

ÍNDICE DE MATERIAS

PRIMERA PARTE

ESTUDIO DE CARÁCTER GENERAL DE LOS MOTORES ALTERNATIVOS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LOS MOTORES ALTERNATIVOS

(figs. 1 al 12)

I.1.	Conceptos fundamentales	1
I.2.	Esquema y nomenclatura del motor alternativo	3
I.3.	Ciclo operativo de 4 tiempos	6
I.4.	Ciclo operativo de 2 tiempos	8
I.5.	Clasificación de los motores alternativos	10
I.6.	El motor de encendido por chispa (ECh)	11
I.7.	El motor de encendido por compresión (EC)	15
I.8.	Las principales diferencias entre los motores ECh y EC	16
I.9.	El fluido de trabajo como causa de contaminación atmosférica	17

CAPÍTULO II

PRINCIPIOS DE TERMODINÁMICA

(figs. 13 a 23)

II.1.	Energía - Trabajo - Calor	19
II.2.	Principio de la equivalencia o primera ley de la termodinámica	20
II.3.	Estados termodinámicos y transformaciones del fluido	21
II.4.	Sistemas de flujo continuo y de flujo discontinuo	22
II.5.	Ecuación de la energía aplicada a los motores endotérmicos	24
II.6.	El trabajo en el diagrama $p-v$	25
II.7.	Entropía y calor en el diagrama del plano $T-S$	27
II.8.	Calores específicos	28
II.9.	Los gases perfectos	30
II.10.	Relaciones de los gases perfectos	31
II.11.	Procesos de los gases perfectos	32
II.12.	Ciclos térmicos	37

CAPÍTULO III

CICLOS TEÓRICOS DE LOS MOTORES ALTERNATIVOS

(figs. 24 a 32)

III.1.	Ciclo teórico y ciclo real	41
III.2.	Análisis de un ciclo y su rendimiento térmico	43
III.3.	El ciclo Otto teórico	45
III.4.	Ciclo Diesel teórico	47
III.5.	Ciclo mixto de Sabathé	50
III.6.	Comparación entre los tres ciclos teóricos	53
III.7.	Presión media de un ciclo	56
III.8.	Valores del exponente n para los politrópicos	57
III.9.	Ejemplo de cálculo para un ciclo teórico Otto, de aire	57
III.10.	Ejemplo de ciclo Otto casi práctico	59

CAPÍTULO IV

CICLOS REALES - DIAGRAMAS DE LAS PRESIONES

(figs. 33 a 44)

IV.1.	Ciclo indicado y presión media indicada	60
IV.2.	Diferencia entre ciclo Otto real y teórico	64
IV.3.	Diferencia entre ciclo Diesel real y teórico	66
IV.4.	Estudio del diagrama indicado	68
IV.5.	Diagrama de las presiones en función de los desplazamientos angulares del eje para un motor de cuatro tiempos	71
IV.6.	Diagrama indicado en función de los ángulos de manivela para un motor de dos tiempos	73
IV.7.	Ciclo indicado previsto	75

CAPÍTULO V

LOS COMBUSTIBLES

(figs. 45 a 57)

V.1.	Generalidades	79
V.2.	Los componentes de los combustibles derivados del petróleo	80
V.3.	Poder antidetonante de los carburantes. El número de octano	82
V.4.	Aditivos antidetonación	85
V.5.	Naftas y gasóleos - Número de octano	86
V.6.	Volatilidad, tensión de vapor y calor de evaporación	88
V.7.	Densidad y poder calorífico	91
V.8.	Otras características	93
V.9.	Producción de los combustibles comerciales	94

CAPÍTULO VI

EL FLUIDO DE TRABAJO - LAS EXIGENCIAS DEL MOTOR Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

(figs. 58 a 70)

VI.1.	Composición del fluido de trabajo	100
VI.2.	El aire atmosférico	100
VI.3.	Cantidad de aire necesaria para la combustión. Razón estequiométrica	102
VI.4.	La disociación	104
VI.5.	Calor total desarrollado por la combustión y tonalidad térmica	104
VI.6.	Formación de la mezcla aire-combustible	105
VI.7.	Las exigencias del motor de encendido por chispa	106
VI.8.	Las exigencias del motor de encendido por compresión	109
VI.9.	Las emisiones nocivas de los motores ECh	112
VI.10.	Las emisiones en los motores de encendido por compresión	118

CAPÍTULO VII

CÁLCULO DE LA POTENCIA - RENDIMIENTOS - BALANCE TÉRMICO

(figs. 71 a 77)

VII.1.	Potencia indicada	121
VII.2.	Potencia efectiva o potencia al freno	122
VII.3.	La velocidad y la carga	124
VII.4.	Potencia absorbida por las resistencias pasivas y rendimiento mecánico	126
VII.5.	La presión media efectiva	127
VII.6.	Rendimientos	129
VII.7.	Balance térmico	131

CAPÍTULO VIII

LA REFRIGERACIÓN

(figs. 78 a 86)

VIII.1.	Función de la refrigeración	134
VIII.2.	Cálculo de la cantidad de calor a extraer	136
VIII.3.	Refrigeración por líquido. Sistemas usados	138
VIII.4.	Circulación forzada	139
VIII.5.	Circulación por termosifón	141
VIII.6.	Refrigeración por aire	142
VIII.7.	Regulación de la refrigeración	146

CAPÍTULO IX

LUBRICACIÓN Y LUBRICANTES

(figs. 87 a 90)

IX.1.	Funciones de la lubricación	149
IX.2.	Cómo se realiza la lubricación	150
IX.3.	Características de los aceites lubricantes para motores	153
IX.4.	Origen y características de los aceites comerciales	156
IX.5.	Clasificación de los lubricantes	158
IX.6.	Consideraciones sobre el uso de los lubricantes	159
IX.7.	Sistemas de lubricación	160

CAPÍTULO X

LAS PRESTACIONES DEL MOTOR Y FACTORES QUE LAS INFLUENCIAN

(figs. 91 a 110)

X.1.	Curvas características	162
X.2.	Rendimiento volumétrico	166
X.3.	Tiempos de apertura de las válvulas y su influencia en el rendimiento volumétrico	167
X.4.	Influencia de la velocidad de los gases y de los tiempos de apertura de las válvulas sobre la curva de potencia	171
X.5.	Pérdida de potencia debida a la resistencia pasiva	176
X.6.	El consumo específico de los motores de cuatro tiempos ECh	179
X.7.	El consumo específico de los motores de encendido por compresión ..	181
X.8.	Relación entre la potencia y las condiciones atmosféricas	185
X.9.	Velocidad media del pistón	187
X.10.	Relación carrera : diámetro	189
X.11.	Dimensiones del cilindro	191
X.12.	Número de revoluciones	192
X.13.	Número y disposición de los cilindros	193
X.14.	Estabilidad de funcionamiento del motor	194
X.15.	Regulación y reguladores	197
X.16.	Compendio de las variables que influyen las prestaciones	198

SEGUNDA PARTE

LA MECÁNICA DE LOS MOTORES ALTERNATIVOS

CAPÍTULO XI

TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO ALTERNATIVO EN MOVIMIENTO ROTATORIO

(figs. 111 a 131)

XI.1.	El movimiento del pistón y de la biela	205
XI.2.	La velocidad del pistón	207
XI.3.	Aceleración del pistón	210

XI.4.	Masas dotadas de movimiento alternativo y masas giratorias	211
XI.5.	Fuerzas alternativas de inercia	214
XI.6.	Diagrama de las fuerzas resultantes	215
XI.7.	Diagrama del par motor	219
XI.8.	Repartición de los ciclos en los motores de varios cilindros	221
XI.9.	El volante	222
XI.10.	Consideraciones sobre la razón λ	226
XI.11.	Motor desplazado	227
XI.12.	Sistemas especiales de biela-manivela	233

CAPÍTULO XII

EQUILIBRADO

(figs. 132 a 158)

XII.1.	Acciones internas en el bloque motor. Momento de reacción	235
XII.2.	Vibraciones del grupo motor	237
XII.3.	Equilibrado del cigüeñal	238
XII.4.	Equilibrado de las fuerzas alternativas de 1. ^{er} orden	241
XII.5.	Fuerzas alternativas de 2. ^o orden	243
XII.6.	Orden de encendido	246
XII.7.	Estudio del equilibrado del motor en algunos casos particulares	248
XII.8.	Motor monocilíndrico de cuatro y de dos tiempos	248
XII.9.	Motor de dos cilindros en línea y cuatro tiempos	249
XII.10.	Motor de tres cilindros en línea, de cuatro tiempos	251
XII.11.	Motor de cuatro cilindros en línea y cuatro tiempos	253
XII.12.	Motor de cinco cilindros en línea, de cuatro tiempos	255
XII.13.	Motor de seis cilindros en línea, de cuatro tiempos	257
XII.14.	Motor de ocho cilindros en V de 90°, de cuatro tiempos	258
XII.15.	Motor de estrella simple	262
XII.16.	Motores en doble estrella	263

CAPÍTULO XIII

VIBRACIONES TORSIONALES Y DE FLEXIÓN

(figs. 159 a 169)

XIII.1.	Oscilaciones propias torsionales de un sistema de dos volantes	265
XIII.2.	Oscilaciones propias torsionales de un sistema de n volantes	268
XIII.3.	Oscilaciones torsionales del cigüeñal	272
XIII.4.	Excitación de las oscilaciones torsionales del cigüeñal	274
XIII.5.	Medios para amortiguar las oscilaciones torsionales	275
XIII.6.	Oscilaciones propias de flexión del cigüeñal	276

CAPÍTULO XIV

LA DISTRIBUCIÓN

(figs. 170 a 204)

XIV.1.	Premisas	280
XIV.2.	Funcionamiento de las válvulas. Disposiciones y esquemas de mando	285

XIV.3.	Sección de paso a través de la válvula	288
XIV.4.	Velocidad media de los gases en el conducto y a través de la válvula	291
XIV.5.	Levas, empujadores, balancines	292
XIV.6.	Trazado del perfil	295
XIV.7.	Diagramas de los desplazamientos, velocidades, aceleraciones	296
XIV.8.	Carga del resorte	297
XIV.9.	Juego entre válvulas y órganos de mando	299
XIV.10.	La distribución en los motores de dos tiempos	303
XIV.11.	El barrido en los motores de dos tiempos	305
XIV.12.	Rendimiento del barrido en los motores de dos tiempos	311

CAPÍTULO XV

LAS LEVAS Y LA CADENA CINEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN

(figs. 205 a 222)

XV.1.	Premisas	315
XV.2.	Leva de arcos de círculo para empujador de talón plano	316
XV.3.	Leva de arcos de círculo y flanco rectilíneo para empujador de rodillo	318
XV.4.	Leva para empujador de talón plano obtenida a partir de un determinado diagrama de las aceleraciones	321
XV.5.	El movimiento efectivo de la válvula comparado con el movimiento definido por la leva	327
XV.6.	Movimiento oscilatorio que a regímenes elevados puede influenciar el de la válvula	329
XV.7.	Consideraciones, en la etapa de proyecto, de los factores que influyen en el movimiento oscilatorio	331
XV.8.	Análisis del movimiento de la válvula según el esquema con un grado de libertad	333
XV.9.	Efectos sobre la regularidad del movimiento de la válvula de algunos tipos de diagramas teóricos	336
XV.10.	Detalles referentes a los resortes para válvulas	

TERCERA PARTE

MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA (ECh)

CAPÍTULO XVI

LA COMBUSTIÓN EN LOS MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA

(figs. 223 a 233)

XVI.1.	Combustión normal	343
XVI.2.	Velocidad de propagación de la llama	344
XVI.3.	Factores que influyen en la combustión	345
XVI.4.	Variación de la presión durante la combustión	346

XVI.5.	Combustiones anormales	348
XVI.6.	Encendidos superficiales	349
XVI.7.	La detonación	349
XVI.8.	Variables que influyen en la detonación	351
XVI.9.	Avance del encendido	352
XVI.10.	La cámara de combustión	354
XVI.11.	Principales cámaras de combustión	357

CAPÍTULO XVII

CARBURACIÓN E INYECCIÓN

(figs. 234 a 275)

XVII.1.	La alimentación por depresión y por inyección	363
XVII.2.	Circuito de aire y combustible - Filtros, bombas	365
XVII.3.	El carburador	368
XVII.4.	Regulación automática de la razón de mezcla	370
XVII.5.	Dispositivos del carburador para el arranque, el régimen mínimo y la aceleración	374
XVII.6.	La carburación y las exigencias del vehículo	379
XVII.7.	Los conductos de admisión de la mezcla	384
XVII.8.	La inyección de gasolina en los motores de aviación	388
XVII.9.	La inyección de gasolina para los autovehículos	390
XVII.10.	Inyección Bosch K-Jetronic	392
XVII.11.	Inyección Bosch D y L-Jetronic	393
XVII.12.	Sistema Weber I.A.W.	396
XVII.13.	Carburadores especiales	398
XVII.14.	Alimentación a gas	399
XVII.15.	Alimentación a gases licuados	402
XVII.16.	Gasógenos	405

CAPÍTULO XVIII

EL ENCENDIDO

(figs. 276 a 295)

XVIII.1.	Sistemas de encendido	409
XVIII.2.	Inducción electromagnética	409
XVIII.3.	Autoinducción	411
XVIII.4.	Inducción mutua	411
XVIII.5.	Composición de los dispositivos de encendido. Encendido a magneto	411
XVIII.6.	Encendido a batería y distribuidor (Delco)	414
XVIII.7.	El encendido electrónico a batería	416
XVIII.8.	Volante generador-magneto	420
XVIII.9.	Volante magneto con encendido a descarga de condensador	421
XVIII.10.	Bujías	423
XVIII.11.	Batería	426
XVIII.12.	Mantenimiento de la batería de plomo	428

CAPÍTULO XIX

ÓRGANOS PRINCIPALES DE LOS MOTORES ECH

(figs. 296 a 348)

XIX.1.	Cilindros	432
XIX.2.	Culata o cabeza	438
XIX.3.	Bancada (base)	440
XIX.4.	Pistones y segmentos	444
XIX.5.	Biela	448
XIX.6.	Cigüeñal y cojinetes	452
XIX.7.	El mecanismo de la distribución	457
XIX.8.	Las válvulas	465

CAPÍTULO XX

GRUPOS AUXILIARES

(figs. 349 a 375)

XX.1.	Órgano de refrigeración. Bomba de agua	469
XX.2.	Radiadores	473
XX.3.	Ventiladores. Termostatos	478
XX.4.	Circulación del aceite lubricante	481
XX.5.	Bombas de aceite. Filtros	484
XX.6.	El arranque del motor	488
XX.7.	Arranque eléctrico	491

CAPÍTULO XXI

MOTORES DE DOS TIEMPOS Y MOTORES POLICOMBUSTIBLES

(figs. 376 a 380)

XXI.1.	Consideraciones sobre los motores de dos tiempos	495
XXI.2.	Comparación con el motor de cuatro tiempos a carburación	498
XXI.3.	El motor de 2 tiempos a inyección de gasolina	499
XXI.4.	Motores policombustibles	501

CAPÍTULO XXII

**SOBREALIMENTACIÓN DE LOS MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA.
COMPRESORES Y TURBOCOMPRESORES**

(figs. 381 a 392)

XXII.1.	La sobrealimentación	505
XXII.2.	Sistemas de sobrealimentación y sus aplicaciones	506
XXII.3.	Compresores volumétricos	508
XXII.4.	El turbocompresor	511
XXII.5.	La aplicación del turbocompresor al motor	512

XXVI.3.	Variables que influyen en el retraso del encendido	575
XXVI.4.	Consideraciones sobre el funcionamiento de los motores Diesel ..	577
XXVI.5.	Las cámaras de combustión y sus características principales	578
XXVI.6.	Cámaras de combustión a inyección directa	579
XXVI.7.	Cámaras separadas; precámaras de alta turbulencia	583
XXVI.8.	Cámaras de acumulación	587
XXVI.9.	Comparación entre los diferentes tipos de cámaras	587

CAPÍTULO XXVII

INYECCIÓN Y REGULACIÓN

(figs. 442 a 468)

XXVII.1.	Función y requisitos del dispositivo de inyección	591
XXVII.2.	Inyección mecánica e inyección neumática	592
XXVII.3.	Sistemas de inyección mecánica	593
XXVII.4.	Principales sistemas de dosificación del combustible	598
XXVII.5.	Bomba con regulación por émbolo rotante	598
XXVII.6.	Bomba con regulación por válvula de reflujo	605
XXVII.7.	El inyector	607
XXVII.8.	El inyector-bomba	610
XXVII.9.	La inyección de gasolina	612
XXVII.10.	Sistemas de regulación automática del motor	615
XXVII.11.	Inyección neumática	619

CAPÍTULO XXVIII

ÓRGANOS PRINCIPALES DE LOS MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN (AC)

(figs. 469 a 499)

XXVIII.1.	Órganos principales de los motores rápidos	622
XXVIII.2.	Órganos principales de los motores semi-rápidos y medios	627
XXVIII.3.	Estructuras de los grandes motores lentos (base o bancada - armazón o bloque - cilindro - camisa - culata o cabeza)	629
XXVIII.4.	Órganos del mecanismo biela-manivela de los grandes motores lentos (pistones - vástago y cruceta - biela - cigüeñal - cojinetes) ..	636
XXVIII.5.	Órganos de la distribución de los motores lentos (válvulas - accionamientos - bombas de barrido - válvulas de barrido)	642

CAPÍTULO XXIX

LA SOBREALIMENTACIÓN EN LOS MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN

(figs. 500 a 517)

XXIX.1.	Utilidad y modos de sobrealimentación	649
XXIX.2.	Tipos de compresores para los motores EC	650
XXIX.3.	El turbocompresor en los motores Diesel	652
XXIX.4.	El sobrealimentador Comprex	657

XXIX.5.	Resultados posibles con la sobrealimentación	659
XXIX.6.	El acoplamiento fluidodinámico entre motor y turbocompresor ..	660
XXIX.7.	Sobrealimentación de los grandes motores de dos tiempos	661
XXIX.8.	La sobrealimentación de dos etapas y los motores de baja relación de compresión	663

CAPÍTULO XXX

ÓRGANOS AUXILIARES DE LOS MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN

(figs. 518 a 525)

XXX.1.	Órganos auxiliares de los motores rápidos y medios	667
XXX.2.	Refrigeración de los motores lentos (circuitos de refrigeración - bombas - refrigerante)	668
XXX.3.	Grupos para la lubricación de los motores lentos	671
XXX.4.	Grupos para el arranque de los motores lentos	673
XXX.5.	Órganos para la inversión de marcha	673

CAPÍTULO XXXI

CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN EN RELACIÓN CON SU USO

(figs. 526 a 549)

XXXI.1.	Motores para autovehículos	677
XXXI.2.	Motores para la agricultura y aplicaciones industriales	684
XXXI.3.	Motores para tracción ferroviaria	687
XXXI.4.	Motores para aplicaciones marinas	690
XXXI.5.	Motores para instalaciones fijas	701

QUINTA PARTE

MOTORES ROTATIVOS: TURBINA DE GAS - MOTOR WANKEL

CAPÍTULO XXXII

LA TURBINA - NOCIONES GENERALES Y CICLOS

(figs. 550 a 554)

XXXII.1.	La turbina de combustión a presión constante	705
XXXII.2.	La turbina de combustión a volumen constante	706
XXXII.3.	Ciclo teórico de la turbina de combustión a presión constante ..	707
XXXII.4.	Rendimiento térmico ideal	708

XXXII.5.	Rendimiento de ciclo real	710
XXXII.6.	Cálculo del ciclo de la turbina de combustión	711

CAPÍTULO XXXIII

ÓRGANOS PRINCIPALES DE LAS TURBINAS DE GAS

(figs. 555 a 571)

XXXIII.1.	El compresor centrífugo	717
XXXIII.2.	El compresor axial	719
XXXIII.3.	Las cámaras de combustión	722
XXXIII.4.	Sistemas de alimentación del combustible	724
XXXIII.5.	La turbina	726
XXXIII.6.	Los materiales	729
XXXIII.8.	Órganos auxiliares	731

CAPÍTULO XXXIV

APLICACIONES DE LAS TURBOMÁQUINAS

(figs. 572 a 594)

XXXIV.1.	La turbina de combustión interna como unidad motriz terrestre y marítima	733
XXXIV.2.	La turbina como propulsor a reacción: turborreactor o «turbojet». Motor «a chorro»	739
XXXIV.3.	Turborreactor de doble flujo y turboventilador	745
XXXIV.4.	Turbohélice y turboeje	748
XXXIV.5.	Motor compuesto	749

CAPÍTULO XXXV

EL MOTOR ROTATIVO WANKEL

(figs. 595 a 621)

XXXV.1.	Los motores rotativos	753
XXXV.2.	Funcionamiento del motor Wankel	755
XXXV.3.	Geometría del motor	759
XXXV.4.	Tipos de máquinas de pistón rotativo	762
XXXV.5.	Estudio del perfil trocoidal	765
XXXV.6.	Cilindrada de los motores de pistones rotativos	770
XXXV.7.	Relación de compresión	774
XXXV.8.	La cámara de combustión y aspectos térmicos	777
XXXV.9.	La distribución en el motor Wankel	779
XXXV.10.	Detalles constructivos del motor Wankel	782

APÉNDICE

ENSAYOS DE LOS MOTORES ENDOTÉRMICOS

CAPÍTULO XXXVI

ENSAYOS - MEDICIONES DE POTENCIA - CONSUMOS Y RENDIMIENTOS

(figs. 622 a 639)

XXXVI.1.	Ensayos de puesta a punto y pruebas	791
XXXVI.2.	Medición de la potencia de freno	793
XXXVI.3.	Frenos hidráulicos	795
XXXVI.4.	Frenos eléctricos	798
XXXVI.5.	Frenos aerodinámicos	804
XXXVI.6.	Medición de los consumos	805
XXXVI.7.	Unidades electrónicas para los ensayos y la obtención de resultados	808
XXXVI.8.	Rendimientos	810
XXXVI.9.	Mediciones de potencia y de empuje de las turbinas	811
XXXVI.10.	Ensayos de las turbinas	811

CAPÍTULO XXXVII

MEDICIONES DE PRESIÓN - ANÁLISIS DE LOS GASES DE ESCAPE -
MEDICIONES DEL NÚMERO DE OCTANO Y DEL NÚMERO DE CETANO

(figs. 640 a 656)

XXXVII.1.	Mediciones de las presiones y determinación de los ciclos	814
XXXVII.2.	Medidores de presión	816
XXXVII.3.	Indicadores para motores lentos	818
XXXVII.4.	Indicadores para motores rápidos	819
XXXVII.5.	Medición de los números de octano y de cetano	822
XXXVII.6.	Ensayos para el análisis de los gases de escape	827
XXXVII.7.	Análisis químicos y químico-físicos de los gases de escape	829
XXXVII.8.	Instrumentos para la medición de las emisiones contaminantes ..	829
XXXVII.9.	Ensayos para la determinación de las emisiones de los autovehículos	831