la geometría del choque se deberán plantear unos u otros sistemas de ecuaciones.

Si las direcciones de los movimientos en el choque pasan por los centros de gravedad [o masa] de los cuerpos, estaremos ante un **choque central** (o concéntrico, o centrado), caso contrario, ante un **choque excéntrico**.

En un choque centrado la resultante de las cargas que se le aplicaron a ese vehículo pasan por su centro de gravedad.

Por el contrario, si esta resultante no pasase por dicho centro, estaremos ante un choque excéntrico. (Esto obviamente no se refiere a que sea "raro" o tenga gustos peculiares).

Esta clasificación no surge por el mero hecho de complicar las cosas sino por sus consecuencias físicas.

Hay un principio físico, denominado Principio del Centro de Masa, del que se deriva el Principio del Centro de Gravedad que explica que el cuerpo se moverá como si todas las fuerzas se aplicasen en el centro de gravedad "G".

Si las fuerzas no pasan por "G" generan lo que se llama "Momento" o "Cupla" o "Par", que provoca que el cuerpo gire alrededor de un centro de giro, que, a veces, es el centro de gravedad.

Esta clasificación nos está diciendo si por efecto de la colisión el rodado girará alrededor de un centro de giro (Choque excéntrico) o no (Choque centrado), además de las traslaciones de su "G", debidas al impacto.

Analizaremos ahora distintas posibilidades de choque: Séan dos cuerpos de masas "M1" y "M2", y sus respectivas velocidades antes del choque "V1i" y "V2i".

Choque central

Choque perfectamente inelástico: los cuerpos (de masas M1 y M2 respectivamente permanecen unidos luego del choque, siendo entonces la masa final $M_f = M1 + M2$, y tendrán una velocidad final común (inmediatamente tras el choque) " V_f ".

Como la cantidad de movimiento del sistema "CM" es constante:

$$CM = CM1 + CM2 = M1 \cdot V1i + M2 \cdot V2i = M_f \cdot V_f = [M1 + M2] \cdot V_f$$

Siendo V_f la velocidad final de los cuerpos unidos, la que podemos despejar:

$$V_f = [M1 \cdot V1i + M2 \cdot V2i] / [M1 + M2] \quad (A1)$$

Recordar tomar las velocidades con su signo, pues se trata de magnitudes vectoriales.

Debe destacarse que en choques que no sean perfectamente elásticos, la energía cinética no se conserva.

La energía cinética disipada como calor y/o trabajo de deformación vale, para este caso:

$$\Delta EC = \frac{1}{2} \frac{(M_1 \cdot M_2) \cdot (V_1i - V_2i)^2}{M_1 + M_2} \quad (A)$$

Choque imperfectamente elástico (real): La mayoría de los choques reales entran en esta categoría, en los que parte de la energía cinética se transforma en calor o trabajo de deformación plástica.

Puede demostrarse que las velocidades finales de los móviles serán:

$$V1f = \{M1 \cdot V1i + M2 \cdot V2i - M2 \cdot [V1i - V2i] \cdot k\} / [M1 + M2] \quad (1)$$

$$V2f = \{M1 \cdot V1i + M2 \cdot V2i - M1 \cdot [V2i - V1i] \cdot k\} / [M1 + M2]$$

En donde "k" es la relación entre las velocidades relativas de los cuerpos antes y después del choque:

$$K = [V2f - V1f] / [V1i - V2i]$$

"k" es lo que se denomina **Coefficiente de Restitución**, y su valor "1" indica que se está ante un choque perfectamente elástico, mientras que cuando vale "cero" el choque es totalmente plástico.

Distintos experimentos han demostrado que para un mismo material, "k" varía con la velocidad de choque.

Para estructuras automotrices, la bibliografía internacional tomaba el valor de k entre 0,1 y 0,2, como vemos, son choques mucho más cercanos a lo plástico que a lo elástico perfecto; oportunamente ampliaremos esto, pero estudios recientes ubican el valor de "K" en el orden de $K = 0,03$ para velocidades de impacto superiores a 20 km/h.

En las investigaciones de accidentes es mucho más frecuente conocer las velocidades finales (generalmente a partir de ecuaciones energéticas y recorridos post impacto) que las velocidades iniciales, siendo usualmente éstas las buscadas.

Despejando la velocidad inicial de la ecuación (1) y reemplazando el valor de "k" obtenemos la siguiente ecuación:

Para colisiones con velocidades iniciales del mismo sentido (choque por alcance):

$$V1i = [V1f.(M1 + M2) + M2 (V2f - V1f) + M2 V2i] / M1$$

De la cual, conociendo $V2i$, se puede obtener la velocidad inicial de $V1$.

Aun en el caso de ser desconocida la velocidad inicial del móvil 2 ($V2i$) se pueden obtener pares de valores, que satisfacen la ecuación, mediante el expediente de dar valores razonables a $V2i$.

Nótese que no aparece explícitamente el coeficiente de restitución "K" (siempre desconocido), ocurre que está incluido en los reemplazos de valores.

Si bien se pueden obtener infinitos pares de valores, siempre se los puede acotar a un número escaso de pares, considerando las características del hecho (por ejemplo máximas velocidades alcanzables, ninguna velocidad post impacto puede ser superior a la máxima inicial, etc.).

Atención: esta ecuación es válida para choques de móviles con velocidades opuestas.

Cuando las velocidades de los móviles tienen sentido contrario (choque frontal), La ecuación correspondiente es:

$$V1i = [M2 (V1f - V2f) - V1f.(M1 + M2) - M2 V2i] / M1$$

Atención: no descuidar que se trata de ecuaciones vectoriales (considerar los signos).

La ventaja de este abordaje es que conlleva incluida la energía insumida por las deformaciones.

La *energía cinética* disipada como calor y/o trabajo de deformación vale:

$$\Delta EC = \frac{1}{2} \frac{(M_1.M_2).(V_{1i} - V_{2i})^2.(1 - K^2)}{M_1 + M_2} \quad (B)$$

Es muy interesante notar que, dando valores reales al coeficiente de restitución "k" (por ejemplo $K = 0,03$) en la ecuación anterior (B), a los efectos prácticos la misma se convierte en la ecuación (A), ya que $k^2 = 0,0009$, con lo que el término $(1 - K^2) = 0,9991$, muy próximo al valor 1.

Tal cosa nos indica que, en choques a velocidades de consideración, no se comete un error sustancial si se los considera como perfectamente plásticos, con lo cual es dable utilizar las mucho más sencillas ecuaciones correspondientes a choques plásticos.

Además permite resolver casos de colisiones con ángulos de incidencia distintos de cero y de 180 grados (siempre recordando que tanto la cantidad de movimiento como las velocidades son magnitudes vectoriales), pues, al menos durante los instantes de máximo contacto o penetración, los rodados permanecen unidos, instantes para los cuales es válido considerar que la velocidad del conjunto es la "Vf" de la ecuación (A1).

Con lo cual, conocida esta velocidad vinal (generalmente por ecuaciones energéticas desde la posición final), es posible calcular la velocidad previa al choque de uno de los rodados si se conoce la velocidad inicial del otro.

En el caso en que, como suele suceder, ambas velocidades iniciales sean desconocidas, se podrá hallar pares de valores de éstas que satisfagan la ecuación.

Luego, comparando la energía insumida por las deformaciones según ensayos de impacto (*crash test*) se podrá obtener la variación de velocidades por deformaciones en la colisión de las siguientes maneras:

- 1) Calculando la energía de deformación como se explicó en el capítulo correspondiente).
- 2) En un ensayo de impacto un rodado de masa M_1 produjo unas deformaciones equivalentes en un rodado análogo al de nuestro caso (M_2), insumiendo una energía equivalente "Ee" dada por

$$Ee = 0,5 M_1 V_i^2 \text{ (tras el impacto se asume quietud de } M_1)$$

Conocida "Ee" la variación de velocidad entre V_i de M_2 y V_f del conjunto responde a:

$$Ee = \frac{1}{2} M_2 (V_i^2 - V_f^2)$$

$$V_i = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{Ee}{M_2} + 0,5 V_f^2 \right)}$$

Recordar que las energías y resultados obtenidos tanto de los cálculos de deformaciones, como de analogías con los ensayos de impacto son poco confiables, por lo que estos valores no se podrán considerar como determinantes, sólo como aproximaciones indicativas.

Choque perfectamente elástico: Los cuerpos quedan separados luego del choque, con velocidades V_{1f} y V_{2f} , respectivamente. Puede demostrarse que estas velocidades serán:

$$V_{1f} = \frac{(M_1 - M_2) \cdot V_{1i} + 2 \cdot M_2 \cdot V_{2i}}{M_1 + M_2}$$

$$V_{2f} = \frac{(M_2 - M_1) \cdot V_{2i} + 2 \cdot M_1 \cdot V_{1i}}{M_1 + M_2}$$

Recordar que en este caso no hay variación de energía cinética.

Choque excéntrico

Debe plantearse para el movimiento rototraslatorio:

Cantidad de Movimiento para cada cuerpo antes y después del choque.

Momento de la Cantidad de Movimiento para cada cuerpo antes y después del choque.

$\Delta CM = 0$ (variación nula de la cantidad de movimiento en el choque).

$\Delta MCM = 0$ (Momento de la cantidad de movimiento nulo para el choque).

Recordando considerar los momentos de inercia de cada cuerpo con respecto a su eje de rotación, así como sus respectivas velocidades angulares con respecto a cada eje y distancias de cada cuerpo con respecto a su eje de rotación.

Es útil utilizar el concepto de "masa reducida": "m"

$$m = J / D$$

Reemplazándola por M en las ecuaciones de choque central, junto con:

$$V = D \cdot \omega$$

Lo que permite plantear ecuaciones análogas.

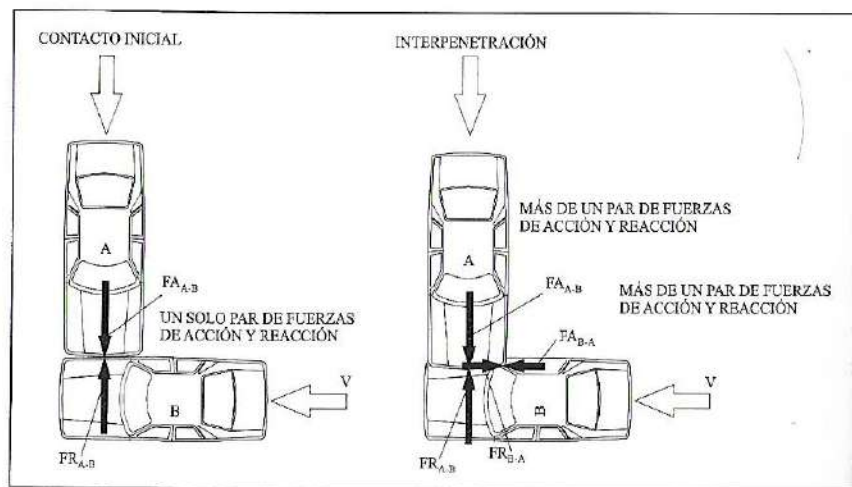
Cuando el choque ocurre en más de una dimensión, suele no bastar la cantidad de ecuaciones planteables, para obtener una solución única [recordar que, por ser ecuaciones de magnitudes vectoriales, cada una puede descomponerse en tres, según cada uno de los planos de referencia]; aunque a veces, en movimiento bidimensional, con sólo dos cuerpos, alcanza con plantear los ángulos de incidencia pre y post-impacto.

Interpretación de deformaciones

Ampliando lo dicho más arriba, en el instante del primer contacto entre los móviles, aparecen dos fuerzas, que, como mencionamos, son la fuerza de acción y la fuerza de reacción.

Estas fuerzas interactúan.

Veremos en el capítulo embestido-embistente que la fuerza de acción o activa es portada por el móvil embistente y la reacción o reactiva por el embestido.



Pero sucede que apenas se tocan los cuerpos, y por la aparición del par de fuerzas interactuantes, los cuerpos reales se deforman, interpenetrándose, inicialmente de forma infinitésima, pero aumentando con el tiempo hasta asumir enseguida un carácter finito.

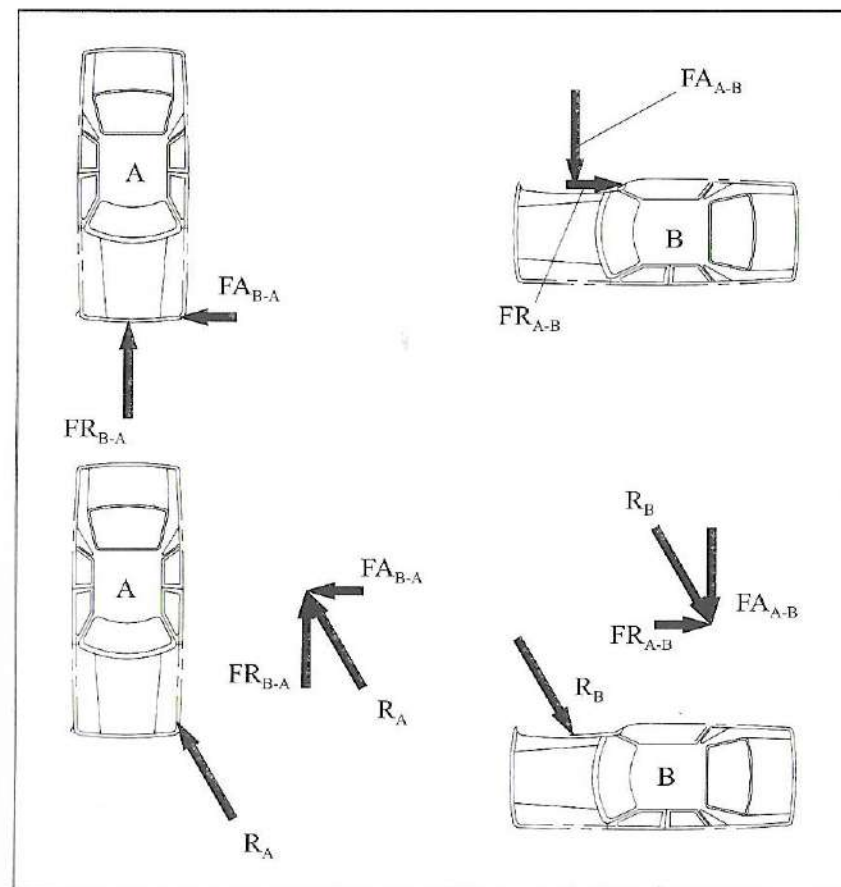
Así, debido a la penetración, hay zonas del cuerpo embestido que toman el carácter de activas apareciendo en cada instante nuevos pares de fuerzas activas y reactivas.

El fenómeno de aparición de nuevos pares de acción y reacción debido a la interpenetración de los cuerpos colisionantes complica la interpretación de los daños sufridos por los cuerpos.

En cuanto los cuerpos se deforman cada uno es afectado por la acción del otro sobre sí y por la reacción a la acción que éste efectúa sobre el otro.

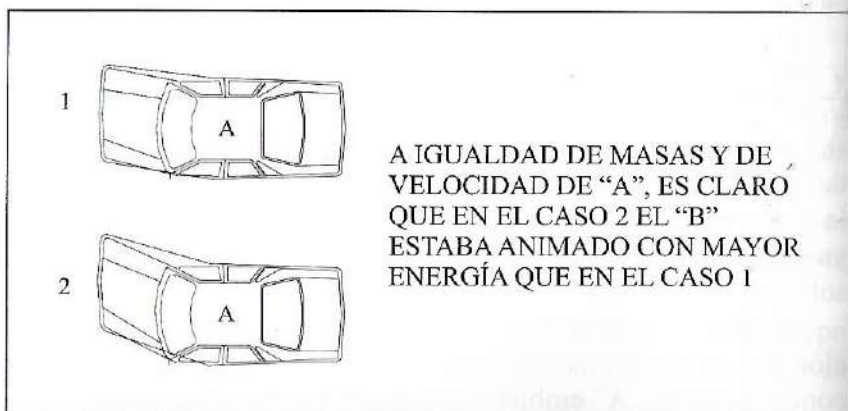
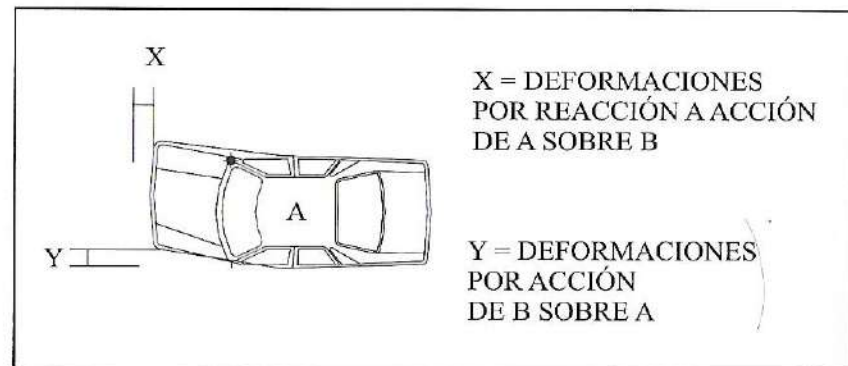
Es decir que, apenas ocurrido el contacto inicial, cada cuerpo es afectado por dos fuerzas, la reacción a su propia acción y la acción del otro cuerpo sobre él.

En realidad cada uno de estos pares de fuerzas es la resultante o suma vectorial de todas las fuerzas de acción de un cuerpo, y de sus reacciones.



Es sumamente importante considerar esta cuestión al intentar coleccionar las direcciones pre-impacto de los móviles a partir de la observación de los daños que éstos sufrieran, porque, olvidar, ya sea la reacción a la acción propia, o la acción del otro cuerpo sobre el analizado, puede llevar a considerables errores.

Como vemos en el gráfico, si olvidásemos considerar la acción del "B" sobre el "A", una vez interpenetrados, deberíamos concluir que el "A" embistió oblicuamente un objeto fijo.



Inclusive, en algunas configuraciones de impacto, la acción del embestido, que, repetimos, ocurre una vez interpenetrados los cuerpos, al deformar la estructura del embistente, da una idea cualitativa de su cantidad de movimiento (magnitud vectorial que es el producto escalar de la masa de un objeto por su velocidad, en alguna bibliografía es llamada "momentum", siguiendo la terminología norteamericana).

E/E

Como hemos dicho en el prólogo a la tercera edición de *Accidentología Vial y Pericia*, hemos constatado que existen demasiadas confusiones respecto de la adjudicación de los roles de embistente y embestido.

Si bien éstos son conceptos netamente físicos, tienen connotaciones jurídicas debido a ciertas presunciones jurisprudenciales, y hay quien entiende que, sin más consideraciones, embistente es sinónimo de responsable y/o culpable.

Reiteramos que en estas páginas nos referimos solamente a cuestiones físicas, independientemente de las implicancias y discusiones jurídicas que tales cuestiones pudieran suscitar.

Es decir, para nosotros "embistente" significa embistente "físico", sin ninguna sinonimia con "responsable" o "culpable" u otros juicios de valor jurídicos.

Además de las confusiones mencionadas, y relacionadas con estos temas, hemos encontrado con grados de difusión importante entre pseudo expertos, absurdas creencias, como la llamada "ley" o "efecto martillo" según el cual el móvil menos dañado sería el embistente y/o el que mayor velocidad desarrollaba.

También hemos visto, incluso se ha publicado, que la ubicación de los daños en los rodados determinaría su rol de embestido o de embistente.

Así, según su autor, si un rodado presenta daños en su frente, es, sin más, embistente, y si los daños los presenta en su lateral resulta ser embestido.

Si bien los daños sufridos por un rodado resultan valiosos indicios de lo ocurrido, no debe olvidarse que son consecuencia y no causa del accidente.

Entonces, limitar la definición de embistente a las consecuencias del embestimiento empieza por ser un error metodológico, y al igual que un reloj parado brinda la hora correcta dos veces por día, estos conceptos erróneos pueden coincidir con la realidad en determinadas circunstancias.

Según la teoría de la ubicación de los daños en los rodados, resultaría que es embistente un automóvil detenido (o una columna) que resultó dañado en su frente por el lateral de otro que incidió sobre él con movimiento transversal por estar derrapando. El derrapante resultaría ser embestido.

Esto es un absurdo físico, además de un agravio a la lógica, que puede tener nefastas consecuencias jurídicas dada la ya mencionada identidad en este campo que algunos adjudican entre embistente y responsable.

Absurdos como éste nos llevan a intentar sistematizar el tratamiento de la cuestión, así desde el punto de vista físico-mecánico:

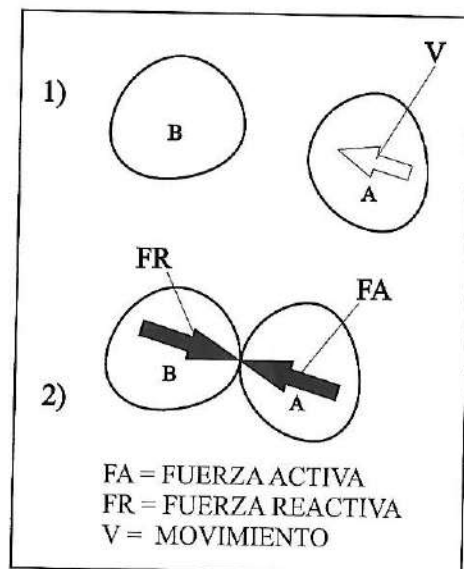
En una colisión entre dos cuerpos, embistente es el cuerpo portante de fuerza activa (acción) y embestido es el cuerpo que provee la fuerza reactiva (reacción).

Si bien estos conceptos son claros y hasta obvios para quienes están familiarizados con los principios de la dinámica, reconocemos que pueden resultar algo abstrusos para quien no lo esté, y como este libro pretende ser de utilidad a ambos (ver prólogo a la primera edición), trataremos de aclararlos.

Lamentablemente no hemos encontrado definiciones adecuadas sobre la fuerza activa en la bibliografía científica, probablemente por considerárselo una obviedad, pero habiendo com-

probado que, entre quienes investigan accidentes, tal obviedad es sólo aparente, intentaremos desarrollarla.

Cuando dos cuerpos entran en contacto uno con el otro, aparecen fuerzas en cada uno de ellos debido a la interacción mutua.



Ahora bien, para que un cuerpo empiece a actuar sobre otro debe existir una modificación de las condiciones previas, usualmente debe acercarse. (Hay otros modos pero escapan al interés accidentológico).

El cuerpo "A" que se acerca al cuerpo "B" hasta tomar contacto con éste, es el portante de la fuerza activa o acción.

En cuanto entran en contacto, "B" es afectado por la fuerza "acción" de "A", y

simultáneamente aparece en "B" la fuerza reactiva o de "reacción", la que a su vez afecta a "A".

Estas fuerzas son idénticas en magnitud, coinciden en dirección y tienen sentidos opuestos.

Hemos descripto el Principio de Acción y Reacción o Tercera Ley de Newton (ver capítulo Dinámica) que se enuncia: "A toda acción se le opone siempre una reacción igual en magnitud y dirección (recta de acción) pero de sentido contrario".

Esto demuestra la falacia del absurdo, aunque mentado, "efecto martillo", ya que, al chocar dos cuerpos, las fuerzas, aunque opuestas, son siempre idénticas en magnitud, por lo que la gravedad de los daños nada nos puede decir del carácter de embestido o embistente.

Lo explicado hasta ahora es una aproximación intuitiva, sería sencillo definir entonces al cuerpo portante de la fuerza activa o acción como aquel que se acerca al otro, pero, en función de la

relatividad del movimiento, en rigor no saldríamos de la incertidumbre.

Podríamos intentar explicar la relatividad del movimiento, y su dependencia de la posición del observador, pero los textos de mecánica y física abundan al respecto, y seguramente mucho mejor que lo que podríamos pergeñar nosotros, solamente recordaremos el cuento en el que un borracho que viajaba en tren proclamaba que para su regreso se iba a montar en un poste de telégrafo, porque los veía pasar hacia atrás muy rápido.

Es decir que para el observador ubicado en el tren (no necesariamente borracho), los que parecen moverse son los postes.

Recordemos que, hasta Copérnico, la humanidad entendía que el Sol giraba alrededor de la Tierra, inclusive, en nuestra habla cotidiana aún se refleja tal creencia (el Sol sale, se pone, etc.).

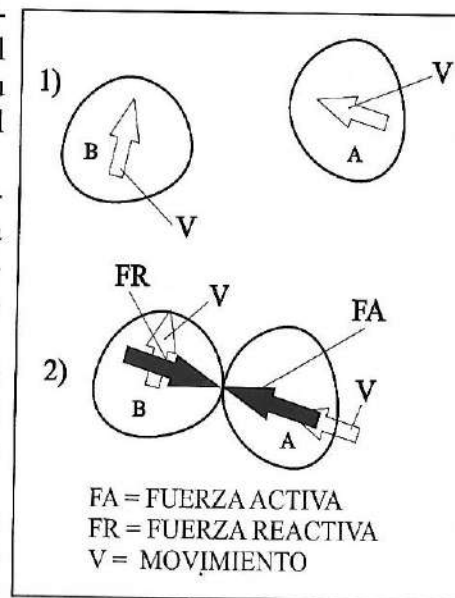
Además, aun desde el punto de vista de un observador ubicado en un punto fijo, cuando ambos cuerpos son móviles y tienen trayectorias convergentes, cada uno está acercándose al otro.

Al no poderse definir científicamente quien se acerca a quién para todo observador, no podemos definir al embistente en relación a su calidad de aproximación al embestido.

Por lo analizado podemos afirmar que la fuerza activa es inherente al movimiento de los cuerpos, pero no al movimiento relativo.

Nótese que en la frase anterior mencionamos fuerza y movimiento, es decir velocidad.

Así, podemos afinar más los conceptos, diciendo que cuando dos cuerpos entran en contacto, generándose el par de fuerzas de acción y reacción, el portante de la fuerza activa (embistente) es aquel cuya velocidad



o dirección del movimiento coincide en dirección con la recta de acción de las fuerzas de acción y reacción en el instante del primer contacto.

Aún esto no basta para redondear la definición, pues en caso de choques colineales, la incertidumbre subsiste, ya que ambas fuerzas, acción y reacción, coinciden en dirección con el movimiento.

Llegamos así a que:

Embistente (portante de la fuerza activa) es, entonces, el cuerpo, aquel cuyo movimiento, en el instante del primer contacto, coincide en dirección y sentido con la dirección y sentido de una de las fuerzas del par acción y reacción que se genera por el contacto con otro cuerpo.

La fuerza coincidente con el movimiento del cuerpo en dirección y sentido es la fuerza activa.

Científicamente esto está fundado en que la derivada de la cantidad de movimiento (magnitud vectorial que es el producto de la masa de un cuerpo por su velocidad) respecto del tiempo, es la masa por su aceleración, siendo la masa constante, por la segunda ley de Newton, resulta que dicha derivada es la fuerza que puede ejercer dicho cuerpo. Obviamente esta fuerza tendrá la misma dirección y sentido que la velocidad que la origina.

Nótese que, en la definición de embistente hemos condicionado el carácter de tal al “instante del primer contacto entre los cuerpos”.

Esto no es casual, sucede que apenas se tocan los cuerpos, por deformación de éstos, aparecen nuevas acciones y reacciones como vimos en el capítulo anterior.

El método de las dos películas

Más allá de las justificaciones y explicaciones más o menos precisas que desde lo técnico-científico ensayemos para establecer los roles de embestido y embistente, existen casos cuya con-

figuración convierte casi en inasibles las mismas para quien los analiza.

Para estas situaciones hace años hemos ideado una metodología de análisis mucho más intuitiva, que ha demostrado ser de utilidad para facilitar la adjudicación de los roles en cuestión, aun para quienes no son iniciados en los vericuetos de la cinemática y la dinámica.

El método de las dos películas (podríamos haberlo titulado mucho más pomposamente ¿no?) consiste en imaginar el movimiento de cada cuerpo como resultado de la proyección de una película cinematográfica independiente.

Ambas películas, proyectadas simultánea y sincrónicamente, mostrarían los instantes previos al accidente y la ocurrencia del mismo —lo que implica que tenemos definidos los movimientos de los móviles en el entorno del punto de impacto—.

Como las películas se proyectan en nuestra imaginación, tenemos la facultad de detenerlas y dejarlas correr independientemente en el momento en que queramos.

Así, proyectándose ambas películas sincrónicamente, las detenemos un instante infinitesimal antes del primer contacto entre los móviles, instante que podemos llamar “T”.

Ahora, “soltamos” la película correspondiente a uno de los móviles, manteniendo estática la del otro.

Observamos las consecuencias de esta soltura, y si comprobamos que el móvil que en este caso está en movimiento, “toca” al otro (fijo) en la zona y con la zona comprometidas en el accidente, podemos afirmar que este móvil fue embistente en el caso real.

Reproduciendo la experiencia imaginaria a partir de “T”, pero soltando al otro móvil y manteniendo detenida la película del primero que hemos soltado, verificamos si el segundo pasa sin tocar al que ahora está fijo, en cuyo caso habrá sido el embestido en el caso real.

Hemos puesto la restricción de que el móvil que hemos soltado “toque” al otro en la zona del mismo afectada por el contacto inicial y con su propia zona afectada por el contacto inicial, pues si el contacto se establece entre otras zonas de los móviles es-

taríamos ante otro accidente, distinto, que podría, tal vez, haber ocurrido de no haber ocurrido el que está en análisis.

Existe un caso particular en el que el método de las películas debe interpretarse por el opuesto, es el caso de embestimiento mutuo, o de dos coembistentes, que convergen oblicua o transversalmente.

En estos casos, al soltarse independientemente cada película, ambos móviles "pasan sin tocar al otro", como, en realidad, el contacto ocurrió, forzoso es concluir que ambos arriban al punto e instante de impacto simultáneamente, ambos son embistentes.

Esto nos permite definir la, muchas veces elusiva, situación de embestimiento mutuo como aquella en que, con el método de las dos películas, cualquiera sea el móvil que se "suelte" independientemente, ambos "tocan" al otro, o ambos "no lo tocan".

Recientemente nos hemos enterado de la existencia de un método que, por lo que entendimos, es similar éste, pero carecemos de información suficiente como para consignarlo.

Capítulo 41

Embistente virtual

Aunque extendida jurisprudencia denomina así a quien, por realizar una maniobra evasiva, se convierte de inminente embistente en embestido, no es el caso que trataremos.

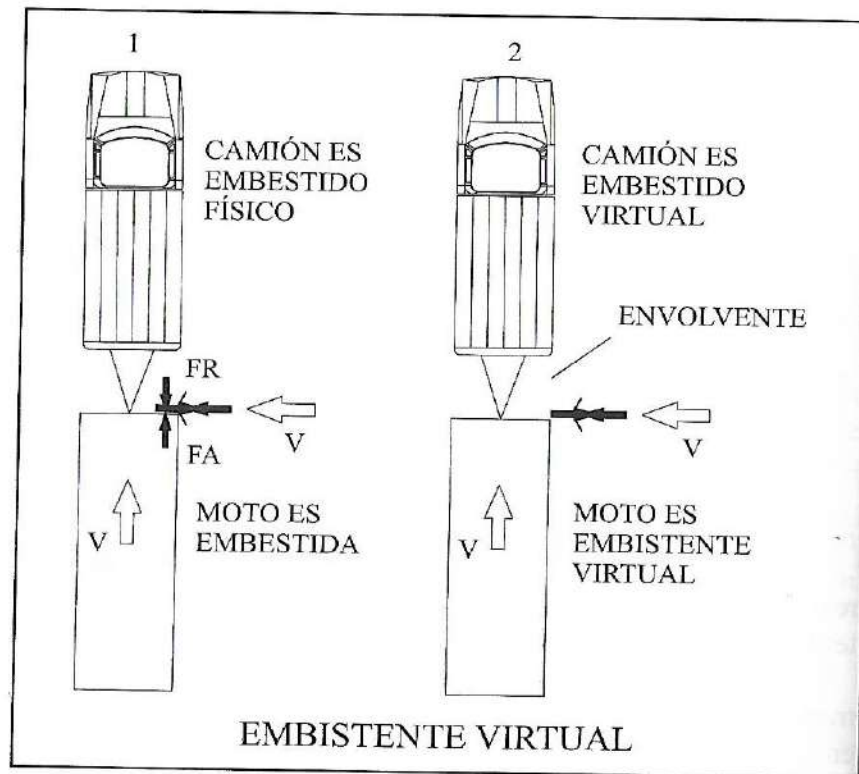
Existen casos en que la definición física de embistente contraría el criterio de protagonista activo, son los casos de intrusión en la envolvente:

Imaginemos un camión que arrastra un remolque por medio de una "lanza". Entre la parte trasera del tractor y la delantera del remolque queda un espacio que muchas veces supera el metro.

Aceptemos también que una moto que circula transversalmente al equipo tractor-acoplado, se introduce en el espacio habido entre ambos, y que, antes de tocar con su frente la lanza, es alcanzada por el frente del acoplado.

En este escenario, claramente el embistente físico es el rodado mayor, su movimiento coincide en dirección y sentido con la fuerza activa del primer contacto, porta la fuerza activa, sin embargo el camión es netamente pasivo en la producción del hecho.

Resulta claro en el ejemplo que ni no hubiese existido un "huecô" o zona vacía en la estructura del "todo" que forman el equipo tractor-acoplado, es decir si hubiese habido continuidad en esa estructura, la moto hubiese sido embistente del lateral de ese "todo".



De hecho este análisis permite calificar a la moto como embistente virtual del equipo tractor-remolque.

Si definimos como "envolvente" al cuerpo imaginario formado por las superficies frontal y trasera de la estructura, así como de su techo y por la prolongación de los planos laterales (geométricamente existen mejores y más precisas definiciones de "envolvente", pero son demasiado complejas para el alcance de este escrito), podemos decir que:

Embistente virtual es el cuerpo que se introduce en la envolvente de otro.

Es obvio que si la envolvente fuese material, en el ejemplo, estaríamos ante un caso que claramente cumpliría los requisitos de embistente físico, pues la dirección de su movimiento coincidiría en dirección y sentido con una de las fuerzas de acción y reacción que generaría su contacto con el "materializado" costado virtual.

Una vez reconstruido el accidente, es decir sabiendo **cómo** ocurrió, se puede realizar el análisis del mismo para determinar **por qué** ocurrió.

Los “porqués” pueden encadenarse hasta el infinito, pero a efectos de la accidentología aplicada al campo jurídico, se limitan al entorno témporo-espacial del accidente.

Para evitar caer en subjetividades y/o incursionar en el área de los jueces, en cuanto atribución de responsabilidades, hemos desarrollado un método de análisis basado en la *evitabilidad física del accidente*, por parte de los protagonistas.

Evitabilidad física del accidente

Con este concepto expresamos la posibilidad o imposibilidad reales habidas, de lograr evitar un accidente, que realmente ocurrió, mediante la modificación de los parámetros cinemáticos, en un entorno témporo-espacial del mismo.

Cómo vemos, es una evaluación técnica, y no conlleva juicios de valor o atribución de responsabilidades.

El método consiste en el estudio de las interrelaciones existentes entre los distintos “**puntos accidentológicos**”, el signifi-

cado físico de estas interrelaciones, y sus posibles vinculaciones con las variables involucradas en la producción del accidente.

Si bien los llamados puntos accidentológicos existen desde hace tiempo en la bibliografía internacional, así como el concepto de accidente evitable, creemos que es original el método sistemático de interrelación e interpretación, aquí presentado.

Previo a entrar en el desarrollo del método de análisis es conveniente hacer la distinción entre "RIESGO" de accidente y "PELIGRO" de accidente:

Así para el DRAE (Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua:

Riesgo es "Contingencia o proximidad de un daño".

Peligro es "Riesgo o contingencia inminente de que suceda algún mal".

Es decir, diferencia los conceptos por una cuestión temporal.

A los efectos de estas páginas, y con el mayor de los respetos, estas definiciones nos resultan insuficientes, por lo que planeamos otras que son sencillas y se adecuan a nuestras necesidades, al considerar los fenómenos dinámicamente.

Un "**riesgo**" o riesgosa es una situación que puede evolucionar para convertirse en peligrosa.

Las señales de prevención son avisos de riesgo.

Peatones circulando a la vera de la calzada definen un riesgo.

Análogamente, móviles circulando en trayectorias convergentes o cercanos, y cuando, circulando en sentido contrario uno de los móviles se desvía 30 cm en dirección al otro (tal movimiento es perceptible desde gran distancia).

También representan riesgo los cruces y/o empalmes de caminos o calles y los pasos a nivel ferroviarios, etcétera.

Un "**peligro**" o peligrosa es una situación tal que, de no modificarse lo suficiente alguno de los parámetros cinemáticos de los protagonistas, desembocará en un accidente.

Así, son peligros:

Trayectoria prevista obstruida.

Curva en el camino.

Peatones en la calzada.

Móviles con trayectorias convergentes en un punto-instante, cuyos parámetros no se modifiquen con el tiempo o lo hagan en el mismo sentido (rumbo de colisión), etcétera.

Es necesario también conocer los lapsos, que naturalmente afectan las respuestas de las personas y las máquinas, lo que trataremos en el capítulo siguiente.

Capítulo 43

**Tiempo de percepción
y reacción**

Una cuestión esencial en el análisis del accidente para determinar su evitabilidad o no, es la fijación del tiempo que insumió cada etapa del mismo y su comparación con los tiempos standards o normales, de modo de comprobar si existieron demoras debidas a los protagonistas.

Definimos al lapso que le insume a un conductor percibir y responder a una situación determinada, como “tiempo de percepción y reacción” (TPR).

El TPR está formado por dos tiempos consecutivos:

El que insume la percepción (Tiempo de Percepción —TP—)
y el lapso que insume la reacción (Tiempo de Reacción —TR—).

Componentes del TPR

Desde la aparición del estímulo hasta la respuesta del conductor transcurren una serie de etapas en el procesamiento de la información por parte de éste, las que es útil considerar.

Primera etapa: Detección (TP)

Su inicio coincide con el inicio del TPR, y así se considera cuando el objeto o situación de riesgo entra en el campo de percepción (generalmente campo visual) del sujeto.

Finaliza cuando el sujeto toma conciencia de que “algo” se ha presentado.

Ese “algo” puede estar algún tiempo en el campo de percepción antes de ser detectado. lo que origina una **demora en la percepción**.

La *duración* de la detección está determinada por una serie de factores, algunos inherentes al sujeto, como ser sus capacidades sensoriales, otros al objeto de la detección, como ser su conspicuidad, y otros circunstanciales como el grado de atención del conductor.

Esta primera etapa finaliza cuando el conductor mueve sus ojos de modo de focalizar en la zona central de sus retinas aquello que ha detectado.

Su duración media es del orden de 0,3 segs, y su finalización determina el fin del Tiempo de Percepción y el inicio del Tiempo de Reacción.

Segunda etapa: Identificación

Es el inicio del Tiempo de Reacción.

En este paso el sujeto obtiene suficiente información sobre el riesgo detectado como para poder hacer una evaluación del mismo.

No es necesario que la información sea completa sobre el objeto riesgoso, pero sí adecuada.

Por ejemplo, no es necesario saber si un peatón que se apres- ta a iniciar el cruce de la calle por donde se circula es hombre o mujer, pero sí es necesaria la estimación de sus velocidades y trayectorias probables, para poder optar por algún curso de acción.

Comienza esta etapa con la focalización visual del objeto y finaliza cuando se ha hecho acopio de la información suficiente como para valorizar el riesgo.

La *duración* de esta etapa está determinada también por la conspicuidad del riesgo, la capacidad sensorial del sujeto y condiciones circunstanciales como cansancio o estados de intoxicación que perturben el proceso mental de identificación, y por la habilidad que para esto brinda la experiencia.

Así algunos estudios han determinado que, si bien los adolescentes poseen respuestas neuromotoras más rápidas que personas maduras, se da el caso de que éstas suelen tener menores tiempos de percepción-reacción totales, ante situaciones reales de manejo, lo que es atribuido a menores lapsos en los procesos de identificación, de evaluación y de decisión.

En esta etapa pueden generarse también demoras y errores en la identificación, los que pueden llevar a provocar errores en la evaluación del riesgo.

Es el caso de quien se lanza a pasar a otro rodado en la ruta, porque cree que el rodado que ve a lo lejos va en su misma dirección, cuando en realidad se está acercando velozmente.

La duración de esta etapa es del orden de 0,3 segs.

Tercera etapa: Evaluación

A partir de la información obtenida y procesada durante la etapa de identificación, el conductor evalúa el riesgo reconociéndolo como tal, como peligro, o desechándolo.

Este proceso culmina cuando se ha llegado a alguna de las conclusiones precedentes, e insume un lapso que tiene las mismas influencias de la etapa anterior (algunos autores las unifican).

Los errores propios de la evaluación del riesgo son causa de no pocos accidentes, por ejemplo, no conceptualizar como riesgo una pelota que atraviesa la calle porque no se percibe a nadie sobre la vereda; el riesgo está en que, de entre autos estacionados, puede salir corriendo un chico, indetectable por su altura.

Otro error de evaluación puede producir la reacción **exagerada (over-reaction)**, que provoque o agrave un accidente.

Así, con frecuencia vemos que un accidente se produce o agrava por "clavar los frenos", en *stop panic*, cuando una frenada más suave hubiera sido más eficiente, como ya hemos visto.

Los errores debidos a ignorancia (como por ejemplo desconocimiento del significado de una señal) ocurren en esta etapa.

Duración aproximada: 0,5 segundos.

Cuarta etapa: Decisión

Esta etapa que, comienza cuando se ha concluido la evaluación y finaliza al iniciarse la respuesta, consiste en optar entre las siguientes alternativas:

- a) Cambiar la velocidad (frenar o acelerar).
- b) Cambiar la dirección (girar a izquierda o derecha).
- c) Cambiar velocidad y dirección.
- d) No modificar los parámetros de su movimiento.
- e) Secuencias de todos o algunos de los anteriores.

Se ha demostrado que el lapso que insume esta etapa es tanto mayor cuanto más opciones existan.

Las equivocaciones en la decisión suelen ser causa de accidentes fácilmente evitables, por ejemplo frenar bloqueando los neumáticos, y por lo tanto reducir la posibilidad de maniobrar cuando un leve giro y contragiro hubiese permitido evadir un obstáculo.

A veces, decidir requiere información suplementaria, como la que se obtiene de mirar los espejos retrovisores, lo que insume alrededor de 0,9 segs para el espejo interior y 0,75 segs para el espejo lateral exterior.

Duración aproximada: 0,50 a 1 segundo o más según la situación.

Quinta etapa: Respuesta

Se inicia cuando el centro motor del cerebro envía la orden de ejecución al grupo de músculos apropiado, y finaliza cuando estos músculos comienzan a ejecutar la orden, es decir cuando, o bien empieza a cambiar la presión sobre el pedal del acelerador, o los brazos inician el giro del volante de dirección.

Tiempo insumido aproximadamente: 0,2 segs.

Su finalización es la finalización del TPR y del TR.

Nota

Debe aclararse que la suma directa de la duración de cada etapa no necesariamente brinda un tiempo de percepción-reacción adecuado para todos los casos, ya que puede haber superposiciones o puentes de etapas, así como reducciones o incrementos en su duración.

Por ejemplo, si al alcanzar la cima de una loma encontrásemos el camino totalmente bloqueado, no habría opciones para la decisión, habría que frenar, además se reduciría en una décima de segundo, por lo menos, el período de identificación, por ser innecesario el movimiento ocular, dada la ubicación y magnitud del estímulo.

Tiempo de percepción y reacción total (TPRT)

El TPRT (Tiempo de Percepción y Reacción Total) es el lapso que, junto con el TRT (Tiempo de Reacción Total), en general deben considerarse en el proceso de reconstrucción y/o análisis de accidentes, y se obtiene de sumar al TPR (o al TR), el tiempo insumido, por lo que hemos llamado "*respuesta mecánica*" [TRM].

El TRM se inicia al finalizar el proceso de percepción y reacción humana, es decir cuando los músculos comienzan a ejecutar las órdenes enviadas por su sistema nervioso, y finaliza cuando el rodado empieza a responder a las acciones ejecutadas por el conductor.

Este tiempo de respuesta mecánica es imputable a distintos factores, básicamente a:

- Que todos los elementos mecánicos tienen ciertos huelgos, juegos o márgenes que deben ser superados para que la señal que deben transmitir pueda serlo.

- Típico es el caso del juego del volante de dirección.
- Que la transmisión de efectos mecánicos no es instantánea, así, desde que se empieza a disminuir la presión sobre el acelerador, hasta que el vehículo empieza a reducir su velocidad, transcurre un cierto tiempo imputable a la inercia de los mecanismos móviles, y a la elasticidad de los elementos que transmiten la orden, la que "amortigua" la señal extendiéndola en el tiempo.
- Que ciertas maniobras requieren desplazamientos de partes del cuerpo, como por ejemplo accionar la bocina o frenar (desplazar el pie del acelerador y frenar insume alrededor de 0,25 segs).

Este Tiempo de Reacción Mecánica, según los estudios, insume un lapso del orden del medio segundo, ya que, por ejemplo, desde que se comienza a apretar el freno hasta que se produce efecto sobre la velocidad del rodado transcurren unos 0,25 segs.

Capítulo 44

Fundamentos de los valores del tiempo de percepción y reacción

Como veremos en el capítulo de Puntos Accidentológicos, suele ser más útil manejarse con el TR (Tiempo de Reacción) o el TRT (Tiempo de Reacción Total) que con el TPR (Tiempo de Percepción y Reacción) o el TPRT (Tiempo de Percepción y Reacción Total).

Ante determinados estímulos el cuerpo humano reacciona en forma refleja, así, al lastimarnos una mano por tocar un objeto punzante, la retiramos antes de tomar conciencia de lo sucedido.

Esto ocurre porque el cuerpo reacciona cuando el estímulo doloroso, vía nervios sensoriales, llega a la médula espinal, desde donde se ordena retirar la mano a los músculos adecuados, y se transmite simultáneamente la información al cerebro, donde se concientiza.

El tiempo transcurrido entre el comienzo del dolor y el retiro de la mano es del orden de 0,1 segundos, que es lo que demora el sistema nervioso en transmitir el impulso desde el sitio del daño hasta la médula y desde ésta a los grupos musculares, estableciendo las sinapsis necesarias.

El Tiempo de Reacción es mucho mayor que el reflejo analizado arriba, no sólo porque la distancia a recorrer por el estímulo es mucho mayor, ya que debe llegar al cerebro y volver, sino porque la información debe ser procesada en éste, a diferencia

del reflejo, en el cual no se procesa la información sino que se reacciona automáticamente.

El autor ha realizado numerosas veces la siguiente experiencia sencilla, la que sugiere al lector.

Desc a una persona un cronógrafo de cualquier tipo (ampolleta o el que traen los teléfonos celulares por ejemplo), y pídale que cuando quiera lo dispare y que lo detenga lo antes que pueda.

Como es fácil comprender, en este caso no se insume tiempo ni en detección, ni en identificación, ni en evaluación, ni en decisión, tampoco hay un recorrido del dedo más allá de un par de milímetros, es decir que el tiempo que se insume es íntegramente imputable a la respuesta neuromotriz.

Los resultados demostrarán que pocas personas pueden detener el reloj en menos de 0,2 segundos (nunca más de unas centésimas), y eso estando atentas, preparadas, y conociendo de antemano qué y cómo van a hacerlo, con los músculos listos, y disponiendo cuándo hacerlo.

Experimentos similares, de detención de relojes, pero con inicio comandado por el experimentador (encendido de una luz por ejemplo), han dado resultados análogos, debido a que, si bien existe una incertidumbre sobre el momento del inicio, sólo es necesario que el cerebro transmita una única orden: apretar, mientras que en el caso anterior eran dos: soltar, apretar.

Cuando se introducen elementos de decisión el tiempo de respuesta crece grandemente, así requiriendo distintas respuestas a distintas señales se obtuvo que el TR aumenta a 0,35 segs cuando hay dos posibles respuestas.

Nótese que aún no entran en consideración ni detección, ni identificación, ni evaluación, ni recorrido.

Se sabe que estos elementos están influidos por la conspicuidad, es decir la "potencia" del estímulo, y por el grado de atención del conductor, elementos de muy difícil evaluación en ensayos, ya que siempre el sujeto del mismo está alertado sobre su naturaleza, y por lo tanto prevenido.

Se han intentado experiencias interesantes, cuando no graciosas, para tratar de reproducir condiciones reales de circulación, por ejemplo:

- Llevar al sujeto a una pista de pruebas para someterlo a una serie de pruebas manejando un automóvil, cumplirlas y darlas por terminadas, y en el camino de regreso a la base operativa, tras la cima de una loma, hacerle encontrar un obstáculo relativamente pequeño [15 por 91 cm] que lo obligue a discernir entre frenar o esquivarlo, tras evaluar la posibilidad de arrollarlo. Éste es el verdadero experimento, del cual se toman las mediciones.

Los resultados fueron que el 85 percentil del TPR estaba en el orden de 1,3 segs, y la media en un segundo.

Cabe aclarar aquí que el 85 percentil es un valor estadístico que tiene altísimas probabilidades de ocurrencia, es aquel en el cual el 85% del universo considerado se halla comprendido.

- Otros tests se han realizado con simuladores tipo videojuego, en los cuales el programa impone la aparición de un accidente inminente luego de un largo y apacible viaje simulado. Medidos los tiempos de reacción, se encontraron dos grupos, uno llamado de "reacción rápida", cuya media fue de 0,83 segs, y otro de "reacción lenta", con media en 1,13 segs.

Se ha cuestionado a este experimento porque el sujeto no percibe un riesgo "real", para sí u otros.

- Otro interesante experimento fue requerir la colaboración de conductores de paso circunstancial, solicitándoles que cuando oyesen un fuerte ruido en su trayecto apretasen inmediatamente el freno, de forma de encender sus luces de stop, la media de este experimento fue de 0,66 segs, y el 85% de los conductores reaccionó en un segundo o menos; pero lo interesante es que la misma prueba se llevó a cabo con conductores no advertidos, en el mismo lugar (el ruido era un estruendoso bocinazo), comprobándose que debido a la sorpresa el TRT se incrementaba en un 35%.

Es decir que un 35% más del tiempo hallado en el primer experimento refleja las condiciones reales de circulación, lo que lleva el valor medio a 0,89 segs y el 85 percentil a 1,35 segs.

- Otra prueba interesante por su acercamiento a la realidad fue realizada mediante dos vehículos, uno se colocaba precediendo al de un conductor cualquiera y el segundo siguiendo a éste. El experimentador del primer automóvil accionaba las luces de freno de su auto, y los ocupantes del tercero registraban el tiempo entre ese instante y el del encendido del stop del circunstancial y desprevenido examinado.

Los resultados de esta técnica fueron TRT medio 1,25 segs y 85 percentil 1,90 segundos.

Influencia del alcohol, otras drogas y factores

Ésta es apenas una enumeración de algunos resultados estadísticos, existiendo numerosa bibliografía especializada conviene remitirse a ella.

Sin embargo, mencionaremos que los resultados estadísticos deben tomarse con extrema precaución, dada la gran variabilidad de la susceptibilidad de las distintas personas a la influencia de distintas drogas.

Por ejemplo, todos conocemos personas que pueden ingerir mucho whisky sin afectarse, mientras que conocemos otras que se emborrachan con el sonido de un descorche. En general las mujeres metabolizan peor el alcohol que los hombres debido a la insuficiencia de algunas enzimas.

Estadísticamente los orientales se afectan más que los europeos ante la misma ingesta de alcohol (menor presencia de una enzima metabolizadora).

A mayor volumen corporal mayor tolerancia.

(Estos tres últimos ítems, hacen que para inescrupulosos y sin códigos, casanovas a la veleta sea relativamente sencillo embriagar a japonesitas flacas).

También influye la ingesta de alimentos y sus características.

No son poco importantes los factores psicológicos.

La diferente sensibilidad de las distintas personas ha hecho que la Suprema Corte de Estados Unidos no acepte los métodos cuantitativos (alcoholímetros, análisis de sangre u orina) como prueba de embriaguez. Sólo acepta diagnóstico clínico de médicos.

Alcohol

Es reconocida la influencia del alcohol en el tiempo de reacción, por lo que en este resumen sólo mencionaremos que con 0,1% BAC [*blood alcohol concentration*] el tiempo de reacción se encontró incrementado en promedio a 0,97 segs., cuando el mismo experimento a sujetos sin alcohol daba una media de 0,77 segs., es decir se incrementó TR en 26%.

Marihuana

Se ha encontrado que su efecto incrementa el Tiempo de Reacción, así, mientras en la misma prueba los sujetos a los que se les había administrado un placebo dieron una media de 1,08 segs., los que estaban bajo efecto de marihuana rindieron una media de 1,18 segs. (10% de incremento). También se encontró incremento en los errores de identificación, provocados por esta droga.

Otras drogas

El diazepam incrementa el Tiempo de Reacción en un 10%.
El medazepam en un 5%.

Dada la cantidad de drogas potencialmente incidentes en el Tiempo de reacción, y la variabilidad de sus efectos, en cada individuo, y según la concentración, detenemos aquí su enumeración, so riesgo de invadir demasiado áreas de la toxicología.

Influencia de la edad

Se ha encontrado que el TR se incrementa en general con la edad, con medias de un 20% mayor a los 68 años que a los 20, aunque los experimentos de intrusión sorpresiva para conductores desprevenidos, de Olson & Sivak, dan un TPRT menor en un 10% para el grupo de mayor edad que para el de jóvenes.

En posteriores ensayos de control, estando alertados, y sin factor de detección, identificación evaluación o decisión (frenar ante una luz que se encendía en el capot), el grupo de mayor edad obtuvo peores resultados que el de menores.

Lo que ha permitido inferir que, si bien con el aumento de la edad declinan las facultades neuromotoras, se incrementan las capacidades para detección, identificación, evaluación y decisión, tal vez debido a la experiencia.

Por lo dicho, el autor, hasta tener otras evidencias, considera inapropiado diferenciar el TR según la edad, a efectos de la reconstrucción de accidentes.

Influencia del sexo

Mal que les pese a las feministas los ensayos demuestran que las mujeres en general presentan reacciones más lentas que los hombres, aunque para su satisfacción tal diferencia es demasiado pequeña como para ser considerada (del orden de 0,08 segundos en promedio para el mismo estudio).

Influencia de la fatiga

Los ensayos de respuesta simple muestran variaciones leves y alternativas con la duración de manejo, pero hay evidencia de que el Tiempo de Reacción aumenta grandemente con períodos prolongados de viaje, lo que parece estar provocado más por la disminución de la atención y por ensoñaciones que por el Tiempo de Reacción en sí.

Capítulo 45

Cuantificación del TR —Tiempo de reacción—

Como hemos visto el TR está influido por muchos factores y circunstancias, por lo que el investigador deberá manejarse con mucho discernimiento al asignar un valor determinado.

Para facilitar esta tarea presentamos con la anterior salvedad la siguiente sinopsis:

Reacción refleja: TR: aprox. 0,1 seg - TRT: 0,60 segs

Obedece a razones instintivas e inconscientes.
Ocurre en situaciones de emergencia extrema.
Suele ser una reacción equivocada.

Reacción simple: TR: aprox. 0,5 segs - TRT: 1 segs

Obedece a respuestas planeadas, ante situaciones esperables, para las que se está entrenado por la experiencia.

Ocurre ante las circunstancias normales de manejo, no hay virtualmente identificación, evaluación ni decisión ya que es una respuesta casi automática.

Reacción compleja: TR: aprox. 1 seg - TRT: 1,50 segs

Es la utilizable en la mayoría de los accidentes.

Obedece a la selección de respuestas posibles habituales.

Ocurre ante situaciones inesperadas.

Están presentes todas las etapas de la percepción-reacción aunque pueden estar superpuestas.

Reacción discriminatoria: TR más de dos segundos

Obedece a la búsqueda de respuestas no habituales.

Ocurre cuando las respuestas habituales no son posibles, por ejemplo quedarse totalmente sin frenos, pudiendo darse el caso de tener que optar si se embiste a una u a otra persona, o elegir entre volcar o estrellarse.

Atención: Algunos estudios han encontrado diferencias en los tiempos de reacción entre la noche y el día.

En efecto, el TR nocturno incrementa el tiempo de reacción diurno en 0,3 segundos, y si hay vehículos circulando en sentido opuesto, en 0,5 segundos.

Intervalo entre maniobras consecutivas

En las reconstrucciones suele encontrarse evidencia de que previo al accidente el conductor realizó más de una maniobra evasiva, y puede ser de utilidad conocer que el intervalo standard entre dos maniobras consecutivas es del orden de 0,5 segundos, debido a que, si bien las etapas de detección e identificación pueden aceptarse en general como innecesarias, subsisten las de evaluación (en este caso del éxito probable de la maniobra previa), decisión y respuesta.

Al finalizar este capítulo creemos necesario remarcar la necesidad de establecer un TRT adecuado a cada circunstancia.

Capítulo 46

Puntos accidentológicos

Son entidades de referencia física, en las cuales ocurrió o pudo ocurrir algún hecho relacionado con el accidente o sus protagonistas.

Se definen por tres coordenadas espaciales y una temporal, aunque frecuentemente basta definirlos por una coordenada espacial sobre las trayectorias de los protagonistas y una temporal.

Punto clave o crítico

Generalmente es un sitio-instante donde ocurrió algún hecho trascendente del accidente, como por ejemplo un impacto, choque entre móviles, o embestimiento de peatones.

Existen también accidentes en los cuales no hay impactos, por ejemplo despistes, en cuyo caso determinar el punto clave puede ser muy variable, en el ejemplo dado algún investigador puede considerar que es el punto donde se salió de la carretera, mientras que otro, el punto donde se perdió el dominio del rodado, y un tercero, el punto en el que algo provocó la pérdida del dominio.

Es útil y recomendable situar el origen de coordenadas, tanto espaciales como de tiempo, en el punto físico-instante en que ocurrió el suceso crítico o clave.

Así, los puntos ubicados antes, física y/o temporalmente tendrán coordenadas negativas, mientras que los sucesos acaecidos luego tendrán coordenadas positivas.

Así, un punto de la trayectoria de un móvil previo al punto crítico tendrá como coordenadas, por ejemplo: -54 metros; -2 segundos.

Lo que significa que está situado 54 metros *antes* del punto crítico, y que el móvil pasó por allí 2 segundos *antes* de llegar a dicho punto.

Análogamente, si las coordenadas son 54 m; 2 s, significa que el punto en cuestión se halla 54 metros *después* del crítico, y que el móvil llegó a él *tras* dos segundos de pasar por el punto clave.

Punto de posible percepción (PPP)

Es aquel punto-instante de la trayectoria de un protagonista desde el cual es posible (para una persona sin impedimentos que la inhabiliten para conducir), "percibir" la existencia de un riesgo o peligro de accidente.

Si bien habitualmente la percepción se realiza a través de la vista, hablamos de "percibir" riesgo o peligro porque un conductor puede percatarse del mismo por otros medios, por ejemplo puede "oír" una sirena, o "sentir" la vibración de un convoy ferroviario, u "oler" el humo de un incipiente incendio, etcétera.

El PPP depende básicamente de las características ambientales, existencia o no de obstáculos a la visión, características de visibilidad, enmascaramiento de luces o ruidos por otras luces o sonidos, topografía, etcétera.

El punto de posible percepción coincide con el inicio del Tiempo de Percepción y Reacción del protagonista.

Punto de posible detección (PPD)

Es el sitio-instante en el cual el protagonista ya podría haber completado la detección del riesgo o peligro, es decir podría haber tomado conciencia de que "algo" se ha presentado.

Se ubica en la trayectoria del protagonista de que se trate, unos 0,3 segs después del PPP.

Es el inicio de la medición de la "Demora en la Percepción".

Punto de percepción efectiva (PPE)

Es aquel punto de la trayectoria de un protagonista en el cual efectivamente se percata de que "algo" ocurre.

Es frecuente que el riesgo aparezca en el campo de percepción de, por ejemplo, un conductor antes de que éste se dé cuenta de tal circunstancia.

Esto ocurre por varias razones, desatención del conductor y/o escasa conspicuidad del riesgo son las principales.

El Punto de Percepción Efectiva coincide con el fin de la etapa de *Detección*, la primera de las que componen el TPR (tiempo de percepción y reacción) y con el inicio de la etapa de *Identificación*, es decir el inicio del TR (tiempo de reacción).

Demora y distancia de percepción

El tiempo que transcurre desde el Punto de Posible Percepción hasta el Punto de Percepción Efectiva se denomina **Demora en la Percepción o Tiempo de Percepción**.

Es decir que es el lapso que media entre que el riesgo o peligro fueron percibibles y el instante en que efectivamente fueron percibidos.

Como vemos, la demora en la percepción incluye la etapa de "Detección", del Tiempo de Percepción y Reacción.

Esta demora puede ser nula en el caso en que ambos puntos PPP y PPE coincidan.

Cuando la demora abarca solamente el lapso necesario para la detección se dice que existe **Pronta Percepción**, es decir cuando el Punto de Percepción Efectiva (punto de percepción efectiva) precede o coincide con el PPD (Punto de Posible Detección).

Para lo cual la demora habrá de ser menor o igual a 0,3 segundos.

Cuando excede este valor se denomina **Percepción Tardía, o Excesivamente Demorada**.

Si encontramos que en un accidente evitable, pero ocurrido, un protagonista percibió el riesgo-peligro después de tres décimas de segundo desde que éste fuera percible, podremos asegurar que esta demora fue, cuando menos, concausa del accidente.

La distancia que separa al PPP del PPE es la llamada "**distancia de percepción**", es el tramo recorrido desde que el riesgo se hizo percible hasta que efectivamente fue percibido.

Punto de respuesta (PDR)

Luego de la detección subsiguen cuatro etapas del TPR:

"IDENTIFICACIÓN", "EVALUACIÓN", "DECISIÓN" y "RESPUESTA".

Al finalizar la de "respuesta", el protagonista está iniciando los movimientos tendientes a lograr una acción evasiva.

Es decir, entonces, que el Punto de Respuesta es aquel en que finalizan los Tiempos de Percepción y Reacción y Tiempo de Reacción humanos.

Este punto es útil a la hora de determinar si lo que falló para que se produjera el accidente fue el factor humano o el mecánico:

Así, si encontramos que para cuando el protagonista ha completado su Tiempo de Reacción TR (es el Punto de Respuesta) sin que se produjeran demoras, y que tanto su evaluación del riesgo como la maniobra intentada fueron adecuadas, así como correcta la ejecución de ésta, podremos asegurar que, si el accidente era evitable físicamente, la falla fue del elemento mecánico.

Punto de posible comienzo de acción evasiva (PCAE)

Desde el fin de la etapa de la respuesta y hasta el posible comienzo de la variación de los parámetros que definen el mo-

vimiento, transcurre un lapso, que hemos denominado TRM (Tiempo de Respuesta Mecánica), que incluye las demoras por movimientos de miembros, y por inercia y/o huelgos de elementos mecánicos.

Se denomina **Punto de Posible Comienzo de Acción Evasiva (PCAE)** al sitio-instante en el cual un móvil podría comenzar a variar sus parámetros cinemáticos o intentar hacerlo con los del riesgo (frenar, acelerar, girar, tocar bocina, etc.).

El PCAE ocurre cuando finaliza el TPRT (Tiempo de Percepción-Reacción Total), es decir cuando finaliza el lapso comprendido por la suma del TPR (Tiempo de Percepción-Reacción Humano) más el TRM (Tiempo de Respuesta Mecánica).

Debe aclararse que el sitio-instante donde finaliza el TPRT coincide con el de finalización del TRT (Tiempo de Reacción Total suma del Tiempo de Reacción humano más el Tiempo de Respuesta Mecánica).

Porque, si bien son distintos, el TR es la parte del TPR que considera sólo la reacción humana y se empieza a medir a partir de la percepción efectiva, mientras que el TPR se inicia en el Punto de Posible Percepción.

Es útil la diferenciación, pues así, en el análisis podremos utilizar el TR, que no está influido por eventuales distracciones y determinar la demora en la percepción para poder evaluarla.

Punto de comienzo de acción evasiva (CAE)

Se denomina **Comienzo de Acción Evasiva (CAE)** al sitio-instante en el cual un móvil comienza a variar efectivamente sus parámetros cinemáticos o intentar hacerlo con los del riesgo (frenar, acelerar, girar, tocar bocina, etc.).

El Comienzo de la Acción Evasiva suele poder determinarse físicamente, por ejemplo un poco antes (0,2 segs) de donde comienzan las huellas de frenado incipientes (*shadow marks*), o 0,3 segundos antes de donde comienzan las huellas de frenado nítidas, o donde el móvil empieza a cambiar su trayectoria, etcétera.

También puede calcularse a partir de la posición final, considerando la distancia de frenado como se indicó en el capítulo respectivo, o retrotrayendo la trayectoria previa al accidente hasta su intersección con la trayectoria prevista, usando los radios de curvatura compatibles con el desvío, si lo hubo.

La relación entre el Posible Comienzo de la Acción Evasiva y el Comienzo de la Acción Evasiva brinda una medida de las demoras habidas durante el tiempo de percepción y reacción total del protagonista considerado.

Acción evasiva (AE)

Es toda acción realizada por un protagonista en la inminencia de un accidente, cuyo fin es evitarlo o minimizar sus consecuencias.

Consiste en la modificación de alguno o algunos de los parámetros cinemáticos propios, o intentar modificar los del riesgo o peligro.

Los parámetros modificables son: velocidad; dirección y aceleración.

Punto de impacto (PDI)

Impacto ocurre cuando interactúan fuerzas entre dos cuerpos en un muy pequeño intervalo de tiempo.

Punto de impacto es el sitio-instante en el que ocurre un impacto.

Siempre que existe un choque existe un impacto, y como ya hemos visto en el capítulo de Micro-ubicación, cada choque en sí presenta una sucesión de fenómenos, cuyos hitos son, como ya hemos dicho:

Contacto inicial, es el instante-sitio en el que comienzan a interactuar físicamente los cuerpos, es decir es aquel donde y cuando las fuerzas de interacción comienzan a ser distintas de cero.

Máximo contacto, es el instante-sitio en el cual las fuerzas interactuantes alcanzan su máximo valor, coincide con la máxima interpenetración de los cuerpos.

Último contacto, o punto de desenganche es aquel punto en el cual las fuerzas de interacción vuelven a tomar valor nulo; es decir cuando los cuerpos se separan, dejan de estar en contacto.

Hay ocasiones en que esto no ocurre, cuando luego del impacto los cuerpos quedan unidos.

Muy habitualmente se toma el punto de impacto como punto clave, y se le asigna el origen de coordenadas; pero como hemos visto que el impacto en sí presenta diferentes fases con diferentes efectos, se plantea la duda sobre cuál de ellas debe considerarse "Punto de Impacto".

En primera instancia aparece razonable aceptar como Punto de Impacto al Punto de Contacto Inicial, pero aparece la objeción de que, al ser infinitésimas por definición las fuerzas actuantes en este instante, las mismas no bastan para provocar efectos apreciables, y mucho menos provocar daños que puedan dejar huellas útiles para su determinación.

Para que en un choque se produzcan efectos útiles para la determinación de su ubicación, las fuerzas interactuantes deben alcanzar un valor tal que supere el límite de rotura del material en algunos sitios.

Esto ocurre obviamente luego del contacto inicial, pero muy poco tiempo después (centésimas de segundo), por lo que, en general, el error que se comete por considerar al contacto inicial como punto de impacto, PDI, está muy por debajo del admisible.

Frecuentemente en un accidente ocurren múltiples impactos, cada uno de ellos presenta por lo menos los dos primeros hitos mencionados, aunque generalmente se considera al primer impacto como PDI, esto depende del caso.

Punto de posición final (PF)

Es aquel sitio-instante de la trayectoria post-accidente, de cada protagonista, donde su situación dinámica se estabiliza, es decir donde las consecuencias inmediatas del accidente ya han ocurrido.

Si bien generalmente tal punto significa la detención o reposo de los protagonistas, no necesariamente es así.

Sea el caso de un embestimiento de peatón con fuga del rodado, el cual no se detiene en las inmediaciones. En estos casos la posición final será aquella en la cual el conductor recupera el dominio de su móvil.

Éste, como algunos otros de los puntos accidentológicos, han sido tratados también en la parte de *Reconstrucción*, aquí volvemos a mencionarlos, dada su importancia también para el *Análisis*.

Es útil volcar estos puntos en un croquis, o mejor aún, en un esquema del camino para su mejor interpretación.

dards, y maniobras adecuadas, ejecutadas correctamente en un elemento mecánico sin fallas.

Dicho de otro modo, hasta llegar al PSS, cualquier persona habilitada para conducir, que perciba el riesgo, tendría posibilidad de evitar el accidente.

A partir del PSS ninguna persona normal puede evitarlo.

De todas las maniobras evasivas posibles, a los efectos de determinar el Punto Sin Solución, el autor entiende que deben descartarse todas aquellas que impliquen certeza de daños o lesiones al protagonista que las ejecute (por ejemplo chocar contra una pared para evitar el riesgo inicial), o aquellas que impliquen habilidades especiales (como provocar un derrape controlado para forzar un giro a un radio menor que el crítico).

Para determinar el Punto Sin Solución deben calcularse los lapsos y/o distancias que insumen las maniobras óptimas, a lo que deberán agregárseles los tiempos y distancias insumidos por el Tiempo de Percepción y Reacción Total standard.

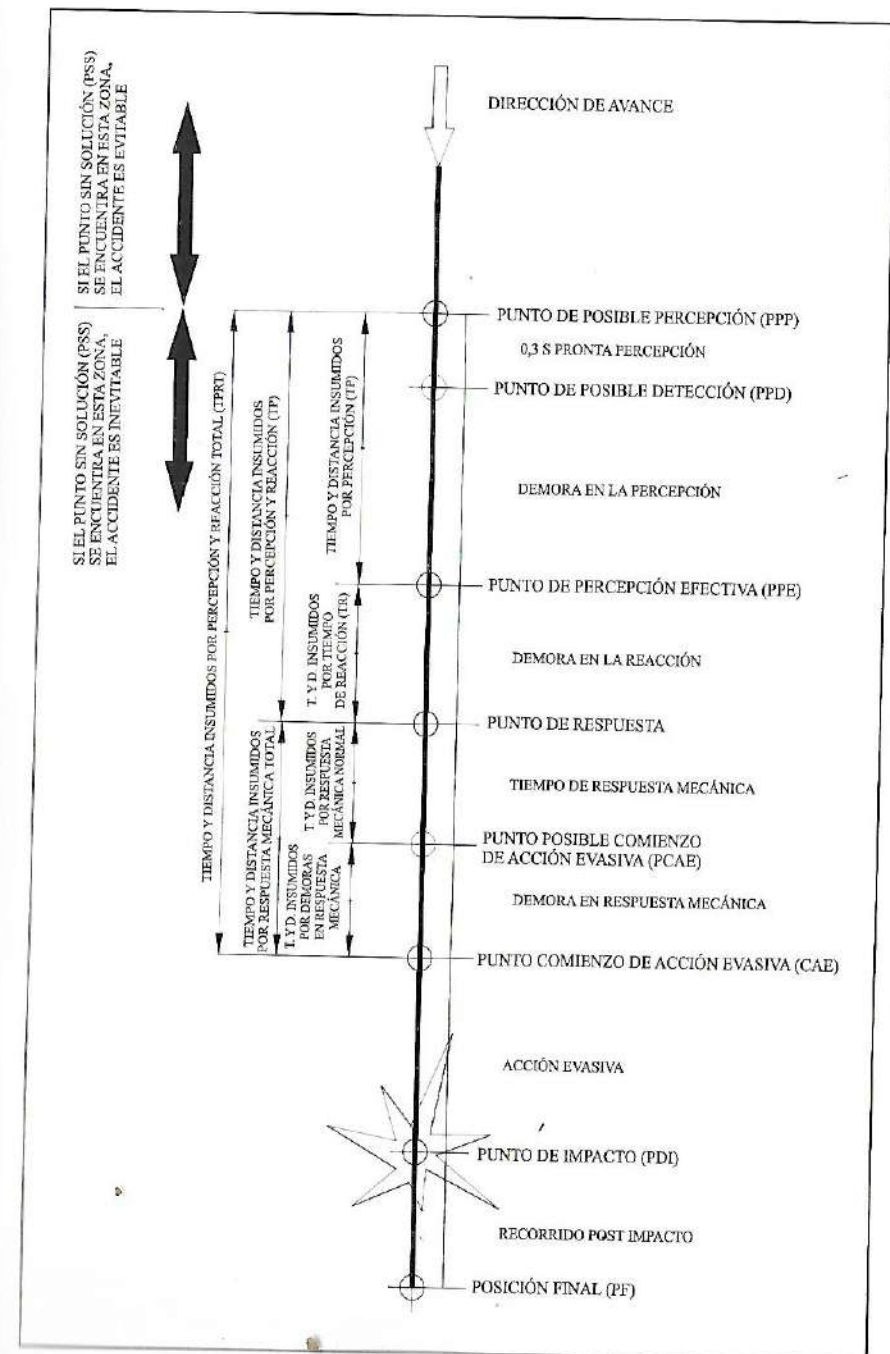
La distancia, y el intervalo temporal así obtenido, debe llevarse hacia atrás del punto de impacto, es decir contrario a la dirección previa del protagonista de que se trate.

Ésta será la ubicación del Punto Sin Solución.

Es muy sencilla la interpretación si en un esquema como el del capítulo anterior se grafica el punto sin solución, pues queda claro qué puntos precedieron a cuáles, en términos cronológicos y de desplazamiento de cada protagonista.

La comparación entre las posiciones relativas del Punto de Posible Percepción y el Punto Sin Solución nos determina la *Evitabilidad Física del Accidente*, así:

Si en la dirección del movimiento previo al accidente, del protagonista en cuestión, encontramos que **el Punto Sin Solución precede al Punto de Posible Percepción**, estamos en presencia de un accidente que le es físicamente inevitable, ya que ninguna acción realizada por este protagonista podría haber impedido el hecho nefasto, a lo sumo pudo, tal vez, disminuir sus consecuencias.



Por el contrario, si en las mismas circunstancias *el Punto de Posible Percepción precede al Punto Sin Solución*, estamos ante un accidente físicamente evitable para el, ya que existían posibilidades de ejecutar correctamente y a tiempo la o las manio-
bras adecuadas para que el accidente no se produjera.

Es dable ver que el método permite determinar objetivamente si un accidente ocurrido fue inevitable o no para cada uno de sus protagonistas, y establecer las causas inmediatas del mismo, a tal punto que sería factible realizar un programa de computación que lo hiciera. En eso estamos.

Capítulo 48

Causas funcionales del accidente

Como ya hemos esbozado, la interrelación entre los puntos accidentológicos de Posible Percepción (PPP) y Sin Solución (PSS) nos permite la primera gran discriminación sobre si el accidente acaecido era evitable o no, en su entorno de ocurrencia, desde el punto de vista físico.

La interrelación entre y con los restantes Puntos Accidentológicos permite echar luz sobre las causas inmediatas del accidente, así:

Errores y demoras en la percepción

Si el Punto de Percepción Efectiva (PPE) es posterior (sobre la trayectoria del protagonista analizado) al Punto de Posible Detección (PPD), podremos asegurar que la demora en la percepción fue, cuando menos, concausa del accidente.

Causas

Las demoras en la percepción normalmente son causadas por desatención o distracción del protagonista (mirar el velocímetro insume unos 0,8 segs), aunque pueden estar motivadas por diferentes problemas fisiológicos tales como:

- Defectos visuales, miopía, astigmatismo, estrechez del campo visual, falta de visión de un ojo, propensión al encandilamiento, pérdida de visión nocturna, etcétera.
- Defectos auditivos como sordera total o a alguna frecuencia.
- Otro elemento que incide en la demora o provoca errores en la percepción es la *conspicuidad* del riesgo, es decir su cualidad de hacerse visible o sobresalir.

Es obvio que es mucho más conspicuo un objeto amarillo que uno gris, en horas del amanecer, sobre una ruta gris; o, en las mismas condiciones, un automóvil gris con sus luces encendidas que apagadas. **(Éste es uno de los motivos de la recomendación de circular siempre con las luces medias encendidas).**

En la conspicuidad influyen muchos elementos, iluminación color y textura del riesgo y del escenario, tamaño, etcétera.

Es posible que un riesgo, si bien visible, aparezca enmascarado o camuflado en el escenario en que se presenta, no denotando su condición.

Por lo dicho conviene que el analista del accidente, para evitar indeterminaciones, tenga muy en cuenta este elemento al fijar el Punto de Posible Percepción, haciéndolo ante el elemento real, y no fijándolo teóricamente, de este modo puede eliminarse el factor conspicuidad como agente de demora en la percepción.

No son poco frecuentes demoras en esta etapa y en todas las siguientes debidas a fatiga, somnolencia, o efectos de psicotrópicos.

Errores y demoras en la reacción

Si el lapso (y la distancia que conlleva) entre el Punto de Posible Percepción y el Punto De Respuesta (PDR) es superior al Tiempo de Reacción, estaremos en presencia de un retardo en la reacción, concausa, al menos, del accidente.

Recordemos que las etapas de la Reacción Humana son:

IDENTIFICACIÓN

EVALUACIÓN

DECISIÓN

RESPUESTA

En cualquiera de ellas pueden ocasionarse demoras y/o errores, los que pueden concatenarse.

Muchas veces, en una ruta, se duda durante un tiempo si el automóvil que se divisa a lo lejos viene o va, lo que provoca demora en el Tiempo de Reacción, imputable a la etapa de identificación; si se estima que se aleja, cuando en realidad se acerca, se comete error en esta etapa.

Durante la "evaluación" se decide si lo que se ha detectado e identificado constituye o no un riesgo, y su grado o posibilidad de convertirse en peligro, ponderando sus posibles conductas.

Obviamente, considerar que no es un riesgo un peatón que se dispone a cruzar la calle por la que circulamos, es un error de evaluación, y permanecer dudando sobre si lo es, provoca demora o retardo.

La ignorancia puede ser asimilable a un error de evaluación, siendo el ejemplo más inmediato el desconocer el significado de una señal; imaginemos a alguien que no conozca el código de las luces de semáforos, como la mayoría de nosotros ignoramos las señales marinerías.

Algunas patologías como el daltonismo provocan errores de evaluación.

La etapa de "decisión" insume un tiempo, tanto mayor cuanto más compleja o desconocida sea la situación planteada por lo que ya se ha detectado, identificado y evaluado.

Naturalmente, la decisión puede ser errónea, por ejemplo, se decide tocar bocina en vez de detenerse y puede demorarse en exceso.

Generalmente las demoras en la decisión se deben a inexperiencia ante la situación o ante el arte de conducir.

Finalmente el cerebro ordena hacer lo que se ha decidido durante la etapa de respuesta.

Aquí pueden aparecer demoras o errores, todos imputables a cuestiones fisiológicas: dolores o claudicación de miembros, que impidan realizar prestamente lo ordenado por el cerebro; falta de control o coordinación neuromotora.

Debe notarse que sólo excepcionalmente podrán fijarse los sitios-instantes donde comienzan y terminan las etapas de la reacción humana, además, como ya se dijo, pueden superponerse, por lo que, si se comprueban demoras en la reacción, generalmente no podrá especificarse a cuál de ellas se debe.

En cambio, con cierta frecuencia es posible detectar errores atribuibles a alguna o algunas de las etapas de la reacción.

Errores y demoras en la respuesta mecánica

El tiempo y/o la distancia transcurridos desde el fin del Tiempo de Reacción (TR), hasta el Comienzo de Acción Evasiva (CAE), es lo insumido por la Respuesta Mecánica TRM.

Durante este lapso pueden ocurrir demoras y/o fallas.

Cuando comprobemos que el Tiempo de Respuesta Mecánica resultó demasiado largo, sabremos que esta fue, por lo menos, una de las causas del accidente.

Los seres humanos podemos cometer errores y demoras dentro de esta etapa:

Apretar equivocadamente un pedal, mover los miembros demasiado lentamente, ausencia del vigor necesario para realizar alguna maniobra; paralizarse por el pánico, etcétera.

Los elementos mecánicos pueden fallar o actuar retardadamente, así:

Los sistemas del acelerador pueden trabarse, y continuar acelerando cuando se suelta el pedal.

El freno mal reglado puede demorar el inicio del frenado.

Por diversas fallas del sistema pueden no actuar los frenos.

El volante de dirección puede tener demasiado recorrido neutro (juego) antes de accionar efectivamente el sistema de dirección.

Etcétera.

Debe recordarse que al fin de la Respuesta Mecánica concluyen tanto el Tiempo de Reacción Total (TRT) como el Tiempo de

Percepción Reacción Total (TPRT), por lo que si no se han podido discriminar puntos intermedios, se podrá, por lo menos, encontrar si ha habido demoras globales, ya sea en el TRT como en el TPRT, con lo que, si hubo demora, quedará abierto el abanico de posibles causas o concausas del accidente sin poder determinarse cuál o cuáles han sido más operativas.

Aun así, en muchos casos es frecuente detectar errores imputables a alguna de las etapas, aun sin poder ubicar a éstas físicamente.

Entonces, como vimos, si el Punto Sin Solución es posterior, en la trayectoria del protagonista analizado que su Punto de Posible Percepción para cualquiera sea la maniobra que se considere, estamos en un caso claro de lo que en accidentología se denomina ACCIDENTE FÍSICAMENTE EVITABLE para ese protagonista.

Como el accidente, siendo evitable, lamentablemente ocurrió, esto se debe a alguna o algunas de las siguientes **causas posibles** para ese protagonista:

- a) Excesiva demora en la percepción.
- b) Incorrecta evaluación del riesgo.
- c) Equivocada elección de la maniobra evasiva.
- d) Errónea ejecución de la maniobra evasiva.
- e) Falla en la respuesta del elemento mecánico.
- f) Mayor velocidad que la considerada.
- g) Aunque raramente surge palmariamente como causal de accidentes, no ha de perderse de vista que los más recientes estudios demuestran que el camino, su estado, diseño, gestión o construcción son frecuentemente, al menos, concausa de los accidentes, como hemos visto en el capítulo correspondiente.

Es frecuente que, mediante un adecuado análisis, si se dispone de elementos suficientes, se puedan restringir las opciones anteriores, e inclusive determinar una única (aunque raramente un accidente se debe a una causa única).

Debemos resaltar la necesidad de hacer el análisis para todos y cada uno de los protagonistas, so pena de llegar sólo a una parte de los hechos.

Tampoco debe perderse de vista que, si ninguna de las posibles causas "a" a "f" es claramente determinante, la causa ha de hallarse en el camino, que casi siempre es al menos con causa y en caso contrario deberá revisarse si la falla no pudo ser inducida por éste.

Atención

Este listado se refiere a causas inmediatas o funcionales, lo que de ninguna manera significa jerarquizarlas por encima de las causas mediatas o latentes, como pueden ser vías inseguras (único carril por mano, diseño antiguo, trazado intolerante a errores, etc.), ambiente inconveniente (nocturnidad, niebla, lluvia, etc.) o fallas en la máquina (ausencia de luces encendidas, etc.), o fallas en diseño, gestión de tránsito y de seguridad, de control, etcétera.

Capítulo 49

Minorización de consecuencias, evaluación

Ya hemos dicho que cuando aparece un riesgo luego de haber sobrepasado un protagonista su punto sin solución, el accidente se torna inevitable para este protagonista.

Ahora bien, que el accidente haya sido inevitable no significa necesariamente que la magnitud de sus consecuencias (daños y/o lesiones) no pudiesen disminuirse.

Por lo que, análogamente al accidente físicamente evitable, en cada caso habrá que analizar el Tiempo de Percepción o Detección, para saber si Ésta fue o no tardía; el Tiempo de Reacción, para determinar si la reacción no fue retardada; el tiempo y distancia de respuesta mecánica, para conocer si la misma no fue demasiado larga, por defectos mecánicos y/o neuromotrices del protagonista; la maniobra evasiva, para saber si fue la adecuada, es decir la que minimizó las consecuencias y si fue correctamente ejecutada (con qué grado de perfección fue realizada).

Por ejemplo: el accidente podría haber tenido menores consecuencias si:

- Hubiera habido menor demora en la percepción y/o
- El Tiempo de Reacción hubiese sido menor y/o
- Hubiese habido menor juego en el volante de dirección, y/o
- Hubiese habido menor recorrido neutro en el pedal de freno

- El conductor hubiese movido más rápido sus miembros y/o
- Se hubiese girado en vez de frenar y/o
- Se hubiese modulado el freno en vez de bloquear las ruedas.

Para poder llegar a estas conclusiones es necesario recurrir a la "Evaluación de Maniobras".

Evaluación de maniobras

En ambos tipos de accidente es posible evaluar la maniobra evasiva intentada —la ausencia de maniobra evasiva debe ser considerada a estos fines como maniobra voluntaria—, para lo cual nos valdremos del análisis del Área de Maniobras Posibles y su relación con las maniobras realizadas.

Área teórica de maniobras posibles

Como ya hemos dicho, un accidente es físicamente una coincidencia témporo-espacial de dos cuerpos o móviles.

Cada móvil tiene asociados los parámetros cinemáticos variables en cada instante: posición, dirección, velocidad y aceleración.

Es factible, en cada caso, determinar la posible ubicación de cada móvil en el instante del impacto si las variables se hubiesen modificado desde el instante-sitio en que fue posible hacerlo para evitar o minimizar el accidente.

Así, el conjunto de todas las posiciones posibles determina un área, limitada por los puntos que podría haber alcanzado el móvil en el instante del impacto, si a partir del instante del fin del Tiempo de Reacción Total se hubiese aplicado la máxima variación posible en los parámetros mencionados.

El estudio de ésta, llamada ÁREA TEÓRICA DE MANIOBRAS POSIBLES, permite evaluar lo adecuado de la maniobra evasiva intentada y eventualmente la perfección de su ejecución.

Determinación de los límites del área de maniobras posibles

A partir del final del Tiempo de Reacción Total y hasta el instante del accidente transcurre un tiempo "t".

El móvil animado inicialmente con una velocidad "V", llegará en el lapso "t" a una distancia mínima "d" dada por:

$$d = V^2 \cdot t - 0,5 \cdot DA \cdot t^2$$

"DA" es la máxima desaceleración posible

$$\text{Distancia de frenado: } d = 0,5 \cdot V^2 / \mu \cdot g$$

La distancia mínima a considerar será la de menor valor de las dos anteriores.

En "t" también podrá alcanzar la distancia máxima "D":

$$D = V \cdot t + 0,5 \cdot A \cdot t^2$$

"A" es la máxima aceleración posible

También en el tiempo "t" podría haber recorrido una distancia $DL = V \cdot t$ girando a ambos lados sobre una circunferencia de radio:

$$R = V^2 / \mu \cdot g$$

"μ" es el coeficiente de rozamiento lateral, y "g" la aceleración de la gravedad.

"R" es el radio mínimo del giro que se puede describir a la velocidad "V", so riesgo de derrape y/o vuelco.

Si bien en aras de la perfección habría que determinar las posiciones de máxima para combinaciones de giro y aceleración, o de giro y desaceleración (para las que son necesarios formuleos mucho más complicados, por la interacción entre deslizamiento y radio crítico), y, salvo que aparezcan situaciones muy dudosas cercanas a los extremos, basta unir los cuatro puntos inicialmente descriptos con líneas rectas, para obtener los límites buscados.

El cuadrilátero así determinado es una muy buena aproximación del área teórica de maniobras posibles.

Área real de maniobras posibles

Esta área de maniobra es teórica, ya que supone ausencia de obstáculos a los desplazamientos en todas direcciones, como en la realidad difícilmente se den esas circunstancias habrá que recortar dicha área con los obstáculos existentes en cada caso: construcciones, zanjas, columnas, vehículos, etcétera.

Una vez delimitada el área real de maniobras posibles, por sus límites teóricos y por sus límites físicos, y graficada a escala, es conveniente superponerle la maniobra realizada por el protagonista en cuestión.

Esto permite evaluar *lo adecuado de la maniobra elegida*, (en función de si fue la que minimizó las consecuencias del accidente).

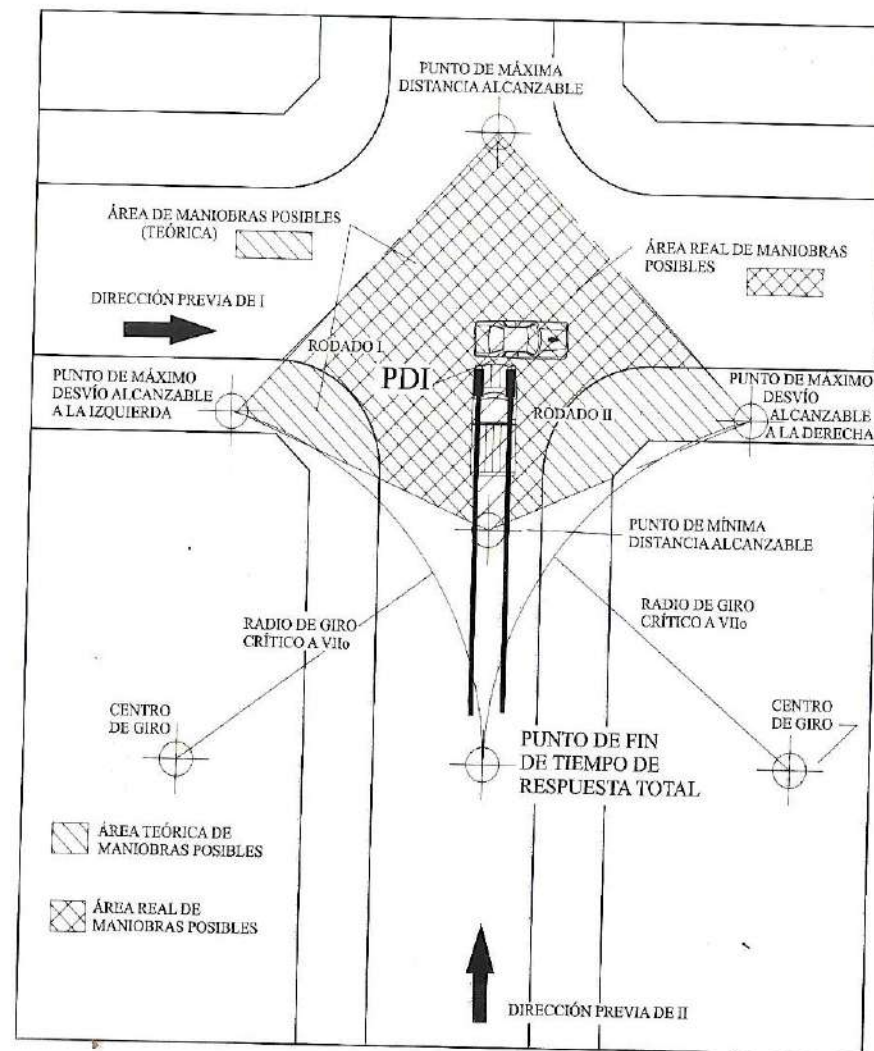
Si resultara necesario evaluar la calidad de ejecución de una maniobra, por ejemplo para determinar si se frenó adecuadamente, debe procederse a realizar un análisis similar al del área de maniobras posibles, pero limitado a la maniobra en cuestión (es decir fijar sus límites teóricos y morfológicos), pero tomándolos a partir del punto CAE (comienzo de la acción evasiva) realizada por el protagonista en cuestión.

Tal cosa nos permitirá evaluar *lo perfecto de su ejecución* (es decir cuánto se acerca a la mejor maniobra posible la que en realidad se realizó).

Como vemos, el método no sólo nos da la ya importante información sobre si el accidente era evitable, sino también dónde pudieron existir las fallas y errores que llevaron al mismo, y en qué consistieron.

Es opinión de este autor que, dada la inminencia con que suele presentársele el riesgo al protagonista, y los pocos instantes de los que habitualmente dispone para percibir, detectar, evaluar y decidir, salvo casos de groseras demoras y/o impericias, la evaluación de maniobras no puede ser hecha con criterios muy estrictos, so pena de alejamiento de la naturalidad en aras de un rigorismo formal.

En el gráfico siguiente se han dibujado las áreas de maniobras posibles —teórica y real— para el rodado II que inicia una frenada de pánico al fin del tiempo de respuesta total de conjunto conductor máquina.



Estas áreas representan todos los puntos en los que pudo haber estado el rodado en el instante del impacto, ya sea frenando más eficazmente, o acelerando desde la velocidad en que circu-

laba, o girando al máximo hacia la izquierda y hacia la derecha. Ésta es el área teórica.

Si al área teórica la "recortamos" por los obstáculos habidos, obtenemos el área real de maniobras posibles.

Como se puede apreciar, el gráfico evidencia que hubo configuraciones posibles en las cuales el accidente no se habría producido.

Capítulo 50

Elementos de mecánica

Tratándose de investigar fenómenos físicos, es imprescindible en la accidentología tener manejo de algunos elementos de la Física, como Cinemática, Dinámica, cuestiones energéticas, etcétera.

CINEMÁTICA

[Estudio del movimiento]

Previo a cualquier cuestión es necesario destacar que las velocidades, aceleraciones, fuerzas, momentos, etc., son elementos de carácter **vectorial**, es decir que, además de su magnitud [módulo], se definen también por su dirección, sentido y punto de aplicación, por lo cual así deben considerarse cada vez que se plantee la interacción de los mismos.

MOVIMIENTO RECTILÍNEO

Movimiento rectilíneo uniforme:

[Velocidad y dirección no varían con el tiempo].

Velocidad constante [V], a la que circula un móvil que recorre una distancia [D] en un lapso [T]:

$$V = D / T$$

Unidades; km/h - m/s - millas por hora [mph] - nudos.

Tiempo [T] que insume un móvil para recorrer una distancia [D], a una velocidad constante [V]:

$$T = D / V$$

Unidades: segundos [s] - minutos [min] - horas [h].

Distancia [D] que recorre el móvil que circula a velocidad Constante [V] durante un lapso [T]:

$$D = T \cdot V$$

Unidades: metro [m] - kilómetro - yarda - milla - etcétera.

Movimiento rectilíneo variado: [Se modifica la velocidad, en magnitud, pero no en dirección]

Velocidad Promedio "Vp" es la sumatoria del producto de cada velocidad V_i por su lapso de duración T_i , dividida por el lapso total.

$$V_p = \frac{V_1 \cdot T_1 + V_2 \cdot T_2 + V_3 \cdot T_3 + \dots + V_n \cdot T_n}{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}$$

Es la velocidad constante a la cual el móvil hubiese recorrido la misma distancia que la que recorrió el lapso "T", a las distintas velocidades en que lo hizo.

Cabe aclarar que los conceptos de velocidad promedio y velocidad constante son esencialmente distintos, siendo ésta una magnitud que no se modifica con el tiempo, mientras que la velocidad promedio es el promedio ponderado de las distintas velocidades instantáneas a las que pudo circular el móvil.

Así, si se recorren 100 km en una hora, la velocidad media es de 100 km/h, aunque éstos pudieron recorrerse a 80 km/h durante media hora y a 120 km/h durante otra media hora, o 70 y 130, etcétera.

Velocidad media "Vm" es el valor que surge de dividir por el lapso "T" la distancia recorrida desde el origen del movimiento hasta la posición en la que se encuentra el móvil, "X" al fin del tiempo "T".

$$V_m = X / T$$

Diferencia entre velocidad promedio y velocidad media.

Aunque pueden coincidir (si es un movimiento sobre una recta en un único sentido) son conceptualmente diferentes, con un ejemplo se ve claro:

Al fin de una vuelta en un autódromo un rodado puede haber desarrollado una velocidad promedio de 160 km/h, pero su velocidad media es cero, debido a que se considera la distancia entre origen y fin, siendo esta distancia cero, en este caso.

Velocidad Instantánea "V" es el valor de la velocidad media cuando se toma un lapso "T" tan pequeño que es casi cero

$$V = \Delta x / \Delta t \text{ cuando } \Delta t \text{ tiende a cero}$$

("Δ" significa variación, modificación, cambio)

Aceleración instantánea "a" es la modificación de la velocidad en un intervalo de tiempo tan pequeño que es casi cero.

Recordando que la velocidad es una magnitud vectorial, surge que la aceleración puede deberse al cambio de módulo, o de dirección, o de sentido de la velocidad

$$a = \Delta v / \Delta t \text{ cuando } \Delta t \text{ tiende a cero}$$

Unidades: m/s²

Aceleración media [am] es la variación de velocidad ocurrida en un lapso determinado:

$$a_m = \frac{V_f - V_i}{T}$$

Donde "Vf" es la velocidad al cabo del lapso "T", y "Vi" es la velocidad del móvil al inicio de dicho lapso.

Si la aceleración es positiva el movimiento se está acelerando, si es negativa se está frenando, o retardando.

Unidades: m/s²

Velocidad final "Vf", a la que se llega tras aplicar una aceleración "a", durante un lapso "T" a un móvil que circulaba con velocidad "Vi":

$$V_f = V_i + a \cdot t$$

Tiempo "T" que insume pasar de una velocidad inicial " V_i " a una final " V_f ", aplicando una aceleración " a ":

$$T = \frac{V_f - V_i}{a}$$

Atención: La aceleración debe tomarse siempre con su signo.

Velocidad media "V": Si la aceleración es constante en un lapso " T ", la velocidad media en ese lapso puede tomarse:

$$V = \frac{V_f + V_i}{2}$$

En este caso, y como $D = V \cdot T$:

$$D = \frac{(V_f + V_i) \cdot T}{2}$$

Distancia recorrida por un móvil animado inicialmente por una velocidad " V_i ", al que se le aplica una aceleración constante " a ", durante un lapso " T ":

$$D = V_i \cdot T + 0,5 \cdot a \cdot T^2$$

Tiempo "T", que le insume a un móvil, animado con velocidad inicial " V_i " recorrer una distancia " D ", si se le aplica una aceleración " a ":

$$T = \frac{-V_i \pm \sqrt{V_i^2 + 2 \cdot a \cdot D}}{a}$$

Velocidad inicial " V_i ", a la que hubo de estar animado un móvil, para que, aplicándosele una aceleración " a ", durante un lapso " T ", recorriese una distancia " D ":

$$V_i = \frac{D - 0,5 \cdot a \cdot T^2}{T}$$

Aceleración " a ", que hubo de aplicársele a un móvil, animado con velocidad inicial " V_i " durante un tiempo " T ", para que recorriese una distancia " D ":

$$a = \frac{2 \cdot (D - V_i \cdot T)}{T^2}$$

Velocidad final " V_f " de un móvil, animado con velocidad inicial " V_i ", al que se le aplica una aceleración constante " a ", durante una distancia " D ":

$$V_f = -V_i \pm \sqrt{V_i^2 + 2 \cdot a \cdot D}$$

Velocidad inicial " V_i ", a la que hubo de estar animado un móvil, para que, aplicándosele una aceleración " a ", durante una distancia " D " llegase a tener una velocidad final " V_f ":

$$V_i = \sqrt{V_f^2 - 2 \cdot a \cdot D}$$

Un útil caso particular de lo anterior es cuando $V_f = 0$ [detención], y la aceleración " a " es negativa [desaceleración o frenado], entonces:

$$V_i = \sqrt{2 \cdot a \cdot D}$$

Aceleración " a ", necesaria para variar la velocidad de " V_i " a " V_f " en una distancia " D ":

$$a = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2 \cdot D}$$

Distancia " D ", necesaria para que una aceleración " a " varíe la velocidad de un móvil de " V_i " a " V_f ":

$$D = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2 \cdot a}$$

Movimiento Circular

Movimiento Circular Uniforme:

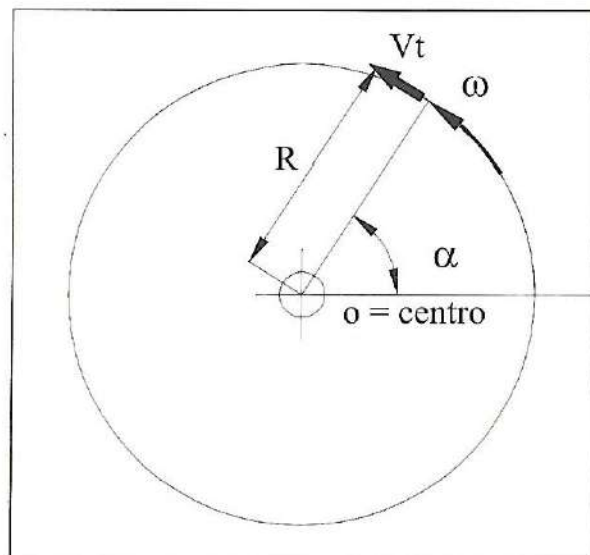
[No se modifica el valor de la velocidad angular]

Velocidad angular " ω " es el ángulo " α " recorrido por el radio " R " [al extremo del cual se ubica el móvil], en el lapso " T ".

$$\omega = \alpha / T$$

Unidades: grados/seg - radianes/seg - rev por minuto - etcétera.

Las permutaciones de la ecuación anterior permiten hallar cualquiera de los tres parámetros — α — ω — T —, conociendo los otros dos.



Velocidad tangencial “ V_t ” es la velocidad lineal del móvil al extremo del radio “ R ”:

$$V_t = \omega \cdot R \quad \text{ó} \quad V_t = \alpha \cdot R/T$$

Unidades: m/s - km/h - etcétera.

Aceleración centrípeta o radial “ A_c ” [dirigida perpendicularmente a V_t y con sentido hacia el centro de giro]:

$$A_c = V_t^2 / R$$

Unidades: m/s² - etcétera.

Movimiento Circular Variado:

[Con el tiempo se modifica la velocidad angular]

Aceleración angular media “ Ω ” es la variación de velocidad angular “ ω ” ocurrida en un lapso “ T ”:

$$\Omega = [\omega_f - \omega_i] / T$$

Unidades: grados/s² - etcétera.

Aceleración tangencial “ A_t ” es la variación de la velocidad tangencial “ V_t ” ocurrida en el lapso “ T ”:

$$A_t = [V_{tf} - V_{ti}] / T$$

Aceleración radial o centrípeta:

$$A_c = V_t^2 / R.$$

Aceleración total: Suma de la aceleración centrípeta o radial más la tangencial.

Dado que son vectores perpendiculares se aplica Pitágoras.

$$A = [A_c^2 + A_t^2]^{0.5}$$

IMPORTANTE: Recordar que el movimiento más general de un cuerpo es una composición de traslaciones y rotaciones (Rototraslatorio).

El cual sufre la aceleración “ a ” de su centro de gravedad y una aceleración angular “ Ω ” $\Omega = m / J$ alrededor de éste, donde “ m ” es el momento de las fuerzas exteriores respecto al centro de gravedad, y “ J ” el momento de inercia del cuerpo, respecto del eje perpendicular al plano, y que pasa por dicho centro.

DINÁMICA

[Estudio de las causas del movimiento]

Intuitivamente todos entendemos el concepto de “fuerza”, pero es necesaria una definición técnica para evitar confusiones:

Fuerza es la causa del cambio de estado de movimiento [aceleración] o tensión de los cuerpos.

El Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua, en su acepción N° 14 dice: “Fuerza: Causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo o de deformarlo”.

Recordar que tanto aceleraciones como fuerzas son magnitudes vectoriales, y en sus interacciones deben tratarse como tales.

Masa: es la medición de la cantidad de materia que tiene un cuerpo (magnitud escalar).

Principio del centro de masa o de gravedad

En rigor, "Centro de Masa" y "Centro de Gravedad" no son exactamente lo mismo, aunque, para los alcances de estas páginas, la diferencia es tan sutil que se los puede considerar sinónimos.

El centro de masa o gravedad "G" de un cuerpo es aquel punto en el que puede considerarse concentrada toda la masa del mismo, lo que en muchos casos facilita o posibilita hallar los parámetros del movimiento.

EL PRINCIPIO DEL CENTRO DE MASAS dice: *Cuando un sistema está sometido a la acción de fuerzas, su centro de gravedad se mueve como si todas las fuerzas estuvieran aplicadas sobre él.*

Esto tiene gran importancia, pues, como veremos a continuación, si la resultante (sumatoria) de un sistema de fuerzas es nula, el centro de gravedad se quedará quieto o se moverá con velocidad constante sobre una recta (su estado de movimiento previo no se modifica).

Por eso si dos coches iguales chocan de frente circulando ambos a la misma velocidad, sus posiciones finales equidistarán del punto de impacto, que en este caso coincidirá con el centro de gravedad del sistema formado por los dos móviles que convergen.

Por la teoría del choque, que veremos más adelante, puede, a veces, determinarse a qué distancia del centro de gravedad del sistema o del punto de impacto quedaron los móviles cuando las masas y/o velocidades son distintas.

Primera Ley de Newton de la Dinámica (Principio de Inercia)

"Todo cuerpo conserva su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que sea obligado a cambiar ese estado por fuerzas aplicadas sobre él".

Esto significa que si sobre un cuerpo no actúan fuerzas, éste se mueve en línea recta con velocidad constante, o, si estaba quieto, se queda quieto.

Se evidencia cuando un ómnibus frena de golpe, en cuyo caso los pasajeros parecen proyectarse hacia adelante (en realidad siguen moviéndose a la velocidad que llevaban cuando el chofer aplicó los frenos).



El mismo fenómeno explica por qué los ocupantes de un automóvil ante un choque frontal suelen golpear el parabrisas con sus cabezas y justifica el uso del cinturón de seguridad.

Cuando un automóvil es embestido lateralmente el ocupante del lado embestido suele golpear su cabeza contra la ventanilla o su marco, ocurre que estos impactos aceleran transversalmente al rodado mientras que la cabeza, que no es solidaria con el mismo "se queda quieta", y es la ventanilla la que la golpea, por esto los autos de alta gama se proveen de *air bags* laterales, "de cortina".

También la inercia explica que los cristales desprendidos de un rodado queden más adelante del sitio en que se rompieron y empezaron a caer, pues, mientras caen, siguen avanzando a la velocidad original.

Se producen lesiones (inclusive se han registrado muertes) debido a la presencia de objetos sueltos en el interior de un rodado, que ante una brusca desaceleración "salen proyectados hacia adelante" golpeando a los ocupantes (ahora sabemos que no salen proyectados, sólo continúan a la velocidad que tenían, y el resto del vehículo reduce su velocidad).

Segunda Ley de Newton de la dinámica o Principio de Masa

Newton la enunció de manera algo más compleja, pero el concepto es:

"La aceleración producida en un cuerpo por la resultante (suma) de un sistema de fuerzas es paralela a ella, de magnitud proporcional a su magnitud e inversamente proporcional a la masa del cuerpo".

Se simplifica con la expresión **"Fuerza igual a masa por aceleración"** ($F = M \cdot a$).

Cabe aclarar que por *"masa"* se entiende a la cantidad de materia que tiene un cuerpo.

Masa no es lo mismo que peso, aunque están relacionados, y frecuentemente se confunden los conceptos (lamentablemente contribuye a la confusión el mismo nombre de las unidades de medida), así, mientras la masa de un cuerpo es invariable en cualquier lugar del universo, su peso se modifica de acuerdo a la gravedad del sitio.

El peso es una fuerza, es la atracción que ejerce la Tierra, en nuestro caso, sobre la masa del cuerpo.

ATENCIÓN: No confundir: KILOGRAMO [Kg], que es una unidad de masa, con KILOGRAMO FUERZA [Kgr], que es una unidad de fuerza.

Un cuerpo de masa $M = 1 \text{ Kg}$, a nivel del mar y a 45° de latitud, pesa 1 Kgr, pero esto no significa que la masa sea igual al peso.

Veamos un ejemplo, si una persona cuya masa en la Tierra es de 90 kilogramos se pesa en la balanza de la farmacia (de resortes), comprobará que le asigna 90 kilos (kilogramos fuerza) de peso, pero si llevamos a la persona y la balanza a la Luna, su masa seguirá siendo 90 kilos, pero la balanza acusará 15 kilogramos de peso (y en realidad no adelgazó ni un cachito así).

Este principio explica por qué si un auto embiste a un rodado pequeño a determinada velocidad, lo moverá más que si en iguales condiciones embiste a un camión.

También explica que Ud., aplicando toda su fuerza, pueda lanzar una piedra de un kilo mucho más lejos que una de diez kilos.

Las aplicaciones de este principio (del que la "Primera Ley" es un caso particular) son innumerables, ya que del mismo se derivan gran cantidad de consecuencias, pero que escapan a lo que pretende ser una enumeración apenas suficiente.

Unidades de masa

Sistema CGS: Gramo "g"

Sistema MKS: Kilogramo "Kg"

Sistema Técnico: Unidad Técnica de Masa "UTM" ($1 \text{ UTM} = 1 \text{ Kgr} \cdot s^2/m$)

Unidades de fuerza

Sistema CGS: Dina "din" ($1 \text{ din} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}/s^2$)

Sistema MKS: Newton "N" ($1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \cdot m/s^2$)

Sistema Técnico: Kilogramo-Fuerza "Kgr" "Kgf"¹

¹ Suelen presentarse problemas con el símbolo del Kilogramo-Fuerza, además de los mencionados suele encontrarse el símbolo Kg con un trazo por arriba, o en negrita.

Algunas equivalencias

Masa

$$1 \text{ Kg} = 1000 \text{ g} = 0,102 \text{ UTM}$$

$$1 \text{ g} = 0,001 \text{ Kg} = 102 \cdot 10^{-6} \text{ UTM}$$

$$1 \text{ UTM} = 9800 \text{ g} = 9,8 \text{ Kg}$$

Fuerza

Recordado que la Fuerza que ejerce un cuerpo es igual a la Masa de un cuerpo multiplicada por la aceleración que sufre, y que el peso es la fuerza que, por efecto de la aceleración de la gravedad, ejerce la Tierra sobre una masa, resulta que Peso es igual a la masa del cuerpo por la aceleración de la gravedad.

$$P [\text{Kgr}] = M [\text{kg}] \cdot g [\text{m/s}^2]$$

$$1 [\text{kg}] \cdot g [\text{m/s}^2] = 1 \text{ N (Newton)}$$

De donde:

$$1 \text{ Kgr} = 1000 \text{ gr} = 9,8 \text{ N} = 9,8 \cdot 10^5 \text{ din}$$

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ din} = 102 \cdot 10^{-3} \text{ Kgr} = 102 \text{ gr}$$

Debe trabajarse siempre con unidades homogéneas.

Tercera Ley de Newton o principio de acción y reacción

El enunciado es muy sencillo, es la simpática:

"A toda acción se le opone siempre una reacción igual y contraria".

Esto significa que cuando dos cuerpos interactúan cada uno de ellos ejerce sobre el otro una fuerza, estas dos fuerzas son iguales en magnitud, tienen la misma dirección (están alineadas sobre la misma recta), y tienen sentido (orientación) contrario.

Debe aclararse que en física "dirección" no tiene el mismo significado que en el habla cotidiana, en efecto, habitualmente decimos Fulano iba en dirección hacia allá, pero en física "dirección" indica la recta de acción de un ente vectorial (—que se puede representar por flechitas— como son: fuerza, velocidad, aceleración, desplazamiento, cantidad de movimiento, etc.) sin indicar destino ni origen.

Origen y Destino son elementos que se designan con la palabra "sentido".

Así, un rodado puede presentar una impronta de impacto de dirección transversal y sentido de izquierda a derecha (o sentido de derecha a izquierda, si fue del otro lado).

Análogamente: impacto de dirección longitudinal y sentido de adelante hacia atrás (o de atrás hacia adelante).

Este principio echa por tierra ciertas expresiones como: "el auto 'A' hizo más fuerza que el auto 'B', por eso está menos dañado (o al revés)".

Si chocaron entre sí, ambos estuvieron sometidos a la misma fuerza, independientemente de los resultados en cada uno —esto depende de las rigideces y resistencias mecánicas—.

Si un auto atropella a un peatón, la misma fuerza que sufre el peatón la experimenta el rodado, sólo que de sentido contrario, y por eso el rodado suele presentar la impronta del cuerpo.

Capítulo 51

Formas de la energía

El Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua brinda dos acepciones para “energía”:

1. Eficacia, poder, virtud para obrar.
2. Fis. **Capacidad para realizar un trabajo. Se mide en julios. (Símb. E).**

Obviamente en estas páginas utilizamos el concepto de la segunda acepción, aclarando que el “trabajo” mencionado difiere del uso familiar del término.

Acá, “trabajo” es el resultado de multiplicar el valor de una fuerza por la distancia que recorre en la dirección en la que actúa.

Debe aclararse también que en física no se consideran como tales a las “energías” mentales, de las pirámides, telepáticas, zodiacales, mal de ojo, positivas o negativas, etc., que tan en boga están.

En física, y en la ciencia en general, no hay energías “positivas” en el sentido de “buenas”, ni “negativas” en sentido de “malas”, a veces se utilizan esos términos “positiva” y “negativa” para denominar convencionalmente a la energía que entra en un sistema o a la que sale, a efectos de realizar un balance energético (por ejemplo para determinar el rendimiento de un motor).

Hay varias formas de Energía y todas se pueden transformar en alguna de las otras, como veremos en el capítulo siguiente.

Mecánica - Potencial Gravitatoria - Cinética - Trabajo - Potencial Elástica - Deformación - Calórica - Sónica - Eléctrica - Nuclear - Magnética - Química - etcétera.

Para nuestro tema la más importante es la *Energía Mecánica* compuesta por:

Energía Cinética: se denomina al producto de la mitad de la masa “M” de un móvil, por el cuadrado de su velocidad ($Ec = 0.5 \cdot M \cdot V^2$) y representa la energía que posee un cuerpo debido a la velocidad que lo anima.

En un movimiento más general en un plano (rototraslatorio) la energía cinética es:

$$EC = 0,5 [M \cdot V^2 + J \cdot \omega^2];$$

Donde “J” es el momento de inercia del cuerpo con respecto a su centro de gravedad, [“G”], “V” es la velocidad de “G”, y “ ω ” es la velocidad angular de rotación alrededor de “G”.

Energía de Trabajo, o simplemente **Trabajo** es el producto de la componente de la fuerza “F” que actúa sobre el móvil, en la dirección de su movimiento, por la distancia “D” a la que se mueve el móvil.

$$ET = F \cdot D.$$

Representa la energía insumida por esa fuerza en ese movimiento.

El “trabajo” a considerar en reconstrucción de accidentes es el realizado por las fuerzas de **rozamiento**, “FR” (también se realiza trabajo en las deformaciones, pero lo llamamos energía de deformación).

Aunque no es despreciable el rozamiento interno del sistema de frenos antes del bloqueo de neumáticos, la más importante de las fuerzas de rozamiento es el rozamiento de neumáticos contra el pavimento durante el frenado, $FR = \mu \cdot P$.

Donde “ μ ” es el coeficiente de rozamiento, y “P” el peso del móvil.

Energía Potencial: Hay muchos tipos de energía potencial: Gravitatoria - Nuclear - Eléctrica - Magnética - Elástica - etc., y

todas ellas tienen en común que dependen de la condición; así, hay dos de éstas que son de utilidad para la reconstrucción de accidentes, la Energía Potencial Gravitatoria y la Energía Potencial Elástica que dependen, en el primer caso, de la altura y el peso; y en el segundo del grado de deformación elástico de los materiales, su estructura y materiales, aunque la Energía Potencial Elástica la trataremos dentro de la Energía de Deformación.

$$EP = P \cdot H \text{ [Energía Potencial Gravitatoria].}$$

Siendo: "P" el peso y "H" la altura sobre un plano de referencia.

Energía de Deformación: Está compuesta por la Energía de Deformación Elástica y la Energía de Deformación Plástica.

La primera es una energía potencial, es decir que al restaurarse las condiciones iniciales restituiría la energía almacenada. La segunda no lo es por cuanto la deformación plástica insumió energía para modificar el estado interno del material calentándolo (Energía Calorífica) la que finalmente se transfiere al ambiente.

En general para los accidentes viales esta energía de deformación dista mucho de ser despreciable, pero como depende de una infinidad de factores concurrentes, no factibles de determinación precisa, salvo en algunos casos muy especiales, en los que se pueden aceptar determinados supuestos, suele ser de imposible cálculo.

Por su importancia, a este tema dedicamos un capítulo especial.

Energía Calórica o simplemente Calor, en la enorme mayoría de los casos de accidentes su incidencia directa es totalmente despreciable por su escasa magnitud frente a las otras, e incluso frente a las posibles inexactitudes cometidas en las mediciones.

Depende de las masas de los cuerpos involucrados, de sus temperaturas, y de las distribuciones de las mismas.

Sin embargo siempre que hay interacción entre dos cuerpos reales, existen deformaciones de los mismos, tanto elásticas como plásticas, en cuyo caso hay modificaciones de las temperaturas, por transformaciones energéticas internas que generan calor, que

habitualmente se disipan, luego, hacia el medio ambiente. Lo mismo ocurre con los rozamientos, de allí la inclusión de la energía calórica en ese capítulo, a pesar de no incluirse en la Energía Mecánica.

Hay muchas formas de energía, tradicionalmente cada tipo de energía se asociaba a un sistema de unidades, obviamente siempre existieron equivalencias, por ejemplo de calorías [C] a kilográmetros kgrm, o a Joules (también Julios) [J] (hoy día se tiende a expresar todas en unidades del sistema MKS).

En nuestro tema interesa fundamentalmente, la equivalencia entre kilográmetros y Joules, y a la inversa.

$$\text{Como } 1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m, y } 1 \text{ kgrm} = 1 \text{ kgr} \cdot 1 \text{ m}$$

$$\text{Siendo } 1 \text{ N} = 9,8 \text{ Kgr}$$

$$\text{Resulta que } 1 \text{ J} = 9,8 \text{ kgrm}$$

$$\text{A la inversa: } 1 \text{ Kgrm} = 1/9,8 \text{ J} = 0,102 \text{ J}$$

Principio de conservación de la energía

En el Universo la energía no se crea ni se destruye, sólo cambia de una clase a otra, o se transfiere de un cuerpo a otro. La energía total permanece constante.

$$\text{Entonces } EC + ET + EP + ED + \dots = \text{Constante}$$

Considerando las que en accidentología nos interesan principalmente

Donde:

EC es la Energía Cinética [función de la masa y la velocidad].

ET es la Energía Trabajo [función de la fuerza y distancia].

EP es la Energía Potencial (Gravitatoria y Elástica) [función de la condición].

ED es la Energía de Deformación [función de la estructura y materiales].

Otras formas de energía, representadas por "...", en principio despreciables.

Y, como consecuencia de lo anterior, en cualquier sistema la sumatoria de las variaciones de energía es nula, para el caso de reconstrucción de accidentes tenemos entonces

$$\Delta EC + \Delta ET + \Delta EP + \Delta ED + \dots = 0$$

Donde: "Δ" significa variación.

Como:

$$\Delta EC = 0,5 \cdot \{[M \cdot Vf^2 + J \cdot \omega f^2] - [M \cdot Vi^2 + J \cdot \omega i^2]\}$$

y

$$\Delta ET = \mu \cdot P \cdot D = \mu \cdot M \cdot g \cdot D,$$

Ya que $P = M \cdot g$, siendo "g" la aceleración de la gravedad [$g = 9,81 \text{ m/s}^2$] y $\Delta EP = P \cdot (Hf - Hi) = M \cdot g \cdot [Hf - Hi]$

Obtenemos la forma:

$$\frac{(M \cdot Vf^2 + J \cdot \omega f^2) - (M \cdot Vi^2 + J \cdot \omega i^2)}{2} + M \cdot g \cdot [\mu \cdot D + (Hf - Hi) + \Delta ED] = 0$$

[Ecuación X]

Que es una de las ecuaciones más útiles en la reconstrucción, ya volveremos sobre ella, aplicándola a distintas condiciones.

Principio de las Fuerzas Vivas

Lo consignamos porque a veces se lo menciona en los informes.

Dice que la variación de la energía cinética es igual al trabajo de las fuerzas que actúan, como vemos *es un caso particular del Principio de conservación de la energía* cuando no hay otras energías en juego.

Su expresión es: $\Delta Ec = ET$

Por su sencillez es particularmente útil a la hora de determinar cuál ha sido la variación de la velocidad debida a una fre-

nada horizontal, ya que el trabajo ejercido por el rozamiento de los neumáticos contra el piso (y/o internamente en el sistema de frenos) es equivalente a la variación de energía cinética, y como ésta es función de la velocidad, es inmediato obtener la variación de la misma.

Entonces: de la Ecuación X:

$$0,5 [(M \cdot Vf^2 + J \omega f^2) - (M \cdot Vi^2 + J \omega i^2)] = M \cdot g \cdot [(Hi - Hf) - \mu \cdot D]$$

En determinadas circunstancias, tanto uno como otro principio nos permitirán determinar velocidades o distancias de frenado, u otros parámetros útiles para la reconstrucción del accidente.

Capítulo 52

Otros imprescindibles
principios de la mecánica

Principio de conservación de la cantidad de movimiento

La cantidad de movimiento (CM o Q)

De un cuerpo es una magnitud vectorial definida como el producto de su masa por la velocidad que lo anima. Su expresión es:

$$CM = M \cdot V$$

En el caso general de movimiento rototraslatorio:

$$CM = M \cdot V + J \cdot V_t$$

Donde "J" es el momento de inercia del cuerpo.

Al decir que es una magnitud vectorial (se la puede representar con flechitas de longitud proporcional a la magnitud), decimos que además de magnitud tiene dirección y sentido.

No debe confundirse con la energía cinética (aunque están relacionadas), ya que esta última no es una magnitud vectorial, y depende del cuadrado de la velocidad.

Ya vimos que cuando la suma de las fuerzas exteriores al cuerpo es cero, su centro de gravedad permanece en el estado de movimiento en que estaba (quieto o con movimiento rectilíneo uniforme), es decir no se modifica su velocidad, por lo que la cantidad de movimiento permanece constante:

O, dicho de otro modo, *la variación de la cantidad de movimiento es nula si no actúan fuerzas exteriores, este es el principio de conservación de la cantidad de movimiento:*

$CM = Cte$ si la sumatoria de las fuerzas exteriores es cero

Lo dicho para un cuerpo es válido para un sistema o conjunto de ellos, lo cual es de gran utilidad en algunos casos, pues en un choque entre dos rodados, en principio, no se ejercen fuerzas exteriores al sistema que forman los dos rodados (las fuerzas que los deforman son internas y tienen en todo momento resultante nula, como veremos a continuación).

Lo anterior implica que la cantidad de movimiento del sistema al iniciarse el choque es la misma que la cantidad de movimiento inmediatamente finalizado el mismo.

Tal cosa permite que, si son conocidas las velocidades previas, sea posible determinar las posteriores en determinadas configuraciones, o conocidas las posteriores conocer las previas.

Generalmente la cuestión se complica pues suele haber giros, con lo que las cantidades de movimiento han de ser no sólo las lineales (explicadas hasta ahora), sino también las rotatorias, que involucran las velocidades de rotación y los "momentos de inercia baricéntricos" (cuya explicación excede el alcance de estas páginas).

Dicho de otro modo, la variación de la cantidad de movimiento es nula ($\Delta CM = 0$), si no actúan fuerzas exteriores.

La cantidad de movimiento antes de un choque es:

$$CM_i = M_1 \cdot V_{1i} + M_2 \cdot V_{2i} \quad [1]$$

Luego del choque será:

$$CM_f = M_1 \cdot V_{1f} + M_2 \cdot V_{2f} \quad [2]$$

La variación de la cantidad de movimiento será:

$$CM_i - CM_f = 0, \text{ es decir}$$

$$CM_i = -CM_f \quad [3]$$

Reemplazando [1] y [2] en [3]

$$M_1 \cdot V_{1i} + M_2 \cdot V_{2i} = - (M_1 \cdot V_{1f} + M_2 \cdot V_{2f})$$

Que es una de las ecuaciones más útiles para la reconstrucción de accidentes.

Nota 1: Para evitar errores no olvide considerar los sentidos y direcciones de las velocidades, recordando que velocidades opuestas tienen signos opuestos.

Nota 2: Esta ecuación es válida en tanto no se modifiquen las masas, si las masas se modifican debe tratarse de forma distinta, se sugiere consultar textos de física más profundos.

Impulso y cantidad de movimiento

Las fuerzas que actúan durante tiempos brevísimos se denominan impulsivas, son las fuerzas típicas actuantes en un choque.

Se denomina **Impulso "I"** al producto de la fuerza actuante "*F*" por la duración temporal "*Δt*" de esa acción.

También es una magnitud vectorial, con dirección y sentido iguales a los de la fuerza:

$$I = F \cdot \Delta t$$

Un impulso "*I*" provoca una variación en la cantidad de movimiento "*ΔCM*" del cuerpo sobre el que es aplicado:

$$I = \Delta CM$$

Nótese que $\Delta CM / \Delta t = F$

Si se conoce el lapso durante el cual actúa una fuerza sobre un cuerpo, es posible, mediante lo anterior, calcular la velocidad con la que queda animado ese cuerpo (nunca se conoce ese lapso en accidentología).

Momento de la cantidad de movimiento

El momento de la cantidad de movimiento "*MCM*" [producto de la cantidad de movimiento de un cuerpo por su distancia

"*D*" a un eje] de un sistema de puntos es igual a la suma de los momentos de cantidad de movimiento de cada uno.

$$MCM_t = MCM_1 + \dots + MCM_n$$

El momento de la cantidad de movimiento de un cuerpo en movimiento rototraslatorio es:

$$MCM = M \cdot V \cdot D + M \cdot J \cdot \omega$$

Donde "*J*" es el momento de inercia respecto al eje de rotación y "*ω*" es la velocidad de rotación alrededor del mismo.

Cuando sobre el sistema no actúan fuerzas o momentos exteriores "*me*", el momento de la cantidad de movimiento permanece constante, es decir que su variación es nula. Siendo "*Fe*" la sumatoria de las fuerzas exteriores, resulta:

$$MCM = Cte, \quad \text{si } Fe = 0, \quad \text{ó } me = 0$$

$$\Delta MCM = 0, \quad \text{si } Fe = 0, \quad \text{ó } me = 0$$

Momento de impulso

El momento de impulso "*MI*" [producto del momento de las fuerzas exteriores "*me*" por el lapso de duración de su acción] es igual a la variación del momento de la cantidad de movimiento:

$$MI = me \cdot \Delta t$$

$$MI = \Delta MCM$$

Nótese que $\Delta MCM / \Delta t = me$

Puede demostrarse que $me = J \cdot \Omega$ si "*J*" es constante.

LIBRO

V

Ejemplos
y aplicaciones

Algunos ejemplos de cálculos de velocidad

1) Cálculo de la velocidad previa al inicio de una frenada basado en la longitud de las huellas de deslizamiento

Por aplicación del Principio de Conservación de la Energía tenemos, para un frenado desde “Vi” [velocidad inicial] hasta “Vf” (velocidad final), en una superficie que presenta un coeficiente de frenado “μ”, y una pendiente “i” entre el punto de inicio de la huella de frenado nítida y el del final de la misma, que están separados una distancia “D”:

$$V_i^2 - V_f^2 = 2 \cdot g \cdot C \cdot (\mu \pm i) D \quad [1]$$

Donde “C” es un coeficiente que considera la disipación de energía cinética por el frenado antes de que los neumáticos impriman su marca. Su valor mínimo es 1,15 y su máximo es 1,30 para automóviles. Para camiones “C” vale 1, ya que experimentalmente se ha demostrado que prácticamente no disipan energía antes de dejar huellas de frenado.

Recordar que “i” está tomado en su forma fraccional, y que su producto por la distancia de frenado “D” determina la diferencia de alturas, debiendo considerarse con su signo.

Con la ecuación anterior se pueden tratar todos los casos de frenado puro, es decir cuando no hay otras energías puestas en juego que la cinética, la potencial gravitatoria (si la distancia es

corta y la pendiente suave puede despreciarse, como en la ecuación [1]) y el trabajo de frenado realizado por el rozamiento.

Así, si se trata de una detención total haremos $V_f = 0$.

Si es en un camino razonablemente horizontal $i = 0$.

En este caso $V_i = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot CD}$

2) Cálculo de la velocidad inicial de un móvil cuando se conoce sólo la distancia total de detención (desde la percepción hasta la detención total)

Cuando debe tenerse en cuenta el tiempo de percepción y reacción total, (TR), y no se dispone de las huellas de deslizamiento, deben combinarse las ecuaciones para hallar la velocidad inicial, conociendo la distancia total recorrida "Dt" desde el avistamiento hasta el punto de impacto o de la posición final.

Recordando que durante TR, el móvil circula a esa velocidad inicial " V_i " constantemente, es decir que recorre "Dr" antes de empezar a frenar:

$$Dr = V_i \cdot TR \quad [2]$$

"Dr" es la distancia recorrida durante el tiempo de reacción-percepción total.

Y como la frenada insume una distancia "Df" tal que (de [1]):

$$Df = \frac{V_i^2 - V_f^2}{2(\mu \pm i)g} \quad [3]$$

Donde se le ha dado a "C" el valor 1 porque no entran aquí en juego las pérdidas de energía ocurridas entre el instante de empezar a frenar y el del comienzo de huellas de deslizamiento nítidas.

Hemos llamado Df a la distancia que en [1] llamábamos "D"

[3] surge de despejar "D" en [1]

Como $Dt = Dr + Df$ [4]

Podemos reemplazar [2] y [3] en [4]:

$$Dt = V_i \cdot Tr + \frac{V_i^2}{2 \cdot g \cdot (\mu \pm i)} - \frac{V_f^2}{2 \cdot g \cdot (\mu \pm i)}$$

Es decir:

$$\frac{V_i^2}{2 \cdot g \cdot (\mu \pm i)} + V_i \cdot Tr - \frac{V_f^2}{2 \cdot g \cdot (\mu \pm i)} - Dt = 0$$

Que es una ecuación cuadrática en " V_i " cuya solución es:

$$V_{i,2} = \left\{ -Tr \pm \sqrt{Tr^2 + \left[\frac{V_f}{g \cdot (\mu \pm i)} \right]^2 + \frac{2 \cdot Dt}{g \cdot (\mu \pm i)}} \right\} [g \cdot (\mu \pm i)]$$

"i" es la pendiente en la dirección considerada.

3) Cálculo de la velocidad inicial de un móvil cuando se conoce sólo la distancia total de detención e interesa conocer la duración temporal de las maniobras

Éste es otro método para realizar lo anterior, pero que permite determinar el tiempo insumido por la frenada.

La elección del método depende del caso.

Recordamos que cuando las ruedas están bloqueadas el coeficiente friccional multiplicado por la aceleración de la gravedad "g" es equivalente a la desaceleración que experimenta el móvil $a = \mu \cdot g$.

Si "D" es la distancia total recorrida desde la percepción hasta su punto de detención final, se cumple:

$$D = V_i \cdot Tr + V_i \cdot T - 0,5 \cdot a \cdot T^2 \quad [A]$$

Donde "Tr" es el tiempo insumido por la percepción-reacción total y "T" es el tiempo que efectivamente insume la desaceleración:

como $V_f = V_i - a \cdot t$ y $V_f = 0$ resulta:

$$V_i = a \cdot T \quad [B]$$

La que reemplazada en [A] y operando resulta:

$$D = a.T.Tr + 0,5.a.T^2$$

Que es una ecuación cuadrática en "T" de solución:

$$T_{1,2} = \left\{ -a.Tr \pm \sqrt{a^2.Tr^2 + 2.a.D} \right\} \frac{1}{a}$$

Reemplazando el valor de T en (B), luego de descartar la solución negativa por absurda, se obtiene el valor de Vi.

Nota: Cuando, habiendo evidencias de fuerte frenada, no quedaron huellas, o cuando el rodado está equipado con ABS, deben incrementarse los coeficientes de rozamiento, en un 10% para caminos secos, y en un 20% para pisos húmedos, para poder considerar el incremento en la eficacia de frenado que el no bloqueo de los neumáticos presenta ante el frenado con bloqueo de los mismos.

4) Cálculo de la velocidad inicial de un móvil cuando se conoce sólo la distancia total de detención y no hay evidencia de frenada

En rigor, cuando no se tengan indicios de frenada de ningún tipo, ni de ausencia de la misma, pero sí se dispone de distancias de detención, la velocidad deberá encontrarse entre la calculada por lo mencionado arriba y la que se obtiene de aceptar que el vehículo se detuvo solamente debido a la resistencia al avance, dado que el motor no transmitía tracción a las ruedas ni el freno detenía su marcha.

Hemos visto que la resistencia al avance "R" está compuesta por: $R = R_r + R_a \pm R_i$

"R_r" es la resistencia de rodadura: $R_r = P.\mu_r = M.g.\mu_r$

Donde "P" es el peso del vehículo; "M" es su masa; "g" la aceleración de la gravedad; y " μ_r " es el coeficiente de rodadura, ver valores en el capítulo correspondiente:

La energía disipada por la resistencia por rodadura será entonces $Err = P.\mu_r.D$.

"R_a" es la resistencia del aire, o aerodinámica (toma importancia por encima de los 100 km/h, por debajo de 70 km/h la resistencia aerodinámica es despreciable frente a las otras).

Energía total insumida por la detención sin frenar

Recordando que la energía cinética se transforma en energías de rozamiento y potencial durante la detención, y que el trabajo realizado por las resistencias es en este caso: $TR = Err + Ea \pm Ei$, tendremos:

$$\Delta Ec = Tr Err + Ea \pm Ei$$

$$\Delta Ec = \frac{1}{2}.M.(Vi^2 - Vf^2)$$

$$Err = P.\mu_r.D$$

$$Ei = \pm P.sen\alpha.D$$

$$Ea = \frac{0,5.C.x.A.d.Vi^2}{3.D^2} [D^3 - (D - X_{70})^3]$$

(Ver "Otras Resistencias", capítulo 23).

$$\text{Como } \frac{0,5.C.x.d.A}{3.D^2} [D^3 - (D - X_{70})^3]$$

es constante, podemos llamarla "K".

Con lo que la ecuación general que permitirá hallar la velocidad inicial será:

$$\frac{1}{2}.M.(Vi^2 - Vf^2) = [P.\mu_r.D + K.Vi^2 \pm P.sen\alpha.D]$$

Despejando "Vi":

$$Vi = \sqrt{\frac{g.\mu_r.D + 0,5Vf^2 \pm g.sen\alpha.D}{0,5 - \frac{K}{M}}}$$

$$\frac{1}{2}.M.(Vi^2 - Vf^2) = [P.\mu_r.D + \frac{0,5.C.x.d.A.Vi^2}{3.D^2} (D - X_{70})^2 \pm P.sen\alpha.D]$$

La resistencia debida a la pendiente "Ri" considera el efecto del ángulo o inclinación en el sentido de avance (en realidad representa la influencia de la Energía Potencial Gravitatoria).

$$Ri = \pm P.sen\alpha$$

Si el vehículo sube una cuesta, su signo será positivo, si descendiendo será negativo (ayuda, promueve el movimiento).

Obviamente, en un tramo horizontal, esta resistencia será nula.

" α " es el ángulo que forma la dirección de avance con el plano horizontal.

La energía insumida (o aportada) por la pendiente es, entonces, $Ei = \pm P.sen\alpha.D$.

Recordando que la energía cinética se transforma en energía mecánica durante la detención, y que el trabajo realizado por las resistencias es en este caso: $TR = Err + Ea \pm Ei$, tendremos:

$$\Delta Ec = Err + Ea \pm Ei$$

$$\text{Con lo cual } Vi = \sqrt{2.g.(Err + Ea \pm Ei) + Vf^2}$$

Donde Vf es la velocidad al extremo de la distancia "D" recorrida en estas condiciones.

5) Velocidad crítica en curvas - derrape

El automóvil derrapa cuando $Fc \geq \mu l.p$.

Donde "Fc" es la fuerza centrífuga, " μl " el coeficiente de fricción lateral, y "P" el peso.

$$\text{Como } Fc = M.V^2 / R \text{ y } M = P / g.$$

Donde "R" es el radio de curvatura del giro

$$Fc = \frac{P.V^2}{R.g} \text{ Entonces } Vc \geq \sqrt{\mu_l.R.g}$$

Ésta es la ecuación a emplearse para calcular la velocidad mínima en derrapes en curvas horizontales.

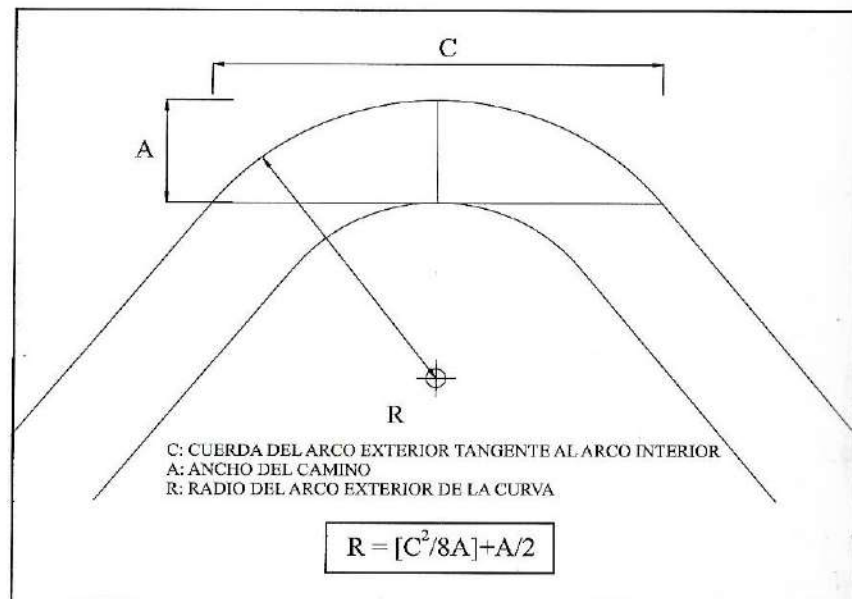
Se demuestra que cuando la curva tiene un ángulo de peralte " α ", la velocidad necesaria para derrapar es:

$$Vc \geq \sqrt{\frac{R.g.(\mu_r \pm tga)}{1 - \mu_r tga}}$$

La tangente del ángulo " α " también es llamada "Pendiente", y en este libro la simbolizamos con "i".

Debe tomarse con signo negativo si es descendente hacia el lado externo de la curva, y con signo positivo si descende hacia el lado interno del giro.

Determinación del radio de curvatura



Muchas veces es necesaria la determinación del radio de una curva, pues se carece de los planos del camino para lo cual deben realizarse las mediciones que se indican en el gráfico y aplicar la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que una curva caminera

está constituida por dos circunferencias concéntricas (Ésto es una aproximación suficiente).

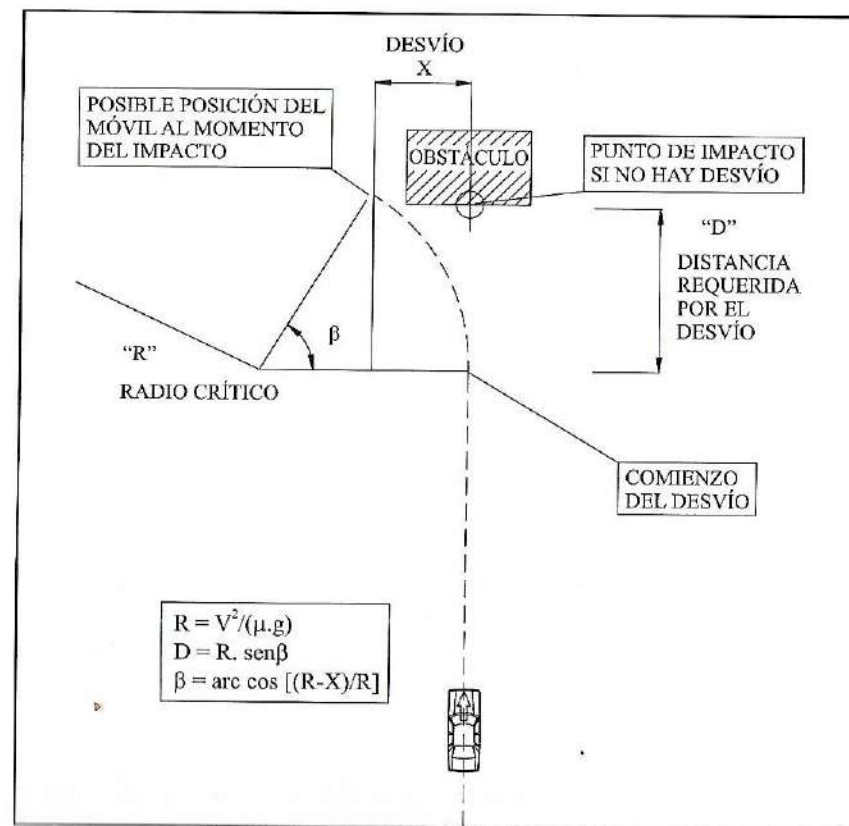
$$R = C^2 / 8 \cdot A + M/2 \text{ [metros]}$$

Donde "R" es el radio de la circunferencia exterior de la curva.

"C" es la cuerda de la circunferencia externa trazada tangente a la circunferencia interna.

"A" es el ancho del camino en el punto de tangencia de "C".

Determinación de distancia mínima a la que se debe iniciar una maniobra para esquivar un obstáculo



Para poder obtener a qué distancia "D" de un punto hay que iniciar la maniobra que permita llegar a la zona de ese sitio, habiéndose desviado una distancia "X", hay que determinar cuál es el radio mínimo de curvatura que puede describir el rodado a la velocidad que lleva.

Establecemos que la curva más cerrada que puede describir un rodado será aquella en la cual esté en la inminencia de derrape, es decir inmediatamente inferior a la velocidad crítica.

Para determinar el mínimo radio "R" de la curva que se puede describir sin derrapar, a una determinada velocidad "V", tomaremos a ésta como crítica y despejaremos R de la ecuación correspondiente a Vc. Así, en terrenos llanos:

$$R \geq Vc^2 / \mu.g$$

Puede demostrarse que: $R - X = R \cdot \cos \beta$

Lo que permite obtener: $\alpha = \arccos [(R - X) / R]$

También se demuestra que:

$$D = R \cdot \operatorname{sen} \alpha \cdot \beta$$

Que es la distancia mínima a la cual se debe iniciar la maniobra.

En terrenos con pendiente de ángulo "α" será:

$$R \geq \frac{Vc^2 \cdot (1 \pm \mu_r \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{g \cdot (\mu_l \pm \operatorname{tg} \alpha)}$$

Debiendo tomarse signo negativo cuando el centro de curvatura esté del lado inferior de la pendiente, y positivo en caso contrario.

En todos los casos debe tomarse el valor mayor de Vc, ya que si se está frenando o acelerando el radio a calcular debe ser tal que no se derrape a ninguna velocidad, y, a mayor velocidad, mayor es el radio crítico.

Cálculo de la distancia "D" a que debería haber empezado el frenado con desaceleración "a" un móvil que avanzaba con velocidad "V" para llegar a un punto, un lapso "t" mas tarde de lo que lo hizo.

Esto es útil a efectos de determinar el Punto Sin Solución para la maniobra de frenado parcial.

Si el móvil no frenó, recorrió la distancia "D" en "T", tal que $D = V \cdot T$. [1]

Si el móvil hubiese frenado, recorrer "D" le hubiese insumido otro lapso "T'", mayor que "T" tal que:

$$T' = T + t$$

Entonces se aplicaría:

$$D = V \cdot (T + t) - 0,5 \cdot a \cdot (T + t)^2 \quad [2]$$

Como "D" es la misma, podemos igualar [1] y [2], y operando obtenemos:

$$T^2 + 2 \cdot t \cdot T + t^2 - \frac{2 \cdot V \cdot t}{a} = 0 \quad [3]$$

La [3] es una ecuación cuadrática de la forma $A \cdot X^2 + B \cdot X + C = 0$ con incógnita en T, cuya solución es:

$$T_{1,2} = \frac{-2t \pm \sqrt{4t^2 - 4 \cdot (t^2 - 2 \cdot V \cdot t / a)}}{2}$$

Hallado "T", se calcula "D" con [1] y/o [2].

Cálculo de la distancia "D" a que debería haber hecho el "reprise" con aceleración "a" un móvil que avanzaba con velocidad "V" constante, para llegar a un punto, un lapso "t" antes de lo que lo hizo

Como veremos, este cálculo es útil para determinar el punto sin solución de la maniobra de intentar adelantarse en vez de frenar.

A velocidad "V" constante el móvil recorrió la distancia "D" en "T", tal que

$$D = V \cdot T. \quad [1]$$

Si el móvil hubiese acelerado, recorrer "D" le hubiese insu-mido otro lapso "T'" menor que "T" tal que:

$$T' = T - t$$

Entonces se aplicaría:

$$D = V \cdot (T - t) + 0,5 \cdot a \cdot (T - t)^2 \quad [2]$$

Como "D" es la misma, podemos igualar [1] y [2], y ope-rando:

$$0,5 \cdot a \cdot T^2 - a \cdot t \cdot T + 0,5 \cdot a \cdot t^2 - V \cdot t = 0 \quad [3]$$

La [3] es una ecuación cuadrática de la forma $A \cdot X^2 + B \cdot X + C = 0$ con incógnita en T, cuya solución es:

$$T_{1,2} = \frac{at \pm \sqrt{(a \cdot t)^2 - 2 \cdot a \cdot (a \cdot t^2 + 2 \cdot V \cdot t)}}{a}$$

Luego de obtener así el valor de "T", reemplazándolo en [2], se determina "D".

NOTA: El valor de la aceleración "a" que se puede desarrollar depende de cada vehículo y su velocidad, por lo que deberá obte-nerse del *Road Test* correspondiente para cada caso.

Cálculo de la distancia "D" a que debería haber hecho el "reprise" con aceleración "a" un móvil que avanzaba con velocidad "V" y frenó, para llegar a un punto, un lapso "t" antes de lo que lo hizo

Como veremos, este cálculo es útil para determinar el pun-to sin solución de la maniobra de intentar adelantarse en vez de frenar.

Hemos visto que frenando se recorre la distancia "D" según

$$D = V \cdot T - 0,5 \cdot \mu \cdot g \cdot T^2$$

Donde "T" es el tiempo que insumió la maniobra y " $\mu \cdot g$ " es el *drag-factor*, coeficiente de desaceleración correspondiente al frenado.

Esa distancia, acelerando, se recorre en un lapso (T-t) tal que:

$$D = V \cdot (T - t) + 0,5 \cdot a \cdot (T - t)^2 \quad [A]$$

Como esta distancia "D" es la misma en los dos casos, pode-mos igualar ambos segundos términos de las ecuaciones.

$$V \cdot T - 0,5 \cdot \mu \cdot g \cdot T^2 = V \cdot (T - t) + 0,5 \cdot a \cdot (T - t)^2$$

Operando llegamos a:

$$(a + \mu \cdot g) \cdot T^2 - a \cdot t \cdot T + 2 \cdot V \cdot t + a \cdot t^2 = 0$$

Que es una ecuación cuadrática de la forma $A \cdot X^2 + B \cdot X + C = 0$ con incógnita en T, cuya solución es:

$$T_{1,2} = \frac{at \pm \sqrt{(a \cdot t)^2 - 4(a + \mu \cdot g) \cdot (2 \cdot V \cdot t + a \cdot t^2)}}{2 \cdot (a + \mu \cdot g)}$$

Hallado T de esta manera, se lo reemplaza en [A] para obte-ner el valor de "D".

Cálculo de velocidad y determinación de punto de impacto en función de las posiciones finales de dos objetos que sufrieron fenómenos físicos distintos

Muy frecuentemente el accidentólogo se encuentra con que los únicos datos de que dispone son las posiciones finales de los protagonistas, y de algún elemento que habiendo participado di-námicamente del accidente aparece separado de los protagonistas.

Con esta escasa información, aún es posible lograr una reconstrucción, al menos parcial del hecho, a condición de que las trayectorias post-impacto de los elementos considerados puedan ser analizadas por su fenomenología particular.

Tal es el caso de cristales, u otros elementos de un rodado, que se hayan separado del mismo en el momento del impacto y dicho rodado.

Así, mientras el movimiento post-impacto de los cristales estuvo gobernado por las leyes de la proyección (bajo las cuales debe ser analizado), el movimiento post-impacto del rodado lo estuvo (por ejemplo) por las del frenado.

En consecuencia, se trata de encontrar el punto en que comenzaron a experimentar fenómenos distintos y la velocidad que animaba a ambos objetos en ese instante.

Así, se puede determinar el PDI mediante un proceso iterativo con dos procesos de cálculo independientes, por ejemplo: distancia de frenado y caída de cristales, conociendo las posiciones finales de éstos y del rodado.

Tomando una velocidad de impacto arbitraria, (V_0) se puede obtener a qué distancia " D_0 " del PDI (desconocido por el momento) habrían caído los cristales, si el rodado circulaba a V_0 , es decir determinamos un PDI' con las ecuaciones de caída libre o las de Searle:

$$D_0 = V_0^2 \frac{\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha}{2 \cdot g \cdot \mu} \quad [A] \quad (\text{Searle})$$

Es decir que PDI' se ubicará a una distancia D_0 antes de la posición final de los cristales.

Entre PDI' y la posición final del rodado tendremos entonces una distancia de frenado " D' ", con la que podemos calcular una velocidad de impacto " V' " mediante las ecuaciones de frenado, tal que, circulando a V' , al rodado le insumiera una distancia D' detenerse.

$$V^1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot D^1}$$

Ahora, reemplazando V_0 por V' , en [A], reiteramos el proceso, y obtenemos D'' y V'' .

Continuamos este método de aproximaciones sucesivas hasta que entre V^n y V^{n-1} la diferencia sea menor a la precisión requerida.

Cuando así ocurra, podremos decir que el Punto de Impacto se hallaba a una distancia D_n previo a la posición final y que la

velocidad a la que se separaron los objetos fue V_n , (obviamente en ese instante común a ambos).

Si " V_0 " es elegida criteriosamente, el proceso converge rápidamente.

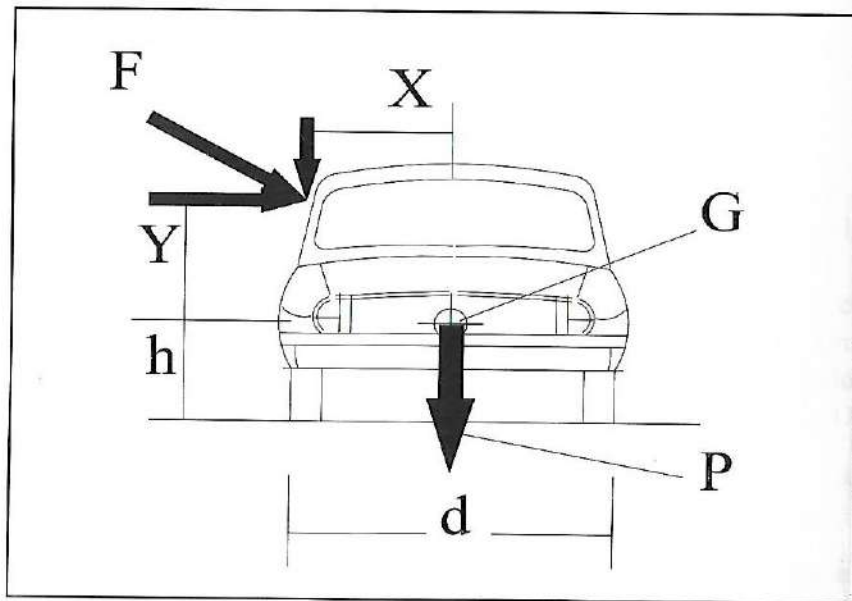
Usualmente una precisión del 10% es suficiente.

Hasta que el "G" alcanza la posición mencionada, cualquier fuerza transversal aplicada a un vehículo hará que el mismo rote, (rote) un cierto ángulo, una vez retirada dicha fuerza el móvil volverá a su posición inicial, es decir que ésta era de equilibrio estable.

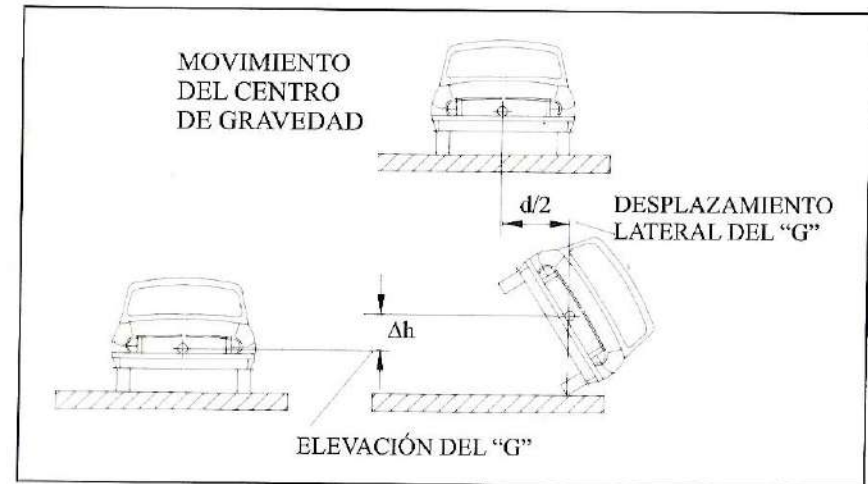
Cuando la rotación coloca a "G" exactamente en la vertical de su punto de apoyo, al retirar la fuerza que provocó tal situación el móvil permanecerá en esa posición; es decir estará en equilibrio.

Pero como cualquier fuerza que se le aplique hará que se desplace, será un equilibrio inestable.

Si esta fuerza tiene la facultad de provocar una rotación como la mencionada (por pequeña que sea), el centro de gravedad "G" superará la posición de equilibrio inestable y el móvil continuará rotando en esa dirección hasta hallar otra posición de equilibrio estable, es decir se producirá el vuelco.



Definimos como vuelco al movimiento que realiza un rodado en el cual un rodado o rotación en un plano perpendicular a su eje longitudinal, coloca a su centro de gravedad "G" más allá de la vertical de uno de sus neumáticos. Es decir del punto en el cual el equilibrio deja de ser "estable".



Se demuestra que, para que un rodado de peso "P" y trocha "d" vuelque por efecto de una fuerza "F", aplicada transversal y horizontalmente, a una altura "h" del piso, debe ser:

$$F \geq 0,5.P.d/h$$

Esta fuerza puede ser la centrífuga en una curva o la acción de otro cuerpo como en un choque.

En el caso de la fuerza centrífuga, la misma se aplica en el centro de gravedad, por lo que "h" será la altura del mismo desde el piso.

En la reconstrucción de accidentes suele ser más útil disponer de la energía insumida para el vuelco.

Para volcar un rodado, es necesario que su centro de gravedad experimente un movimiento, girando alrededor de un centro instantáneo de rotación [que se encuentra en el punto exterior de apoyo del neumático hacia cuyo lado se gira, y el piso] hasta ubicarse en la vertical de dicho centro instantáneo de rotación.

Como sabemos que sólo realizan trabajo mecánico las fuerzas que actúan sobre cuerpos que se mueven en su misma dirección, y que la energía total insumida, o trabajo realizado, es independiente del camino seguido podemos escribir:

$$E \geq F.d/2 + P.\Delta h \pm F.Y \pm P.X$$

Donde "F" es la sumatoria de las fuerzas horizontales y transversales.

"d" es la trocha del rodado.

(El G debe moverse horizontalmente una distancia d/2).

"P" es la sumatoria de las fuerzas verticales, en general el peso del automóvil.

"Δh" es la elevación del centro de gravedad del rodado.

Δh mínimo para vuelco es:

$$\Delta h = \sqrt{0,25.d^2 + h^2} - h$$

"h" es la altura inicial del centro de gravedad desde el piso.

Si se comprobase que en el momento de iniciarse el vuelco el neumático de apoyo estaba elevado una distancia "H", por efecto de las fuerzas actuantes, deberá sumarse "H" a Δh.

"Y" es un factor de corrección ante la posibilidad de que "F" no pase por "G". Si F pasa por arriba de G su signo debe ser negativo. Si, por el contrario, pasase por debajo su signo sería positivo.

"X" corrige la posibilidad de que "P" no pase por "G", si pasase del lado de G que contribuye a su rotación es negativo, por el contrario, positivo.

Se ha mencionado porque teóricamente es posible un "X" discreto, pero en la práctica, rara vez es distinto de cero.

Si "F" fuese la fuerza centrífuga (o, más genéricamente, fuerzas inerciales), "Y" sería cero ya que la misma se aplica en "G".

Si bien se ha tratado el tema del vuelco hacia un costado las ecuaciones son válidas para vuelcos en cualquier dirección, a condición de adecuar los valores a una sección central del vehículo paralela a la dirección del movimiento.

Cuando el vuelco se ha debido a un impacto, puede ser necesario plantear ecuaciones de cantidad de movimiento, lineal y angular.

El vuelco debido a las fuerzas inerciales se produce luego de un tramo de movimiento transversal del rodado (derrape).

El vuelco comienza donde finalizan las huellas de neumáticos, o donde éstos encontraron algún obstáculo tal que impidió seguir su deslizamiento.

Si la superficie es blanda, el movimiento transversal de los neumáticos dejará una especie de surco, en cuyo extremo final suele encontrarse acumulación de los materiales de dicha superficie, empujados por el deslizamiento.

En superficies duras, es dable encontrar arañazos provocados por el rozamiento del borde de la llanta con la misma, en la inminencia del vuelco.

La deformación transversal que sufren los neumáticos que lideran el desplazamiento puede permitir que entre el talón del neumático y su asiento en la llanta queden atrapados residuos, como piedras, pastos, tierra, etc., lo cual resulta útil para determinar la posición del rodado poco antes de iniciar el vuelco.

Experimentalmente se ha comprobado que una vez iniciado el vuelco, el rodado sufre una desaceleración hasta la posición final en un rango de 0,36 a 0,61 g —*Drag factor*— con una media ponderada de 0,42 g, lo que permite calcular la velocidad lineal al inicio del vuelco, y recordando la relación entre el factor de desaceleración y el coeficiente de rozamiento, calcular la velocidad al inicio de las huellas de deslizamiento, como si este factor fuese un rozamiento.

También se ha comprobado empíricamente que la velocidad angular del vuelco debido a fuerzas inerciales es del orden de 1 rps, es decir 360° por segundo, o un cuarto de vuelta en un cuarto de segundo.

Lo anterior explica por qué usualmente en este tipo de accidentes, en automóviles, aparece más golpeado el lateral contrario a aquel en cuya dirección se volcó.

Es así ya que, para iniciar el vuelco, el "G" debió elevarse más de 30 cm, dadas la dimensiones de los automóviles, y que se tarda en caer 30 cm 0,25 seg, es decir que para cuando el "G" ha bajado esos 30 cm, el rodado ha girado 90°, como los coches son más anchos que altos, mientras baja para pegar con el techo, sigue girando, de modo que usualmente golpea primero el borde opuesto del techo o el costado opuesto (a aquel en cuya dirección se produjo el vuelco).

Obviamente el anterior razonamiento no es válido para camiones, colectivos, pick ups o cualquier vehículo cuya anchura no sea mayor que su altura.

Otro dato interesante hallado experimentalmente es que en cada golpe contra el piso la velocidad traslacional del "G" se reduce alrededor de 3 m/s, lo que permite una grosera estimación de la velocidad al inicio del vuelco, si se conocen la cantidad de impactos contra el piso que dio el rodado incluido el de detención final.

Capítulo 56

Caída libre Proyección balística

Otro caso de utilidad para la reconstrucción es el de *caída libre*, en el cual un objeto es soltado desde una altura " H ", con velocidad vertical inicial " $V_{vi} = 0$ ", quedando sometido únicamente a la acción de la aceleración de la gravedad " g ", en este caso se usan las ecuaciones del movimiento rectilíneo uniformemente variado, reemplazando " a " por " g ". Por ejemplo, se determina cuánto tiempo le insume llegar al nivel del piso mediante:

$$T = \frac{-V_{vi} \pm \sqrt{V_{vi}^2 + 2.g.H}}{g}$$

$$\text{como } V_{vi} = 0: T = \sqrt{\frac{2.H}{g}}$$

La velocidad al llegar al piso será:

$$V = g.T = \sqrt{2.g.H}$$

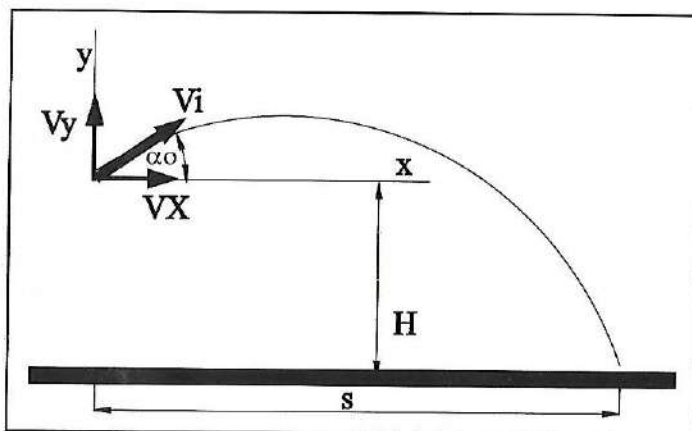
NOTA: debido a la resistencia del aire en una caída libre (sin otra fuerza vertical que el peso propio del cuerpo) desde altura suficiente, la velocidad máxima alcanzable es del orden de 300 km/h, denominándose ésta: "velocidad terminal", pero que está muy por encima de los valores alcanzables en accidentes vial.

Cálculo de la velocidad de proyección de una partícula o cuerpo, conocidas su altura inicial y la distancia entre el sitio donde llegó al piso y donde fue proyectado (proyección balística)

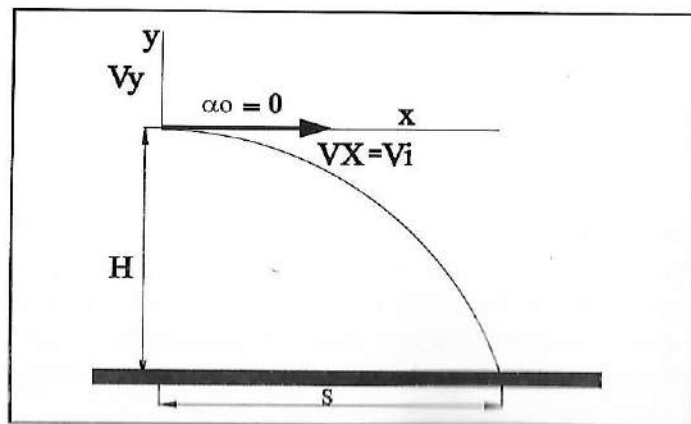
Suele ser también de utilidad conocer el movimiento de una partícula lanzada con velocidad inicial " V_i ", desde altura " H ".

Puede tener cualquier dirección, pero lo usual en reconstrucción es que sea horizontal y así lo consideraremos en este punto.

Proyección no horizontal ($\alpha_0 \neq 0$)



Proyección horizontal ($\alpha_0 = 0$)



El movimiento describirá una parábola, ya que está animado de la velocidad inicial " V_i ", y sujeto a la acción de la aceleración de la gravedad " g ".

Este movimiento es en realidad la composición de dos movimientos independientes, uno de caída libre desde la altura " H ", y otro, rectilíneo uniforme con velocidad " V_i ", y así se los puede tratar, ya que en el lapso

$$T = \sqrt{\frac{2.H}{g}}$$

En que el cuerpo llega al suelo en su desplazamiento vertical debido a la caída libre, recorre una distancia horizontal $D = V_i.T$ debida a la velocidad horizontal.

Esto nos permite, conocida la distancia de proyección de un objeto, de altura inicial conocida, determinar la velocidad de proyección con $V_i = D.T$

Debe tenerse en cuenta que cuando la dirección de proyección no es horizontal, tal hecho debe ser considerado, lo que complica el formuleo, ya que la velocidad inicial vertical " V_{vi} " no será nula, con lo que deberá usarse

$$T = \frac{-V_{vi} \pm \sqrt{V_{vi}^2 + 2.g.H}}{g}$$

Recordando que " V_{vi} " es la proyección sobre la vertical de la velocidad de proyección " V ", así como " V_i " es la proyección de " V " sobre la horizontal, y que es válida la relación

$$V = \sqrt{V_{vi}^2 + V_i^2}$$

Nota: estos cálculos son válidos estrictamente en el vacío, pero a las velocidades usuales de tránsito no presenta errores significativos en situaciones reales.

Capítulo 57

Determinación de velocidad de impacto en función de la distancia total de proyección. Searle

Peatones - objetos o cuerpos portados

A diferencia de lo explicado anteriormente, con este método no se requiere la distancia entre el punto de proyección y aquel donde el cuerpo *llegó* al piso, sino la distancia entre el punto de proyección y la posición final del objeto, lo que incluye rebotes y/o deslizamientos.

Muy frecuentemente en un accidente se produce la "proyección" de algún objeto o cuerpo.

Hay dos tipos de "proyección":

A) Cuando, por efecto de un accidente (embestimiento), el cuerpo es acelerado (es decir se modifica su velocidad y/o su dirección) por el impulso del impacto, a partir de lo cual describirá una determinada trayectoria hasta su posición final.

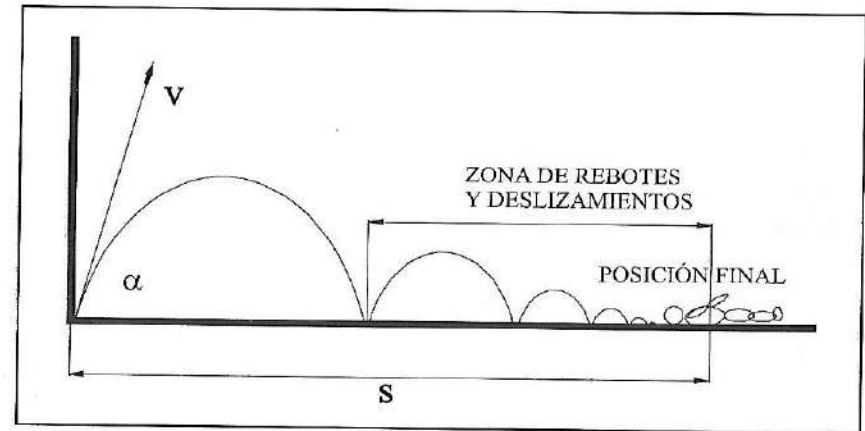
Es el caso de los peatones que son impulsados en la dirección de su embistente sin haber montado sobre su capot, u objetos embestidos que reproduzcan estas condiciones.

B) Cuando ante una brusca desaceleración una parte del móvil se separa del mismo, debido a su inercia, tiende a continuar el movimiento, con la velocidad y dirección que llevaba en el momento de la separación.

Es el caso de partes del rodado, como polvos, cristales, carga, o pedazos de carrocería que se separan del mismo en el impacto. También se encuadran en este caso los motociclistas que salen "despedidos" de sus rodados, tras una colisión, y los peatones, o ciclistas o motociclistas, que tras ser embestidos son montados y llevados un trecho por otro rodado.

En ambos casos la trayectoria seguida, hasta tocar el piso, luego de la separación, será la de una parábola, es decir que mientras su velocidad horizontal se mantiene constante, su movimiento vertical es continuamente acelerado por la gravedad.

A partir del instante en que el cuerpo toca el piso, comenzará a rebotar y/o rodar y/o deslizarse contra el mismo.



SEARLE ha demostrado teóricamente, con contrastación empírica, que la distancia total de proyección " D ", entre el punto de separación y el punto de reposo en la posición final, es función solamente de la velocidad inicial " V ", el ángulo de proyección " α ", y el coeficiente de rozamiento " μ ", siendo independiente del coeficiente de restitución " e ".

" α " es el ángulo vertical, que forma la dirección inicial de proyección con horizontal.

Las ecuaciones de Searle son válidas para todos los elementos cuyo coeficiente de restitución sea 0,2 ó menor, con la única excepción de elementos que puedan rodar, como tazas y partes cilíndricas o esféricas.

Todos los objetos presentes en un accidente tienen un coeficiente de restitución "e" igual o menor a 0,2, con la excepción de los neumáticos inflados, cuyo "e" es del orden de 0,7, por lo que, con su excepción, les son aplicables estas ecuaciones.

Entonces, un objeto hallado a una distancia "D" del punto de separación, en un piso con coeficiente de fricción "μ", del que se separó con un ángulo de proyección "α", fue proyectado con una velocidad inicial "V" según:

$$V = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot D}}{\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha}$$

Se demuestra que la velocidad mínima de proyección para una determinada distancia y rozamiento es:

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

La velocidad máxima correspondiente sólo podrá calcularse si el ángulo de proyección es menor a un ángulo crítico que depende del coeficiente friccional del siguiente modo:

$$\alpha_{\text{crit}} = 180^\circ - 2 \cdot \arctg\left(\frac{1}{\mu}\right)$$

En cuyo caso tenemos:

$$V_{\max} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot D}$$

En la mayoría de los casos se desconoce el ángulo de proyección real, pero, afortunadamente, en la enorme mayoría de las veces, el ángulo de proyección que puede ser asumido razonablemente es muy inferior al crítico, veamos la siguiente tabla:

COEF. DE FRICCIÓN μ	ÁNGULO CRÍTICO DE PROYECCIÓN [°]
0,3	33
0,4	44
0,5	53

COEF. DE FRICCIÓN μ	ÁNGULO CRÍTICO DE PROYECCIÓN [°]
0,6	62
0,7	70
0,8	77
0,9	84

La contrastación de los resultados obtenidos por la aplicación de estas ecuaciones con los empíricos demuestra que las velocidades así obtenidas son algo menores que las reales de impacto, en el caso de embestimiento de peatones.

No podía ser de otro modo, ya que lo que se calcula con ellas es la velocidad inicial de proyección que es la que anima al cuerpo a causa del impacto.

La velocidad de proyección es necesariamente menor que la de impacto, ya que parte de ésta es insumida por las deformaciones plásticas y elásticas de los cuerpos intervinientes, así como en sus rotaciones y giros. (Análogo a un coeficiente de restitución.)

Para obtener la velocidad de embestimiento cuando corresponda hay que tener en cuenta que la velocidad de proyección "VP" es un porcentaje de la de embestimiento "VE", así:

Para adultos embestidos por automóvil: VP = 0,64 VE.

Para adultos embestidos por vehículo frontal VP = 0,74 VE.

Para niños embestidos por automóvil VP = 0,72 VE.

Para niños embestidos por vehículo frontal VP = 0,83 VE.

Llamamos vehículo frontal a aquel cuya forma de trompa impide la rotación del cuerpo embestido (camiones, Pick-ups, Vans etc.).

Si bien muy útil, este método presenta algunos inconvenientes.

Una de las objeciones a las ecuaciones originales de Searle es que sólo son válidas para trayectorias que se originan al mismo nivel que la posición de reposo, cuando en la realidad raramente se da esta situación.

Esto fue subsanado por el mismo Searle en un trabajo de 1993 (The Physics Of Throw Distance In Accident Reconstruction) en el que presentó: $S = D$ = distancia entre separación y posición final:

$$VP = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot (S + \mu \cdot h)}}{\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha}, \text{ y}$$

$$VP \text{ min} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \mu \cdot (S + \mu \cdot h)}{1 + \mu^2}}$$

En las que “h” es la diferencia de alturas entre la de proyección y la de impacto con el piso.

Atención, en estas ecuaciones “h” debe tomarse con su signo, siendo positivo si el punto de impacto con el piso está por encima de la altura del punto de proyección, y negativa en caso contrario (el usual).

Mediante experimentación, en este último trabajo, Searle determinó un coeficiente friccional efectivo adecuado a sus ecuaciones del orden de 0,7 ($\mu = 0,7$).

De todos modos, pese a las correcciones realizadas por Searle subsisten otros inconvenientes para el uso práctico de sus ecuaciones (y las de varios otros investigadores), como ser:

- Dificultad para estimar el ángulo de proyección.
- No considerar el peso y/o la actitud del peatón.
- Que son aplicables sólo a algunos tipos de trayectorias
- Que en todos los casos requieren conocer la distancia recorrida por el peatón (o cuerpo u objeto portado desde su punto de proyección hasta su posición final, la que muy frecuentemente es desconocida, y suele ser trascendente para determinar la microubicación del impacto —por ejemplo para saber si un peatón fue embestido sobre una senda peatonal o no—.

El único dato del que casi siempre se dispone es la distancia entre posiciones finales del rodado y del peatón.

Esto nos ha llevado a desarrollar el método I.A.V., que esbozamos en el capítulo siguiente.

Capítulo 58

Método I.A.V. para reconstruir embestimiento de peatones

Hasta donde sabemos, el “Método I.A.V.” (Instituto de Accidentología Vial) es el único hasta ahora que permite conocer la velocidad de proyección y la de impacto, conociendo sólo las posiciones finales de peatón y rodado.

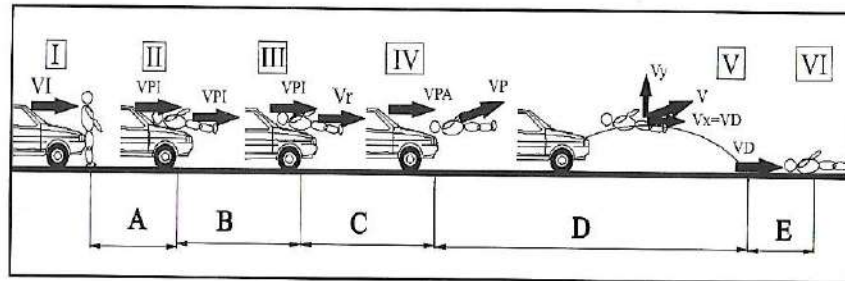
Aclaremos que también es utilizable para distintos objetos portados por el móvil, con las mismas restricciones que el método de Searle.

Además presenta soluciones para todas las posibles trayectorias típicas de peatones embestidos, considerando su peso, altura y actitud en el momento del impacto, y contempla todas las combinaciones de datos de los que se puede llegar a disponer en una investigación real, siendo el más extremo en cada caso aquel en el que se dispone sólo de las posiciones finales del vehículo y el peatón embestido.

Por su extensión no podemos tratarlo en integridad en este volumen. Está desarrollado y validado contra datos empíricos en “Embestimiento de Peatones” del autor, pero diremos que se basa en dividir el movimiento del cuerpo y del rodado en “etapas” relacionadas con “hitos” de la trayectoria.

Así, en el caso más general, en el que están presentes todas las etapas, pueden reconocerse los siguientes hitos:

Etapas de un embestimiento



- I. Impacto. Hay cambio en la cantidad de movimiento del peatón y el rodado.
- II. El cuerpo alcanza la velocidad del rodado.
- III. Comienza desaceleración del rodado.
- IV. Separación.
- V. El cuerpo llega al piso.
- VI. Posición final del cuerpo.

Descripción de las etapas de accidente con peatón

Cada uno de los hitos mencionados determina el inicio o fin de alguna de las etapas en las cuales transcurren fenómenos físicos diferentes.

Etapa "A". **"Aceleración del cuerpo"**: Entre I y II el cuerpo es acelerado hasta la velocidad post impacto del rodado.

Etapa "B". **"Portación del cuerpo"**: Entre II y III, el cuerpo es portado a la velocidad post impacto del rodado.

Etapa "C". **"Movimiento sobre el capot"**: Entre III y IV el cuerpo se desliza sobre el capot.

Etapa "D". **"Vuelo"**: Entre IV y V el cuerpo del peatón realiza el tramo aéreo de su proyección.

Etapa "E". **"Deslizamiento"**: Entre V y VI el cuerpo se desliza sobre el piso hasta su posición final.

Esta división permite analizar cada etapa por separado y llegar a describir en términos físicos la integridad del fenómeno, y además, poder considerar si se conocen datos de puntos interme-

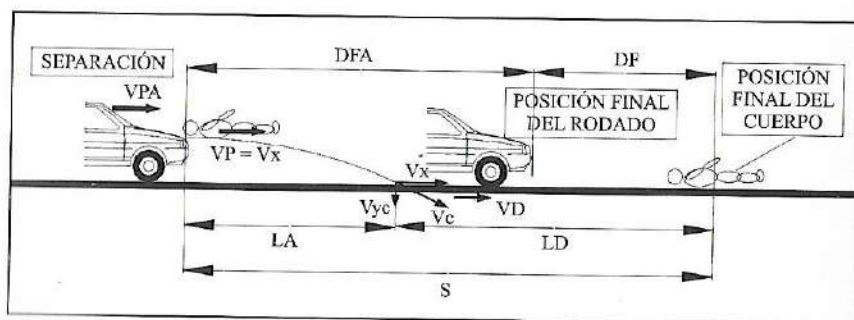
dios, como ser los "hitos" (por ejemplo el punto donde el cuerpo impactó con el piso).

Reiteramos, el "Método I.A.V." permite reconstruir todos los casos de embestimiento de peatones, en cualesquiera de sus trayectorias posibles.

Como ejemplo, en el siguiente capítulo mostraremos la reconstrucción para la trayectoria "Montado Sobre Capot", cuando sólo se conoce la distancia entre posiciones finales, y que el ángulo de proyección del cuerpo fue nulo.

**Determinación de la velocidad de impacto conocida.
Sólo la distancia entre posiciones finales con ángulo de proyección nulo montado sobre capot**

A modo de ejemplo de aplicación del “Método I.A.V.” se resolverá éste, que es uno de los casos más frecuentes:



Es frecuente encontrar que el único dato que se conoce de un accidente de este tipo es la distancia que medió entre las respectivas posiciones finales del rodado y del peatón, “DF”.

Es posible reconstruir cuantitativamente estos casos, si hay evidencias que indiquen que el cuerpo fue portado por el rodado, con proyección aproximadamente horizontal.

Desde el punto de proyección hasta la posición final del cuerpo, la distancia es “S”, formada por la suma de “LA” y “LD”.

“LA” es la distancia recorrida por el cuerpo durante su tramo aéreo o “vuelo”.

“LD” es la distancia recorrida por el cuerpo durante su deslizamiento sobre el piso.

“S” también puede ser considerada como formada por la distancia habida entre las posiciones finales “DF” (que es dato en este problema) y la distancia recorrida por el automóvil desde el punto de proyección o separación hasta su posición final “DFA”.

$$\text{Es decir } S = LA + LD$$

$$\text{y: } S = DFA + DF$$

$$\text{con lo que } LA + LD = DFA + DF$$

$$LA + LD - DFA - DF = 0$$

La distancia de frenado del auto desde la proyección hasta su detención es “DFA”, que surge de:

$$DFA = \frac{VAP^2}{2 \cdot g \cdot \mu_a}$$

Donde “VAP” es la velocidad del auto en el instante de la proyección del cuerpo.

Como la velocidad de proyección respecto del piso “VP” es, en este caso, igual a la velocidad del auto en el instante de la proyección “VAP” respecto del piso más la velocidad del cuerpo relativa al auto en ese instante “Vfr”.

$$VAP = VP - Vfr$$

$$Vfr = \sqrt{(\mu_a - \mu_c) \cdot g \cdot d}$$

“d” es la longitud del rozamiento del cuerpo con la carrocería, “ μ_a ” el coeficiente de rozamiento neumáticos-piso y “ μ_c ” es el coeficiente de rozamiento cuerpo carrocería.

La velocidad de deslizamiento “VD” provocará un deslizamiento del cuerpo sobre el piso por una distancia “LD” tal que:

$$VD = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot LD}$$

$$LD = \frac{VD^2}{2 \cdot g \cdot \mu}$$

La velocidad de proyección "VP" provoca una trayectoria del cuerpo tal que su tramo de vuelo insume una distancia horizontal "LA".

$$LA = VP \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$$

$$VD = Vx - \mu \sqrt{2 \cdot g}$$

$$VP = \frac{-\frac{2Vfr}{\mu_a} \pm \sqrt{\frac{4 \cdot Vfr^2}{\mu_a^2} - 4 \left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\mu_a} \right) \left(2 \cdot g \cdot h \cdot \mu - \frac{Vfr^2}{\mu_a} - 2 \cdot g \cdot DF \right)}}{2 \left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\mu_a} \right)}$$

Es condición para la solución que "VP" sea positiva.

$$VPI = \sqrt{VP^2 + 2 \cdot (\mu_a - \mu_c) \cdot g \cdot d}$$

$$VI = \frac{VPI \cdot MT - V_k \cdot Mc}{MA}$$

"VI" es la velocidad de circulación inicial o velocidad de impacto y "MA" es la masa del rodado, "Vk" la velocidad del cuerpo y "Mc" su masa.

Como usualmente la velocidad del cuerpo en la dirección del rodado es despreciable, se transforma en:

$$VI = \frac{VPI \cdot MT}{MA}$$

Con la cual, resolviendo el sistema de ecuaciones, queda determinada la velocidad de impacto "VI".

Podemos determinar el punto donde empezó la proyección:

$$da = VPI \cdot t_3 - 0,5 \cdot \mu_a \cdot g \cdot t_3^2$$

$$t_3 = \frac{VPI - VAP}{\mu_a \cdot g}$$

Donde "da", distancia de frenado del auto hasta la proyección del cuerpo.

Es decir que sumando "da" a "S" obtenemos la distancia de la posición final del cuerpo a la que el rodado empezó la frenada ("DTF").

Consecuencia importante

Este método, tras su aplicación a todas las trayectorias típicas post impacto de peatones, ha permitido demostrar que es condición necesaria y suficiente para que el rodado no arrolle al peatón que embistió, que en el momento de la proyección haya estado frenando.

Y, a la inversa, demuestra que si un rodado arrolla al peatón tras embestirlo es porque no estaba frenando en el momento del impacto

Aclaración

Este método ha sido desarrollado específicamente para cada una de las posibles trayectorias de peatones embestidos, y se encuentra publicado en *Embestimiento de peatones*, Víctor Irureta, Editorial La Rocca, Buenos aires, 2011.

LIBRO

VII

Ejemplo
de reconstrucción
y análisis
de un accidente

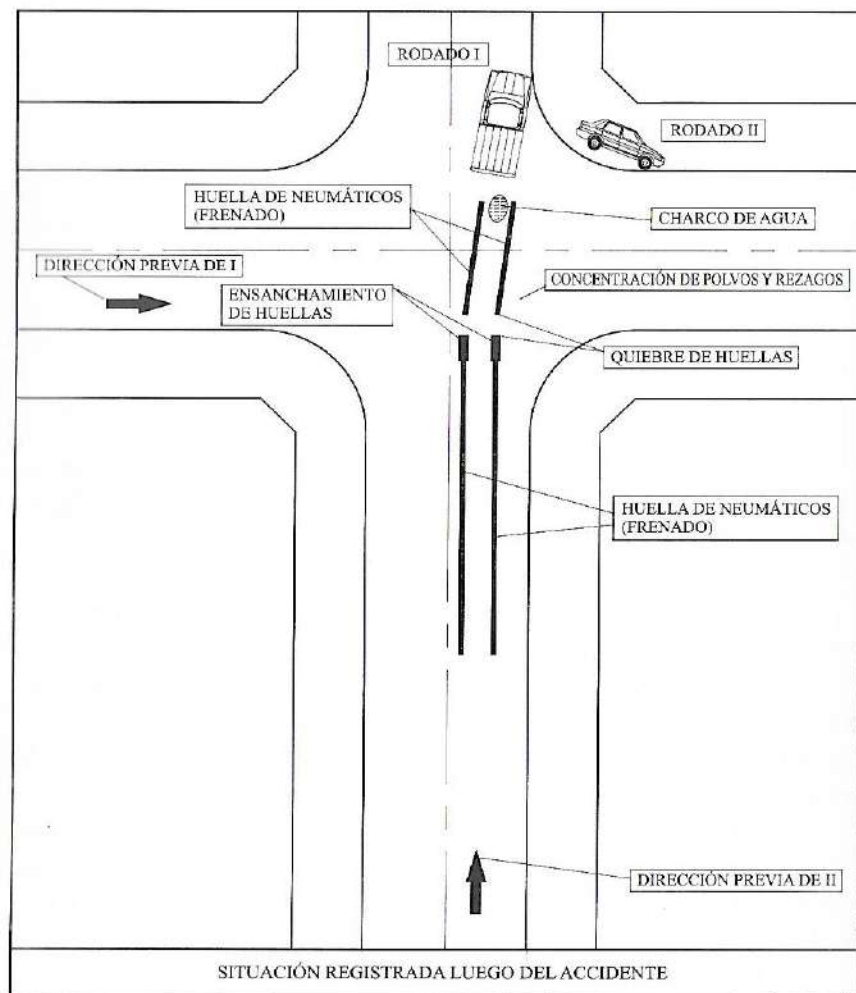
Capítulo 60

Ejemplo de reconstrucción de un accidente

Luego de un accidente se han registrado elementos que se observan en el gráfico "Situación Registrada Luego del Accidente", en el que se puede observar:

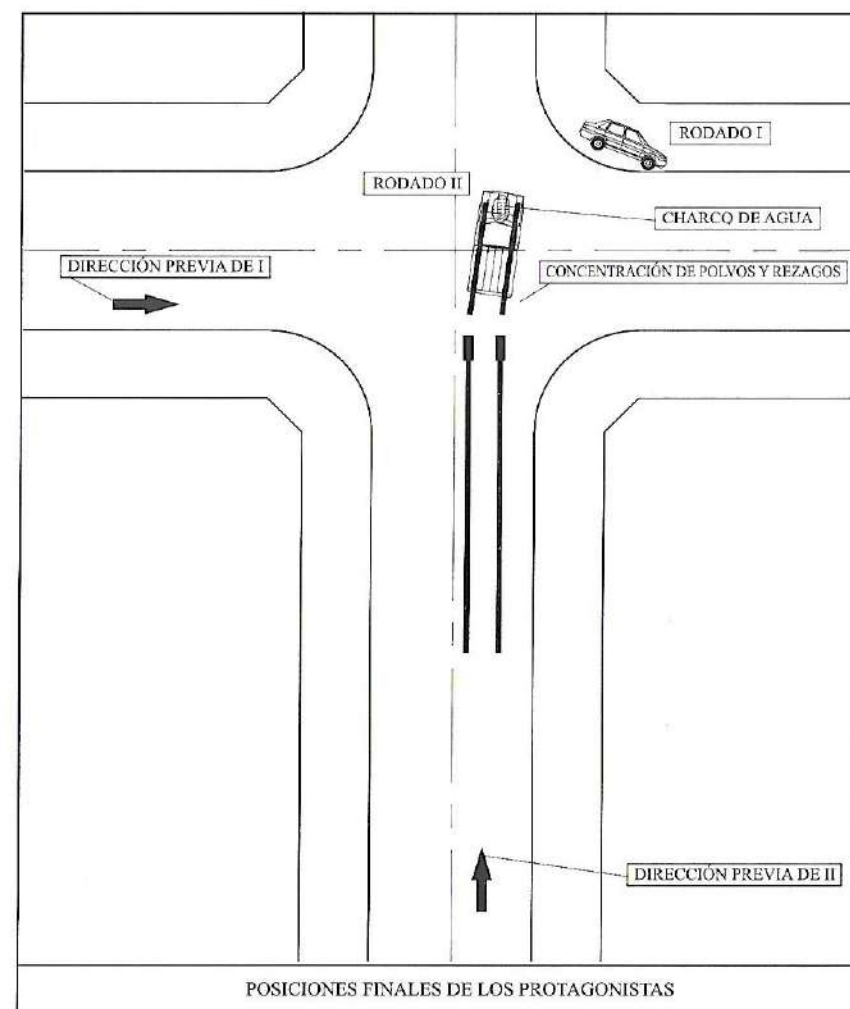
- 1) Los "polvos" indican la zona del Punto De Impacto.
- 2) El ensanchamiento de sus huellas de frenado determina la posición del II en el instante del impacto
- 3) El charco de agua determina la posición final de su trompa por lo que resulta obvio que este rodado fue movido, luego de la estabilización de los hechos, desde su posición final hasta aquella en que aparece dibujado.
- 4) Las huellas de frenado del II indican su dirección previa.
- 5) La recta que une la posición de la trompa del II en el momento del impacto con el charco determina la dirección post-impacto de su movimiento.
- 6) La ubicación de la impronta de impacto en el rodado I nos determina, junto con la dirección previa de II, la dirección de su trayectoria previa.
- 7) La recta que une la posición de la impronta de RI en el PDI y en su posición final nos determina su trayectoria post-impacto.
- 8) El conjunto de direcciones previas y daños sufridos por los rodados (el II mostró daños en su trompa típicos de compresión antero-posterior, mientras que el I mostró impronta de im-

pacto transversal en lateral trasero derecho) indican que el rodado II fue el embistente físico.



9) El ángulo de incidencia del choque fue de 90° aproximadamente.

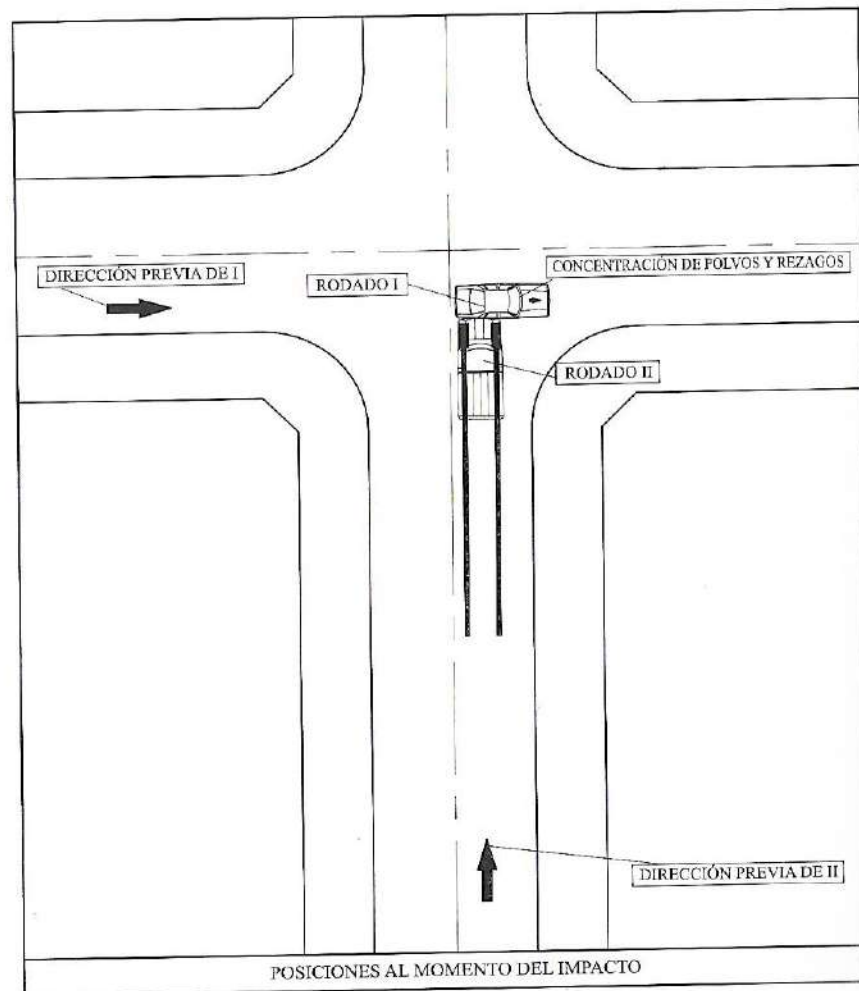
10) Luego del impacto, el I adquirió un movimiento transversal que llevó a sus neumáticos izquierdos a impactar lateralmente con el cordón de la vereda, como consecuencia de este impacto el rodado volcó, debido a su inercia.



Estos elementos nos permiten realizar las siguientes consideraciones:

A) El escaso desplazamiento longitudinal de I (producto de su propia inercia) desde el PDI hasta su posición final, implica que al momento del impacto hubo de estar animado de escasa velocidad.

B) Todo el movimiento transversal del I se realizó a expensas de la energía transferida por el impacto del II en esa dirección.



Los fenómenos de movimiento longitudinal del II y transversal del I están gobernados por la siguiente ecuación energética:

$$ECO = EFII + ED + ETI + EVI + EPII$$

Donde:

ECO es la energía cinética que animaba al II en el momento de iniciar su frenado.

EFII es la energía disipada durante el frenado del II.

ED es la energía insumida por las deformaciones que produjo el impacto.

ETI es la energía insumida por el desplazamiento transversal del I desde el PDI hasta el comienzo del vuelco.

EVI es la energía requerida para producir el vuelco del I.

EPII es la energía consumida por II para recorrer su trayectoria post-impacto.

Es decir que, salvo la componente longitudinal del movimiento del rodado I (embestido transversalmente), todos los fenómenos físicos que ocurren son debidos a la energía cinética del embistente II.

Para resolver la ecuación energética planteada es conveniente el tratamiento en orden cronológico inverso, veamos:

Energía insumida por el vuelco de I

Hemos visto que en este caso se aplica:

$$EVI = 0,5.F.d + P.\Delta h \pm F.Y \pm P.X$$

Como la fuerza "F" que provoca el vuelco es inercial (baricéntrica), y como la altura del cordón de la vereda es sumamente pequeña frente a las otras dimensiones, es válido considerar que, en este caso, tanto "X" como "Y" son nulas.

Entonces:

$$EVI = 0,5.F.d + P.\Delta h$$

En la que "d" es la trocha del rodado I "Δh" la elevación máxima de su centro de gravedad, y "P" su peso.

Sabemos que:

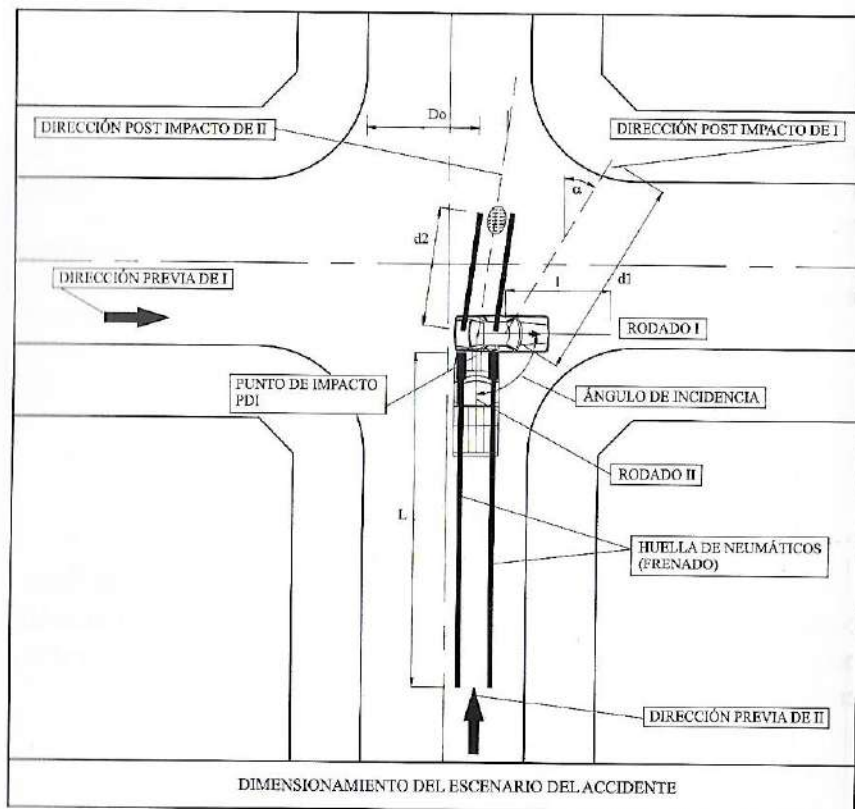
$$F = 0,5.P \cdot \frac{d}{h}$$

y que:

$$\Delta h = \sqrt{0,25.d^2 + h^2} - h$$

Donde "h" es la altura del centro de gravedad del rodado I, (la cual, si no se dispone del dato cierto, puede tomarse con más que suficiente aproximación como la semisuma de las alturas de

las fijaciones a la estructura de los paragolpes trasero y delantero, para esa condición de carga).



Energía insumida por la trayectoria post-impacto de I

Como consideramos sólo el desplazamiento transversal, el que ocurre venciendo la resistencia por rozamiento de los neumáticos, podemos plantear que vale:

$$ETI = \mu l . P . d_1 . \cos . \alpha$$

Donde “ μl ” es el coeficiente de rozamiento lateral (15% superior al longitudinal); “ d_1 ” es la distancia entre el punto de impacto y el de inicio del vuelco. “ α ” es el ángulo que forma la trayectoria post-impacto del I con la dirección preimpacto de II.

Obviamente la suma de EVI más ETI representa la energía cinética post-impacto que animó transversalmente, a consecuencia del impacto al rodado I, es decir: $ECI2 = EVI + ETI$.

Como también $ECI = 0,5 MI VI2^2$, podemos obtener VI2 como:

$$VI2 = \sqrt{2 \cdot \frac{EVI + ETI}{MI}}$$

Que es la componente transversal de la velocidad del I inmediatamente luego del choque.

Energía disipada por el movimiento post-impacto del rodado II

Como las huellas de frenado luego del PDI demuestran, este rodado continuó su movimiento frenando luego del choque, por lo que tenemos que la energía necesaria para realizar tal desplazamiento es:

$$EPH = 0,5 . MII . VII2^2 = \mu . MII . g . d$$

La que se disipó al efectuar el movimiento contra el rozamiento de los neumáticos, lo que nos permite también obtener VII2 como:

$$VII2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot d}$$

Que es la velocidad del II inmediatamente luego del choque.

La velocidad del I antes del impacto en la dirección en la que se está analizando (transversal a su avance) es cero, es decir: $VII1 = 0$.

A partir de la definición del coeficiente de restitución “K”:

$$k = \frac{VII2 - VI2}{VI1 - VII1}$$

Podemos obtener VII1 como:

$$VII1 = VI1 - \frac{VII2 - VI2}{k}$$

Que es la velocidad del II inmediatamente antes del accidente.

El valor de "K" depende de la velocidad de impacto, ver capítulo correspondiente (conviene hacer un cálculo preliminar para, con velocidad resultante, ajustar el valor de "K").

Energía insumida por las deformaciones

La energía insumida por las deformaciones del choque responde a la ecuación:

$$ED = 0,5.(MI.MII).(VI1 - VII1)^2 \cdot \frac{1 - k^2}{MI + MII}$$

Otra forma de determinar la energía insumida por las deformaciones, de ser posible, es estimar la energía de deformación mediante el método brindado en el capítulo: "Energía de Deformación".

Energía disipada por el frenado del II antes del impacto

Es la parte de la energía cinética inicial del rodado II disipada durante la frenada anterior al choque por el rozamiento de los neumáticos durante la longitud de ésta.

$$EFII = \mu \cdot g \cdot MII \cdot L \cdot C$$

Donde "MII" es la masa del II; "L" la longitud de su frenada desde el inicio hasta el PDI; "C" coeficiente que considera la disipación de energía previa a dejar huellas de frenado nítidas, "g" es la aceleración de la gravedad y "μ" el coeficiente de fricción.

Como ya tenemos calculadas todas las energías parciales puestas en juego, podemos calcular la energía cinética inicial ECo que animaba al rodado II como su sumatoria.

Conocida entonces ECo, podremos calcular VIIo, ya que:

$$ECo = 0,5.MII.VIIo^2 \text{ entonces}$$

$$VIIo = \sqrt{\frac{2.ECo}{MII}}$$

Que es la velocidad de circulación previa del II.

Para calcular la velocidad al momento del impacto del vehículo I, consideramos que su desplazamiento longitudinal es debido exclusivamente a su energía cinética previa.

Como no se han registrado huellas de frenado de este móvil su velocidad al impacto se encontrará entre las que surjan del cálculo de detención sin frenar (VII_{mín} - desplazamiento longitudinal post impacto en rodadura) y del cálculo de máximo frenado entre el punto de impacto y su posición final (VII_{máx}).

Este último valor será la velocidad máxima a la que pudo estar circulando en el momento del impacto, para, luego del mismo, quedar donde lo hizo. Entonces:

$$VII_{\max} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu_{\max} \cdot l}$$

En la que "l" es la proyección sobre su dirección previa de la distancia entre el PDI y la posición final de I.

$$l = dI \cdot \text{sen} \alpha$$

"μ_{max}" es el coeficiente de rozamiento equivalente a frenada con máxima eficacia.

También es necesario calcular la velocidad mínima a la que pudo circular el rodado I "VII_{mín}":

$$VI1_{\min} = \sqrt{2 \cdot \frac{Tr}{MI}}$$

Donde "TR" es la energía insumida para vencer la resistencia al avance "RA" mientras se recorrió "l" en rodadura;

$$\text{Como } TR = RA \cdot l$$

$$VI1_{\min} = \sqrt{2 \cdot R \cdot A \cdot \frac{l}{MI}}$$

A los efectos jurídicos puede ser útil determinar la velocidad máxima "VIo_{max}" a la que el móvil I pudo haber ingresado a la bocacalle:

$$VIo_{\max} = \sqrt{2 \cdot \mu_{\max} \cdot g \cdot Do + VII^2}$$

Donde "Do" es la distancia entre el ingreso a la bocacalle de la zona impactada del rodado y el punto de impacto.

Esto nos permitirá verificar la posibilidad o imposibilidad física de que el rodado I ingresase al cruce a exceso de velocidad.

Con todo lo cual ya podemos describir los fenómenos acaecidos en el entorno témporo-espacial del accidente:

Así:

El rodado II, que circulaba por el medio de su mano a velocidad VIIo en dirección al Norte, clava sus frenos en frenada de pánico (*Stop Panic*), pese a lo cual embiste en su lateral trasero derecho al móvil I, con una velocidad de impacto VIII1.

La energía disipada y/o transferida durante el choque hizo que su velocidad, inmediatamente tras el mismo, fuese VII2.

Tras el impacto el rodado II continúa su movimiento, aun frenando, hasta alcanzar su posición de reposo.

El rodado I, circulando hacia el Este, es embestido en su lateral trasero derecho cuando circulaba a una velocidad comprendida entre VIImín y VIImáx.

Como consecuencia del embestimiento, el móvil I describe una trayectoria oblicua, cuya componente transversal a su dirección original es debida a la transferencia de energía que le impuso el II al embestirlo.

Esta trayectoria lo lleva a impactar lateralmente con sus ruedas izquierdas contra el cordón de la ochava y volcar.

Debe aclararse que nada puede decirse sobre los parámetros que regían el movimiento del I antes del impacto, ya que no se registran elementos que permitan su determinación, por lo que este rodado antes del impacto pudo haber estado tanto circulando a velocidad constante VII1, como haber acelerado desde una velocidad menor (inclusive desde la detención) como haber estado frenando desde una velocidad superior a VII1.

De la ubicación del punto de impacto (PDI) podemos afirmar que el choque se produce cuando el móvil I estaba terminando el cruce y el II estaba ingresando al mismo.

Capítulo 61

Ejemplo de análisis de un accidente

Procederemos a realizar el "análisis" del accidente que hemos reconstruido en el ejemplo anterior.

El "PDI" (Punto de Impacto) queda definido, como ya se explicó, por la ubicación de los polvos y de la trompa del rodado II en ese instante (determinada por el ensanchamiento de sus huellas de frenado).

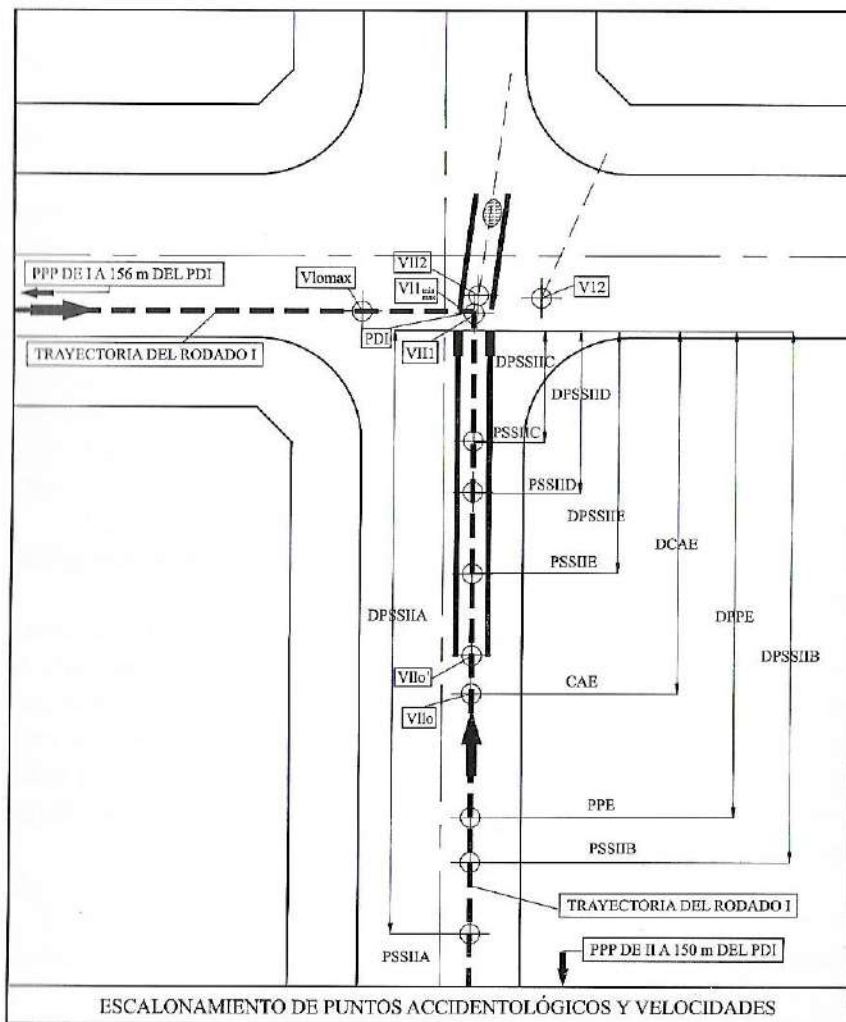
A la ocurrencia del impacto, le asignamos el instante "T = 0" (cero), y la coordenada cero en cada una de las trayectorias de los móviles.

Para rodado II

El Comienzo de Acción Evasiva (CAE) de este móvil se encuentra, como viéramos, sobre su trayectoria, 0,50 segundos antes del inicio de las huellas de frenado.

Para ubicar temporalmente este punto debemos conocer la velocidad desarrollada por II en el instante de comenzar a dejar nítidas huellas de su frenado, "VIIo" para lo cual sabemos que la energía disipada durante el trayecto que media entre dicho inicio y el PDI es "EFII" y que:

$$EFII' = \mu \cdot g \cdot MILL$$



La que a su vez es equivalente a la variación de energía cinética: $\Delta Ec = 0,5.MII.(VIIo'^2 - VII1^2)$ de donde obtenemos:

$$VIIo' = \sqrt{2.g.\mu.L + VII1^2}$$

Como a su vez:
$$\frac{VIIo' - VII1}{Tf} = \mu.g$$

Donde Tf es el lapso insumido por el frenado. (Recordar que " $\mu.g$ " es el factor de desaceleración o *drag-factor*.)

Tenemos
$$Tf = \frac{VIIo' - VII1}{\mu.g}$$

Por lo tanto el CAE, comienzo de acción evasiva, estuvo ubicado temporalmente a $(Tf + 0,5)$ segundos antes del impacto, es decir en $TCAE = -(Tf + 0,5) \text{ seg.}$

Su ubicación física (DCAE) surge de:

$$DCAE = -[VIIo.(Tf + 0,5) - 0,5.\mu.g.(Tf + 0,5)^2]$$

Como ya explicáramos, el signo negativo indica que el punto se ubica antes del PDI en la trayectoria del móvil considerado.

El Punto de Percepción Efectiva (PPE) se ubicó un lapso equivalente al Tiempo de Percepción y Reacción (TPR) antes del CAE (Comienzo de Acción Evasiva).

Dadas las circunstancias de autos, corresponde considerar Reacción Compleja, es decir un $TPR = 1 \text{ seg.}$, por lo que el Punto de Percepción Efectiva se encontró en el instante:

$$TPPE = -(Tf + 0,5 + 1) \text{ seg}$$

Como durante el tiempo de reacción el móvil estaba animado de una velocidad constante " $VIIo$ ", su ubicación física será: $VIIo.TPR$ antes del "CAE", es decir:

$$DPPE = -[VIIo.(Tf + 0,5) - 0,5.\mu.g.(Tf + 0,5)^2 + VIIo.TR]$$

El PSSII (Punto Sin Solución para el móvil II) depende de la maniobra que se considere, así pudo intentar:

- Frenar para detener totalmente su marcha antes del PDI.
- Frenar para retrasar su llegada al PDI (unos segundos de retardo habrían bastado para que el rodado I pasase por delante sin ser embestido).
- Desviar lo suficiente su trayectoria para pasar por detrás del móvil I.
- Pasar por delante del I mediante la adecuación de velocidad, ya sea manteniendo la inicial como acelerando.
- Intentar modificar los parámetros cinemáticos del otro rodado (tocar bocina por ejemplo).

F) Algunas combinaciones posibles de las maniobras antedichas.

Determinaremos ahora el PSS para cada una de ellas, destacando que basta con que una de ellas haya sido posible para que el accidente pueda calificarse de evitable.

A) *Frenar para detener totalmente su marcha antes del PDI.*

La distancia que insume el frenado hasta la detención total de un móvil que circule con velocidad inicial "VIIo" es:

$$Df = \frac{VIIo^2}{2 \cdot g \cdot \mu_{\max}}$$

Como hemos determinado que para este caso el tiempo de percepción y reacción es TPR, lapso durante el cual el móvil circula a la velocidad inicial "VIIo", el PSSIA (Punto sin solución del II para la maniobra A) se encontrará entonces a una distancia del PDI dada por:

$$DPSSIA = \frac{VIIo^2}{2 \cdot g \cdot \mu_{\max}} + VIIo \cdot TPR$$

B) *Frenar para retrasar su llegada al PDI. En este caso el lapso de retardo "t" debe calcularse como:*

$$t = \frac{Lx}{VII}$$

Donde "Lx" es la distancia entre el extremo delantero de la impronta habida en el rodado I y el extremo trasero de dicho móvil, ya que "t" representa el lapso que hubiese bastado para que este auto pasase frente al II sin que se tocasen.

Más arriba hemos visto que para que esto ocurra el frenado debe iniciarse un tiempo "T" antes del accidente, tal que:

$$T_{1,2} = \frac{-2 \cdot t \pm \sqrt{4 \cdot t^2 - 4 \cdot \left(t^2 - \frac{2 \cdot VIIo \cdot t}{g \cdot \mu_{\max}} \right)}}{2}$$

Lo que nos permite hallar la distancia a la que hubo de iniciarse el frenado parcial "DFP":

$$DFP = VIIo \cdot T$$

Para determinar el Punto Sin Solución para esta maniobra (PSSIIB) habrá que sumar a DFP la distancia recorrida durante el TRP, así:

$$PSSIIB = VIIo \cdot \left[\frac{-2 \cdot t \pm \sqrt{4 \cdot t^2 - 4 \cdot \left(t^2 - \frac{2 \cdot VIIo \cdot t}{g \cdot \mu_{\max}} \right)}}{2} \right] + TPR$$

C) *Desviar lo suficiente su trayectoria.*

Como ya hemos visto, el radio más pequeño con que se puede describir una curva plana es, en este caso:

$$R \geq \frac{VIIo^2}{\mu \cdot g}$$

Y que puede demostrarse que:

Donde "Lx" tiene el mismo significado y valor que en la maniobra anteriormente considerada, lo que permite obtener:

$$\alpha = \arccos \frac{R - Lx}{R}$$

También se demuestra que: $Dd = R \cdot \text{sen} \alpha$

"Dd" es la distancia mínima del PDI a la cual se debe iniciar la maniobra de desvío para pasar a una distancia "Lx" del obstáculo (rodado I en este caso).

Nuevamente el PSSIIC se obtiene de agregar a la distancia "Dd" la recorrida durante el TPR, entonces:

$$PSSIIC = \frac{VIIo^2}{\mu \cdot g} \cdot \text{sen} \cdot \text{arc} \cdot \cos \frac{R - Lx}{R} + VIIo \cdot TPR$$

D) *Pasar por delante del I. Para pasar por delante del I sin embestir ni ser embestido el rodado II debió llegar a la zona del PDI un lapso "Tp" antes de lo que lo hizo.*

"Tp" debió ser la sumatoria de los siguientes dos tiempos:

a) El que le insumió a la trompa del I recorrer la distancia que media entre la posición de su trompa en el instante del impacto y el costado izquierdo del rodado II (que llamamos "Ly", es decir el lapso requerido para que I no llegase a penetrar en el área "barrida" por el rodado II.

Se calcula $Ta = Ly / VII$

b) El que le habría insumido al rodado II atravesar totalmente el área que hubiese barrido el I. Esto es la longitud conformada con la sumatoria de la longitud del móvil II (LII) más el ancho del móvil I (AI).

$$\text{Dicho lapso es } Tb = \frac{LII - AI}{VIIo}$$

Entonces el adelanto necesario $Tp = Ta + Tb$ habría sido:

$$Tp = \frac{Ly}{VII} + \frac{LII + AI - Lx}{VIIo}$$

Este adelanto pudo ser logrado eventualmente no frenando, y si esta alternativa no era suficiente, mediante la aceleración desde una adecuada distancia del PDI.

Para verificar la primera alternativa comparamos el tiempo que le hubiese insumido al móvil II recorrer la distancia habida entre su CAE (comienzo de acción evasiva) y el PDI (punto de impacto), si su conductor no hubiese frenado.

Tal tiempo "T1" habría sido: $T1 = DCAE / VIIo$.

Comparando los valores absolutos de "T1" con el de "TCAE" (calculado antes) obtenemos que:

Si "TCAE" menos "T1" es igual a "Tp", el punto sin solución para esta maniobra coincide con el "CAE", es decir:

$$DPSSIID = DCAE$$

Si "TCAE" menos "T1" es mayor que "Tp" implica que el PSSII se encontraba por delante del CAE para esta alternativa de maniobra.

Si la diferencia "TCAE" menos "T1" es menor a "Tp" (adelanto requerido para no chocar), esta alternativa (mantener la velocidad) no habría evitado el accidente, por lo que será necesario analizar la alternativa de aceleración, es decir, determinar a qué distancia debió empezarse a acelerar para llegar al PDI con un adelanto equivalente a TP.

Analizaremos la alternativa de acelerar en vez de frenar.

Como viéramos oportunamente, para llegar al PDI un lapso TP antes del instante en que ocurrió el impacto, debió empezarse la aceleración o "reprise" un tiempo T2 antes dado por:

$$T2 = \frac{a.TP \pm \sqrt{(a.TP)^2 - 4.(a + \mu.g).(2.VIIo.t + a.TP^2)}}{2.(a + \mu.g)}$$

Lo que nos permitía hallar la distancia mínima a la que debió iniciarse la acelerada "DPSSIID" reemplazando "T2" en:

$$DPSSIID = VIIo.(T - TP) + 0,5.a.(T - TP)^2$$

E) *Intentar modificar los parámetros cinemáticos del otro rodado.*

La ejecución de esta maniobra (tocar bocina o "hacer luces") insume $Te = 0,5$ segundos aproximadamente, pero debe dar tiempo a la percepción-reacción total del otro conductor (TPRTI), más un lapso de, por lo menos, un segundo para que sus parámetros cinemáticos se modifiquen lo suficiente "Tm" (si es que la percibe y acata), por lo que esta maniobra debe realizarse un lapso de:

$$TD = Te + TPRTI + Tm \text{ antes de llegarse al PDI.}$$

Si agregamos el TRP del conductor del II, estaremos en el instante sin solución para esta maniobra "ISSE":

$$ISSIE = Te + TPRTI + Tm + TPRII$$

Por lo dicho, entonces el PSSIIE se encontrará a una distancia del PDI equivalente a:

$$DISSIIE = VIIo.(Te + TPRTI + Tm + TPRII)$$

Punto de posible percepción

El PPPII (Punto de Posible Percepción del conductor del rodado II) queda determinado en el terreno por la posición desde la cual una persona habilitada para conducir pudo percibir el riesgo.

El cruce de calles representa un "riesgo" para quien lo atraviesa, y en este caso era percibible desde una distancia de por lo menos 150 m.

Además podemos decir que desde que un rodado comienza a ingresar a una bocacalle se convierte en "peligro" para aquellos que tengan con él trayectorias concurrentes.

De ser necesario se podría determinar el punto de posible percepción del peligro, pero usualmente es más que suficiente, a los efectos jurídicos y del análisis del accidente, determinar el PPP, el cual siempre está referido al "riesgo".

Para el rodado I

En el caso de este móvil no hay evidencias de acción evasiva previa al accidente.

Eventualmente podría haber declaraciones de su conductor sobre cuándo vio al otro protagonista, o si intentó o realizó alguna acción evasiva, en cuyo caso habría que evaluar su factibilidad y coherencia técnica con las evidencias registradas.

De todos modos se pueden determinar, por procedimientos análogos a los utilizados para el rodado II, los diferentes puntos sin solución para las distintas maniobras que pudo haber intentado el conductor del móvil I, los que no repetiremos en este ejemplo.

Además, y salvo que aparezcan evidencias sobre una maniobra tal que haya provocado que un inminente embestidor se haya

convertido en embestido, suele bastar con investigar las posibilidades de acción que tuvo el embistente físico.

Llamamos embistente físico a aquel protagonista directo activo portante de la fuerza de "Acción" (derivada de su cantidad de movimiento) del inevitable par Acción-Reacción (primera ley de la dinámica).

Obviamente, embestido físico es aquel protagonista directo que por sufrir la "Acción" ejerce la "Reacción", como lo describiera Newton (idéntica en magnitud y dirección, pero de sentido opuesto).

Como ejemplo podemos mencionar que si un coche con velocidad "V" choca axialmente de frente a otro igual detenido, los daños en ambos serían idénticos.

Hacemos referencia a embistente o embestido físico para no adjudicar responsabilidades, ya que desde el punto de vista jurídico el embistente físico puede no ser el culpable del hecho.

Para el chofer de este rodado el Punto de Posible Percepción (PPPI) también se encontraba a, por lo menos, 150 m del PDI.

Evitabilidad del accidente

En cada caso, como ya vimos, deberá compararse el Punto Sin Solución más cercano al Punto de Impacto con el Punto de Posible Percepción para el protagonista que se está considerando.

Si existe algún Punto Sin Solución más cercano al punto de impacto que el Punto de Posible Percepción, es decir si sobre la trayectoria de este protagonista el PPP precedió a alguno de sus posibles PSS, estaremos en el caso de un ACCIDENTE FÍSICAMENTE EVITABLE para este protagonista.

En el caso contrario, es decir si ninguno de los posibles Puntos Sin Solución es posterior al Punto de Posible Percepción, estaremos ante un ACCIDENTE FÍSICAMENTE INEVITABLE para ese protagonista.

Causas del accidente

En el capítulo correspondiente hemos visto que las relaciones entre los puntos accidentológicos nos permitirán determinar si existieron demoras, errores o fallas en el comportamiento de alguno de los protagonistas y en cuál o cuáles fases ocurrieron.

Para tal evaluación debe contarse con los datos numéricos, de modo de poder compararlos, motivo por el cual no es posible realizarla en este ejemplo genérico, de todos modos, resulta sencillo hacerla disponiendo de los datos y siguiendo las explicaciones ya dadas.

También se podrían determinar las áreas teórica y la real de maniobras posibles para compararla con las realizadas, como se mostró en el capítulo correspondiente tomando valores arbitrarios.

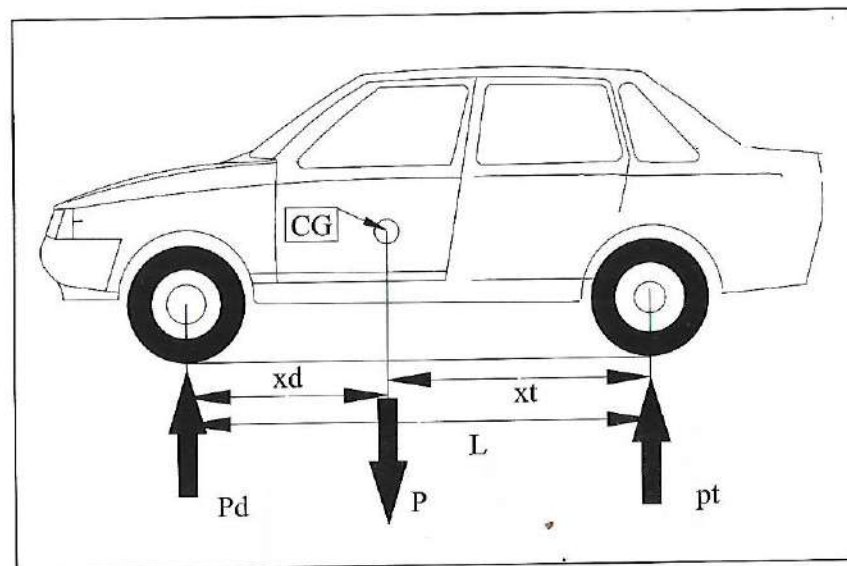
Así también podría evaluarse el grado de perfección de la maniobra realizada por el protagonista II, como se explicó en dicho capítulo.

Capítulo 62

Posición longitudinal y altura del centro de gravedad. Rodados de dos ejes

Posición longitudinal del centro de gravedad (CG)

Se requiere disponer el rodado horizontalmente, sobre balanzas independientes en cada eje.



Obtenidos así los pesos en cada uno de los ejes (" P_d " peso delantero, y " P_t " peso trasero) se obtiene la posición longitudinal

del centro de gravedad, tomando momentos con respecto al eje trasero según:

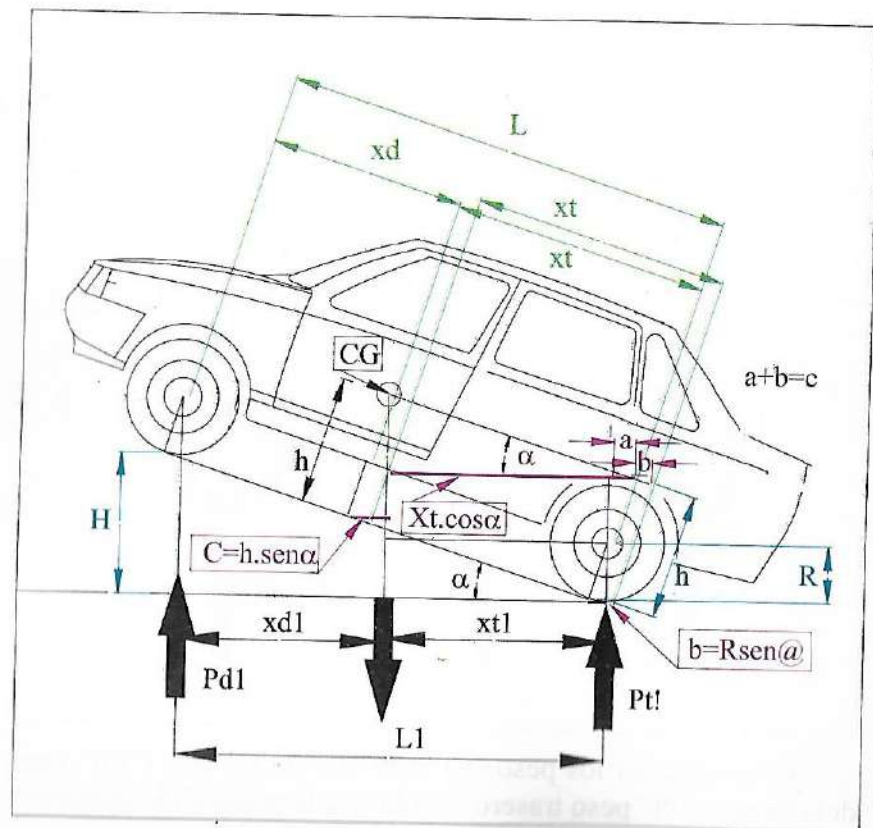
$$Pd \cdot L = P \cdot X_t$$

$$X_t = Pd \cdot L / P$$

Puesto que la distancia entre ejes "L" es conocida.

Altura del centro de gravedad

Para calcular la altura "h" se eleva el eje delantero una altura "H". Ruedas radio "R". Ángulo $\alpha = \arctg H/L$, "L", distancia entre ejes, es conocida.



Se dispone una balanza en cada eje y se obtienen Pd y Pt.

$$X_{t1} = r \cdot \sin \alpha + X_T \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha$$

Porque $a + b = c$ por construcción

Notar que los triángulos verticales en CG y en apoyo en rueda trasera son iguales.

Al aplicar la ecuación de momentos desde el eje trasero se llega a:

$$P \cdot (r \cdot \tg \alpha + X_t - h \cdot \tg \alpha) \cos \alpha = Pd1' \cdot L1$$

Como $L1 = L \cos \alpha$:

$$P \cdot (r \cdot \tg \alpha + X_t - h \cdot \tg \alpha) = Pd1' \cdot L1$$

Con lo que la altura del centro de gravedad del vehículo será, recordando que $\tg \alpha = H/L$

$$h = [P \cdot (r \cdot H/L + X_t) - Pd1' \cdot L] / P \cdot H/L$$

Cuando un rodado tiene más de dos ejes el proceso es similar, debiendo corregirse mediante la obtención de la resultante, en módulo y posición, de los pesos sobre los ejes traseros, para lo cual habrá de necesitarse una balanza en cada eje.

Capítulo 63

Datos útiles

Visibilidad

Lapso de recuperación de encandilamiento: 5 segs.

Distancia de percepción de peatón con ropas oscuras de noche sobre fondo oscuro, iluminado con luces medias del rodado:

Buen tiempo: 100 m.

Temporal de lluvia: 20 m.

NIEBLA / ALCANCE DE VISIBILIDAD	DIURNO	NOCTURNO
Débil	500 a 1000 m	50 a 100 m
Moderada	200 a 500 m	20 a 50 m
Moderada a Fuerte	50 a 200 m	5 a 20 m
Muy Fuerte	0 a 50 m	0 a 5 m

Frenado

VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN MEDIO " μ " [NEUMÁTICOS-PISO] PARA AUTOMÓVILES

PISO	SECO	HÚMEDO
Asfalto nuevo	0,85	0,60
Asfalto viejo	0,70	0,55

PISO	SECO	HÚMEDO
Asfalto resbaladizo	0,55	0,35
Concreto nuevo	0,85	0,55
Concreto viejo	0,70	0,55
Empedrado limpio	0,60	0,40
Ripio	0,65	0,65
Tierra dura	0,65	0,70
Tierra suelta	0,50	0,55
Arena s/ pavimento	0,45	0,30
Barro s/ pavimento	0,45	0,30
Barro s/ empedrado	0,40	0,25
Nieve s/pavimento	0,30	0,20
Hielo cristal	0,15	0,07

Valores para camiones

Salvo para nieve o hielo, que se mantienen, deben multiplicarse los de la tabla anterior por 0,70.

Motos

El valor del coeficiente de frenado, para ser utilizado en cálculos de detención de motocicletas, es variable con el tamaño de la moto, así como si se frena sólo con la rueda trasera, o con ambas ruedas.

PESO [KG]	COEFICIENTE μ	
	RUEDA TRASERA	AMBAS RUEDAS
100	0,31 a 0,40	0,53 a 0,67
150	0,36 a 0,43	0,62 a 0,76
200	0,31 a 0,42	0,72 a 0,87
350	0,36 a 0,51	0,63 a 0,88

Valores para asfalto seco.

Frenado con máxima eficacia

$$u_{\max} = 1,1 \mu \text{ (seco)}$$

$$u_{\max} = 1,25 \mu \text{ (mojado)}$$

Derrape

$\mu \geq 1,15 \mu$ para todas las condiciones

Hidroplaneo

$$\mu h = 0,08$$

Disipación de energía cinética

Desde comienzo de frenada hasta aparición de huellas nítidas

Para automóviles: entre el 15 y el 30% de la inicial.

Para camiones: despreciable, pues bloquean inmediatamente.

Lapso que insume la aparición de huellas nítidas desde el Frenado

0,5 segs para automóviles y 0,1 segs para camiones

Coefficientes friccionales para vuelco o choque

Automóviles deslizándose sobre su techo o costado:

Sobre concreto: $\mu = 0,30$

Sobre asfalto: $\mu = 0,40$

Sobre grava o ripio: $0,5 \leq \mu \leq 0,7$

Sobre césped: $\mu = 0,5$

Sobre polvo: $\mu = 0,2$

Pick Up deslizándose de costado sobre concreto: $0,3 \leq \mu \leq 0,4$

Rozamiento de carrocería con carrocería: $\mu = 0,60$

Moto deslizándose, caída de costado sobre asfalto seco:

$$0,35 \leq \mu \leq 0,50$$

Moto deslizándose, caída de costado sobre asfalto húmedo:

$$0,30 \leq \mu \leq 0,40$$

Coefficientes de rodadura (para neumáticos bien inflados)

Neumáticos sobre hormigón

$$\mu_r = 0,015$$

Neumáticos sobre adoquines

$$\mu_r = 0,020$$

Neumáticos sobre asfalto

$$\mu_r = 0,030$$

Neumáticos sobre tierra dura

$$\mu_r = 0,050$$

Neumáticos sobre arena suelta

$$\mu_r = 0,15 \text{ o más}$$

Neumáticos sobre barro

$$\mu_r = 0,15 \text{ o más}$$

Coefficiente de restitución automóviles

Para velocidad de impacto hasta 10 km/h: $K \approx 0,20$

Entre 10 y 20 km/h: $K \approx 0,10$

Velocidad superior a 20 km/h: $K \approx 0,03$

Cuerpo humano

Cuerpo humano deslizándose: $\mu = 1,10$

Cuerpo humano deslizándose y rebotando sobre asfalto seco o húmedo: $\mu = 0,66$

Sobre pasto seco o húmedo: $\mu = 0,80$

Cuerpo humano contra carrocería: $\mu = 0,25$

Tiempo de percepción y reacción

DURACIÓN STANDARD DE LAS ETAPAS DEL TPR

Percepción: 0,3 segs

Identificación: 0,3 segs

Evaluación: 0,5 segs

Decisión: 0,5-1 segs

Respuesta: 0,2 segs

Duración de la respuesta de elementos mecánicos

0,5 segs

Duración de los distintos tipos de reacción y tiempo de reacción total

REACCIÓN REFLEJA: TR: aprox 0,1 seg, TRT: 0,60 segs

REACCIÓN SIMPLE: TR: aprox 0,5 segs, TRT: 1 segs

REACCIÓN COMPLEJA: TR: aprox. 1 seg, TRT: 1,50 segs

REACCIÓN DISCRIMINATORIA: TR más de dos segundos.

Lapsos standards que insumen distintas acciones

Mirada espejo retrovisor interior: 0,9 segs

Mirada espejo retrovisor lateral: 0,75 segs

Mirada al velocímetro: 0.8 segs

Llevar el pie del acelerador al freno: 0,25 segs

Intervalo entre maniobras evasivas consecutivas

0,5 segs

Desvío lateral perceptible por rodado enfrentado

30 cm

Velocidades de referencia

Peatón paso tranquilo: 0,7 m/seg

Peatón paso vivo: 1 m/seg

Peatón apurado: 1,3 m/seg

Peatón corriendo: 2,5 m/seg

Caballo al paso: 1 m/seg

Caballo al trote: 2,1 m/seg

Caballo al galope: 4,5 m/seg

Galgo: 20 m/seg

Ciclista despacio: 1 m/seg

Ciclista paseo: 2 m/seg

Ciclista rápido: 10 m/seg

Brisa: 1 m/seg

Viento moderado: 3 m/seg

Tormenta: 15 m/seg

Huracán: 30 m/seg

Aceleraciones de referencia en m/s²

Caída libre: 9,8

Velocidad baja es menor a 35 km/h; media entre 35 y 65 km/h y alta superior a 65 km/h.

AUTOMÓVILES:

	<i>Normal</i>	<i>Máxima</i>
V. Baja:	1,5	3
V. Media:	1	1,5
V. Alta:	0,5	1

CAMIONES MEDIANOS Y COLECTIVOS

V. Baja: 1

V. Media: 0,5

V. Alta: 0,3

CAMIONES PESADOS CARGADOS

V. Baja: 0,5

V. Media: 0,3

V. Alta: 0,1

PEATONES

Normal: 0,5

Máxima: 1

Ángulo crítico de proyección —ecuaciones de Searle—

COEFICIENTE DE FRICCIÓN	ÁNGULO CRÍTICO DE PROYECCIÓN [°]
0,3	3
0,4	44
0,5	53
0,6	62
0,7	70
0,8	77
0,9	84

Relación entre la velocidad de embestimiento "VE" y la velocidad de proyección de peatones "VP"

Para adultos embestidos por automóvil: $VP = 0,64 VE$
 Para adultos embestidos por vehículo frontal: $VP = 0,74 VE$
 Para niños embestidos por automóvil: $VP = 0,72 VE$
 Para niños embestidos por vehículo frontal: $VP = 0,83 VE$

Velocidad terminal

(Máxima) en caída libre de polvo de carbón mineral = 2,3 m/s.

Bibliografía

- ALBA LÓPEZ, IGLESIA PULLA y ARAGUÁS VIÑAO, *Introducción al análisis de deformaciones*, editado por la Universidad de Zaragoza.
- ANCE, Luis, *Cálculo de velocidad en base a huellas de derrape*, inédito.
- APPEL, H.; HEGER, A., "Reconstruction of pedestrian accidents with dummies and cadavers", *SAE N° 806069*.
- APPEL, H.; STURTZ, G.; GOTZEN, L., "Influence of impact speed and vehicle parameters on injuries to children and adults in pedestrian accidents", *IRCOBI*, 1975.
- ARIAS PAZ, *Manual de automóviles*, Dassatt, Madrid, 1956.
- *Motocicletas*, Dassatt, Buenos Aires, 1951.
- AROMBERG, R.; SNIDER, H., "Reconstruction of automotive/pedestrian accidents using CATAPULT", *SAE N° 940924*.
- ARREGUI DALMASES, LUZÓN NARRO, LÓPEZ VALDÉS, POZO DE DIOS y SEGÚI GÓMEZ, *Fundamentos de biomecánica en lesiones por accidentes de tráfico*, Etrasa, Madrid, 2013.
- ASHTON, S.; MACKAY, J., "Car design for pedestrian injury minimization", *SAE N° 796057*.
- BAKER, J., *Traffic investigation manual*, Traffic Institute, Northwestern University.
- BERARDO, M. G., *Accidentes de tránsito*, 2ª ed., Mediterránea.
- BILINKIS, Santiago, *Pasaje al futuro*, Sudamericana, Buenos Aires, 2014.
- BRATEN, T., "Development of tumble number for use in accidents reconstruction", *SAE N° 890859*.
- BRUN CASSAN, F., "Reconstruction of actual car-pedestrian collisions with dummies and cadavers", *SAE N° 830053*.

- BUNGE, Mario, *La ciencia, su método y su filosofía*, Siglo Veinte, Buenos Aires, 1986.
- *100 Ideas*, Sudamericana, Buenos Aires, 2006.
- CAVALLERO, CESARI, RAMET, "Improvement of pedestrian safety: Influence of sharp of passenger car front structures upon kinematics and injuries", *SAE N° 830624*.
- DESCARTES, René, *Discurso del método*, Bureau Editor, Buenos Aires, 2000.
- DUBBEL, H., *Manual del constructor de máquinas*, 2ª ed., Labor, Barcelona.
- ELVIK, R.; HOYE, A.; VAA, T.; SORENSEN M., *Manual de medidas de seguridad vial VI*, trad. Jesús Monclús, 2ª ed., Fundación Mapfre, Madrid, 2013.
- ELVIK, Rune; VAA, Truls, *Manual de medidas de seguridad vial*, trad. Jesús Monclús, Fundación FITSA, Madrid, 2006.
- EUBANKS, J.; HAIGHT, W., "Pedestrian involved traffic collision reconstruction methodology", *SAE N° 921591*.
- FRICKE, L., *Traffic investigation manual*, Traffic Institute, Northwestern University.
- GODOY, J. C., *Física del frenado violento*, inédito.
- HAIGHT, W., EUBANKS, J., "Trajectory analysis for collisions involved bicycles and automobiles", *SAE N° 900368*.
- HERTIG, R., *Mecánica teórica*, El Ateneo, Buenos Aires.
- IRURETA, V., *Accidentología vial y pericia*, 4ª ed., La Rocca, Buenos Aires.
- *Embestimiento de peatones*, La Rocca, Buenos Aires, 2011.
- KESSLER, J., "Development of countermeasures to reduce pedestrian head injury", *SAE N° 876102*.
- LOFTUS, Elizabeth, *Creating false memories*.
- *The myth of repressed memory*.
- *Imagination inflation*.

- MARTÍNEZ, L., "Pedestrian accident reconstruction; review and update", *TARO, Traffic accident reconstruction origin*.
- NAVIN, F., "Hydroplaning and accident reconstruction", *SAE N° 950138*.
- OLSON, P., "Driver perception response time", *SAE, 890731*.
- PAENZA, Adrián, *¿Matemática estás ahí?*, Siglo XXI Editores, Buenos Aires, 2005.
- RAVANNI, B.; BROUGHAM, D.; MASON, R., "Pedestrian post impact kinematics and injury patterns", *SAE N° 811024*.
- REED W. S.; KESKIN Tanner, "Vehicular deceleration and its relationship to friction", *SAE 890736*.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D., *Física*, Continental, México, 1965.
- REVELEY, M.; BROWN D.; GUENTHER, D., "A comparison study of skid and yaw marks", *SAE N° 890635*.
- SCHMIDT, D.; NAGEL, D., "Pedestrian impact case study", *15th Conference American Association for Automotive Medicine*, 1971.
- SCHNEIDER, H.; BEIER, G., "Experiment and accident: comparison of dummy test and real pedestrian accidents", *SAE N° 741177*.
- SEARLE, J., "The physics of throw distance in accident reconstruction", *SAE N° 930659*.
- SEARLE, J.; SEARLE, A., "The trajectories of pedestrians, motorcycles, motorcyclist, etc., following a road accident", *SAE N° 831622*.
- SENS, M.; CHENS, P.; WIECHELL, J.; GUENTHER, D., "Perception reaction time values for accident reconstruction", *SAE N° 890732*.
- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, "Accident reconstructions technologies, PT 35", *SAE, USA, 1990*.
- "Crash avoidance SP-544", *SAE, USA, 1983*.
- "Stapp car crash conference", *SAE, USA, 1989*.
- STECHEBATCHEFF, G., "Simulation of collisions between pedestrians and vehicles using adults and child dummies", *SAE N° 751167*.
- VÁZQUEZ, Adolfo, *Legislación sobre tránsito*, Ediciones La Llave, Buenos Aires, 1997.

WARNER, C.; SMITH, G. C.; JAMES, M. B.; GERMANE, G., "Friction applications in accident reconstruction", *SAE N° 830612*.

WOOD, D., "Application of a pedestrian impact model to the determination of impact speed", *SAE N° 910814*.

XUMINI, Luis, "La seguridad vial y las infraestructuras", *Rutas, N° 129 y 130*, Madrid, 2009.

ZARAGOZA RAMÍREZ, A., "El tomate y la seguridad vial", *Revista Seguridad Vialis, N° 3*, Etrasa, Madrid, junio 2009.