

ÍNDICE

Prefacio.....	17
----------------------	-----------

UNIDAD DIDÁCTICA I

Capítulo I. MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS.	
GENERALIDADES.....	23

1.1	Introducción.....	24
1.2	Concepto de máquina térmica	25
1.2.1	Clasificación de las máquinas de fluido	25
1.2.2	Distinción entre máquina hidráulica y máquina térmica	26
1.2.3	Clasificación de las máquinas térmicas	27
1.3	Motores térmicos de combustión interna y de combustión externa. Distinción entre máquina térmica y motor térmico.	28
1.4	Rendimiento de los motores térmicos	35
1.4.1	Rendimiento del ciclo y rendimiento de la instalación.....	35
1.4.2	Rendimiento exergético.....	36
1.5	Cogeneración.....	36
1.6	Campos de aplicación de los motores térmicos.....	38

Capítulo II. FUNDAMENTOS DE LA COMBUSTIÓN.....	47
---	-----------

2.1	Introducción	48
2.2	Fenómenos que intervienen en el proceso de combustión. Ecuaciones de gobierno.....	50
2.3	Reacción estequiométrica.....	51
2.3.1	Ajuste de la reacción estequiométrica	51
2.3.2	Cálculo del dosado estequiométrico	52
2.4	Energía liberada en el proceso de combustión. Balance de energía en mezclas estequiométricas	53
2.4.1	Procesos estacionarios en sistemas abiertos.....	54
2.4.1.1	Procesos de combustión adiabáticos. Temperatura adiabática de la llama	54

2.4.1.2	Procesos de combustión con transmisión de calor a un segundo fluido caloportador.....	56
2.4.2	Procesos no estacionarios en sistemas cerrados	57
2.5	Combustión completa con exceso de aire	62
2.5.1	Ajuste de la reacción y cálculo de la temperatura final de los productos.....	64
2.6	Mecanismo de la reacción de combustión.....	65
2.6.1	Velocidad de reacción química	66
2.7	Combustión incompleta.....	67
2.7.1	Composición de los productos de combustión	68
2.7.2	Cálculo de la composición de los productos de la combustión	71
2.8	Rendimiento de la combustión	74
2.9	Clasificación de los procesos de combustión	75
2.10	Autoinflamación de la mezcla aire-combustible	76
2.11	Llamas de premezcla	78
2.11.1	Deflagración	78
2.11.1.1	Deflagración laminar	80
2.11.1.2	Deflagración turbulenta	82
2.11.2	Detonación	83
2.12	Llamas de difusión	84
2.12.1	Llamas de difusión con combustible gaseoso	85
2.12.2	Llamas de difusión con combustible líquido.....	87
2.12.3	Llamas de difusión con combustible sólido	89

Capítulo III. COMBUSTIBLES EMPLEADOS EN SISTEMAS Y MOTORES TÉRMICOS

3.1	Introducción	92
3.2	Clasificación de los combustibles	93
3.2.1	Clasificación de los combustibles atendiendo a su origen	94
3.2.2	Clasificación de los combustibles atendiendo a su origen a su estado físico.....	95
3.2.3	Clasificación de los combustibles atendiendo a su carácter renovable o no	97
3.2.4	Otras clasificaciones.....	98
3.3	Combustibles de origen fósil. Características y aplicaciones.....	99
3.3.1	El carbón	99
3.3.2	Combustibles derivados del petróleo	101
3.3.3	Gas natural.....	105
3.4	Combustibles alternativos o de sustitución. Características y aplicaciones.....	106

3.5 Propiedades de los combustibles.....	111
3.5.1 Propiedades relacionadas con la composición del combustible.....	111
3.5.2 Propiedades físicas del combustible.....	112
3.5.3 Propiedades químicas del combustible.....	113
3.5.4 Comportamiento del combustible en relación con la combustión.....	114
3.5.5 Propiedades más importantes de los principales combustibles	116
 Capítulo IV. GENERALIDADES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS	117
4.1 Componentes y procesos básicos de un motor de combustión interna alternativo	118
4.2 Clasificación de los MCIA	121
4.2.1 Según el proceso de combustión.....	121
4.2.2 Según el modo de realizar el ciclo.....	123
4.2.3 Según el tipo de refrigeración.....	127
4.2.4 Según la presión de admisión	128
4.2.5 Según el número y disposición de cilindros	128
4.3 Evolución del fluido de trabajo durante el funcionamiento del motor. Diagrama $p-\alpha$ y diagrama del indiciador	129
4.3.1 Diagrama $p-\alpha$	130
4.3.2 Diagrama del indicador.....	131
4.4 Presentación y curvas características del motor	133
4.5 Ciclos del aire equivalente.....	145
4.5.1 Ciclo de aire equivalente de volumen constante.....	145
4.5.2 Ciclo de aire equivalente de presión limitada.....	150
 Capítulo V. EL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN LOS MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO Y EN LOS MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN	163
5.1 Tipos de combustión en motores de combustión interna alternativos...	164
5.2 Combustión en MEP.....	165
5.2.1 Conceptos básicos de combustión en MEP	165
5.2.2 Fases de la combustión	168
5.2.2.1 Primera fase.....	168
5.2.2.2 Segunda fase.....	169
5.2.2.3 Tercera fase	172

5.2.3	Factores que influyen en la determinación del avance del encendido	172
5.2.4	Combustión anormal en MEP. Combustión detonante y encendido superficial	175
5.2.4.1	Combustión detonante	175
5.2.4.2	Encendido superficial	179
5.3	Combustión en MEC	180
5.3.1	Conceptos básicos en combustión en MEC	180
5.3.2	Principales funciones de la inyección en MEC. Micromezcla y macromezcla	181
5.3.3	Fases de la combustión	183
5.3.3.1	Fase del tiempo de retraso	183
5.3.3.2	Combustión rápida	185
5.3.3.3	Combustión por difusión	187
5.3.4	Factores que influyen en el diagrama $p-\alpha$	188
5.4	Otros tipos de combustión en MCIA	192
5.4.1	Motores duales	192
5.4.2	Motores de mezcla estratificada	192
5.4.3	Motores de combustión HCCI	193
Capítulo VI. COMPRESORES VOLUMÉTRICOS		195
6.1	Introducción. Definición y clasificación	196
6.2	Compresores alternativos	197
6.2.1	Principio de funcionamiento. Diagrama $p-V$	197
6.2.2	Análisis termodinámico	200
6.2.2.1	Consideraciones generales	200
6.2.2.2	Potencia absorbida	202
6.2.2.3	Rendimiento volumétrico. Selección de la cilindrada	209
6.2.2.4	Rendimiento isoterma	214
6.2.3	Compresión en etapas	216
6.2.4	Tipos y configuraciones mecánicas	220
6.2.5	Campos de aplicación	222
6.2.6	Compresores alternativos de membrana	223
6.2.7	Métodos de regulación de los compresores alternativos	224
6.3	Compresores rotativos	227
6.3.1	Compresores de tornillo	227
6.3.1.1	Principio de funcionamiento. Diagramas $p-V$	227
6.3.1.2	Tipos	228
6.3.1.3	Ventajas e inconvenientes y campos de aplicación	229
6.3.2	Compresores de paletas	230

6.3.2.1 Principio de funcionamiento y tipo	230
6.3.2.2 Campos de aplicación.....	231
6.3.3 Compresores Scroll.....	231
6.3.3.1 Principio de funcionamiento	231
6.3.3.2 Campos de aplicación.....	232
6.3.4 Compresores Roots.....	232
6.3.4.1 Principio de funcionamiento. Diagramas p-V	232
6.3.4.2 Campos de aplicación.....	233
6.4 Soplantes y bombas de vacío.....	234

UNIDAD DIDÁCTICA II

Capítulo VII. TURBINAS DE GAS PARA LA OBTENCIÓN DE POTENCIA MECÁNICA.....237

7.1 Introducción.....	238
7.2 Tipos de instalaciones.....	239
7.3 Comportamiento de las turbinas de gas en el punto de diseño. Elec- ción de los parámetros del ciclo termodinámico	245
7.3.1 Ciclo simple.....	248
7.3.2 Ciclo simple regenerativo	255
7.3.3 Ciclo compuesto	260
7.3.4 Ciclo compuesto regenerativo	270
7.4 Criterios de diseño de las instalaciones de turbina de gas	271
7.5 Regulación de la carga y operación de las turbinas de gas.....	273
7.6 Cogeneración con turbinas de gas	274
7.7 Evolución en el diseño y estado del arte de las turbinas de gas	276

Capítulo VIII. TURBINAS DE GAS DE AVIACIÓN.....281

8.1 Fundamento de los motores de reacción	283
8.2 Principio de funcionamiento de las turbinas de gas de aviación.....	285
8.3 Turborreactor.....	287
8.3.1 Esquema mecánico y principio de funcionamiento.....	287
8.3.2 Rendimientos de un turborreactor	294
8.3.3 Parámetros óptimos del ciclo termodinámico de un turbo- reactor	298
8.4 Turbofán	303
8.5 Turbohélice.....	314
8.6 Campos de aplicación, tendencias de diseño.....	317

Capítulo IX. INSTALACIONES DE POTENCIA BASADAS EN TURBINAS DE VAPOR Y PLANTAS DE CICLO COMBINADO GAS-VAPOR.....319

9.1 Componentes principales de las instalaciones de potencia basadas en turbinas de vapor.....	320
9.2 Influencia de los parámetros termodinámicos de las centrales de ciclo de vapor	333
9.2.1 Influencia de la presión del vapor a la entrada de la turbina	333
9.2.2 Influencia de la temperatura del vapor vivo	335
9.2.3 Influencia de la presión de condensación.....	336
9.3 Ciclos de vapor utilizados en grandes centrales de vapor	337
9.3.1 Ciclos de vapor con recalentamiento intermedio	337
9.3.2 Ciclos de vapor regenerativos	339
9.4 Turbinas de vapor en usos industriales.....	348
9.4.1 Cogeneración en plantas de ciclo de vapor	349
9.4.1.1 Turbinas con toma intermedia	349
9.4.1.2 Turbinas de contrapresión.....	350
9.5 Plantas de ciclo combinado de turbinas de gas y de vapor.....	351
9.5.1 Definición y clasificación de los ciclos combinados.....	351
9.5.2 Esquema general de una planta de ciclo combinado de turbina de gas y de vapor	355
9.5.3 Características de las turbinas de gas	356
9.5.4 Caldera de recuperación de calor	358
9.5.5 Características del ciclo de vapor	365

UNIDAD DIDÁCTICA III

Capítulo X. CONCEPTOS BÁSICOS GENERALES SOBRE TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS373

10.1 Ecuación fundamental de las turbomáquinas	374
10.2 Análisis del intercambio energético que tiene lugar en las turbomáquinas	379
10.3 Estructura de las turbomáquinas térmicas.....	381
10.4 Clasificación de las turbomáquinas.....	383
10.5 Aplicación de las ecuaciones y conceptos anteriores a turbinas y compresores. Tipos de escalonamientos	386
10.5.1 Turbomáquinas axiales.....	386
10.5.1.1 Turbomáquinas axiales de reacción	388

10.5.1.2	Turbomáquinas axiales de acción	390
10.5.1.3	Turbocompresores axiales	393
10.5.2	Turbomáquinas radiales.....	398
10.5.2.1	Turbinas centrípetas.....	399
10.5.2.2	Turbocompresores centrífugos.....	399
10.6	Criterios que se utilizan para definir el rendimiento de las turbomáquinas	403
10.7	Origen de las pérdidas en las turbomáquinas.....	406
10.7.1	Pérdidas internas.....	406
10.7.2	Pérdidas externas.....	408
10.8	Potencia interna y potencia efectiva.....	409
Capítulo XI. TURBINAS AXIALES		413
11.1	Campos de aplicación de las turbinas axiales y de las turbinas centrípetas	414
11.2	Parámetros que definen la geometría de una corona de álabes y el flujo que la atraviesa	414
11.2.1	Relación entre la geometría de la máquina y los triángulos de velocidades	418
11.3	Parámetros que permiten definir el diagrama de velocidades en un escalonamiento de turbina.....	419
11.4	Factores de los que dependen las pérdidas y el rendimiento en los escalonamientos de turbinas axiales.....	426
11.5	Importancia del diagrama de velocidades en el prediseño de la máquina. Valores óptimos de los parámetros que caracterizan la forma del diagrama de velocidades.....	433
11.5.1	Escalonamientos en los que se recupera la velocidad de salida.....	433
11.5.2	Escalonamientos en los que se pierde la velocidad de salida.....	437
11.6	Comparación entre escalonamientos de acción y reacción	441
11.7	Justificación de la necesidad de fraccionar el salto en una turbina axial.....	442
11.8	Rendimiento de una turbina formada por múltiples escalonamientos	446
Capítulo XII. COMPRESORES AXIALES.....		449
12.1	Introducción	450
12.2	Parámetros de los que dependen las pérdidas en compresores axiales.....	451

12.3	Correlaciones de pérdidas	452
12.4	Valores óptimos de los parámetros que caracterizan la forma del diagrama de velocidades	456
12.5	Razón por la que es necesario utilizar múltiples escalonamientos en compresores axiales.....	461
12.6	Relación entre el rendimiento de los escalonamientos que componen la máquina y el rendimiento del tubocompresor en un conjunto	466
12.7	Consideraciones sobre el diseño de turbomáquinas axiales.....	471
12.8	Comparación entre compresores axiales, centrífugos y volumétricos	473
Capítulo XIII. CÁMARAS DE COMBUSTIÓN.....		475
13.1	Introducción	476
13.2	Factores que condicionan el diseño de las cámaras de combustión para turbinas de gas.....	477
13.3	Inestabilidad de la llama	479
13.4	Criterios de diseño	479
13.5	Cámaras de combustión convencionales con combustión por difusión.....	480
13.5.1	Descripción del proceso de combustión.....	480
13.5.2	Rendimiento	484
13.5.3	Tipos de cámaras de combustión.....	485
13.5.4	Problemas de contaminación asociados	486
13.5.5	Sistemas de control de la contaminación	488
13.6	Cámaras de combustión de premezcla pobre	491
13.6.1	Descripción del proceso de combustión.....	491
13.7	Combustibles para turbinas de gas.....	494
Capítulo XIV. CALDERAS Y GENERADORES DE VAPOR		497
14.1	Definición y clasificación de las calderas	498
14.1.1	Clasificación de las calderas.....	499
14.2	Descripción de las calderas	500
14.2.1	Calderas de tubos de humo o pirotubulares.....	500
14.2.2	Calderas de tubos de agua o acuotubulares	501
14.2.3	Ventajas e inconvenientes de las calderas acuotubulares frente a las pirotubulares	503
14.2.4	Calderas de recuperación de calor.....	504
14.2.5	Calderas domésticas y calentadores de agua	506

14.3	Procesos que tienen lugar en las calderas	508
14.3.1	Proceso de combustión.....	508
14.3.2	Mecanismos de transferencia de calor entre el gas y el agua.....	509
14.4	Diseño de calderas y generadores de vapor	510
14.4.1	Parámetros y fundamentos del diseño de calderas	511
14.4.2	Balance de energía	514
14.4.3	Otras consideraciones y especificaciones de los diseños	515

ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA

Anexo I. PROCESOS EN FLUIDOS COMPRESIBLES	527
A.1. Introducción.....	527
A.2. Procesos termodinámicos de importancia en el estudio de las máquinas y los motores térmicos.....	528
A.3. Principios y ecuaciones que rigen el comportamiento de los flujos compresibles	531
A.3.1 Ecuaciones generales.....	532
A.3.2 Trabajo intercambiado con el entorno.....	536
A.4. Propiedades termodinámicas de mezclas reactivas.....	540
A.5. Cinética química y constantes de equilibrio.....	542
A.6. El Factor de Carnot. Rendimiento máximo de los motores térmicos.....	545
A.7. Concepto de velocidad del sonido y número de mach	547
A.7.1 Velocidad del sonido.....	547
A.7.2 Concepto de número de Mach	549
A.7.3 Concepto de onda de choque.....	550
A.8. Expansión y compresión en conductos, toberas y difusores	551
A.8.1 Efecto de la compresibilidad.....	551
A.8.2 Forma del conducto en toberas y difusores	553
A.8.3 Parámetros críticos de un gas	555
A.8.4 Comportamiento del fluido en conductos sin fricción	556
A.8.4.1 Expresión del gasto en toberas y difusores.....	556
A.8.4.2 Expansión en conductos convergentes	558
A.8.4.3 Comportamiento del fluido en un conducto convergente-divergente	559
A.8.5 Comportamiento del fluido en conductos con fricción	562
A.8.6 Evaluación de las pérdidas en toberas y difusores	563
A.8.6.1 Comparación de los casos de expansión y compresión	564

A.8.6.2 Coeficientes para evaluar la fricción en toberas y difusores	566
A.8.7 Expresión de la presión crítica en función del rendimiento isentrópico de la tobera	568
A.9. Ecuación de Bernoulli	569
A.10. Pérdida de carga en flujos compresibles	570
A.11. Justificación de que los flujos con $M < 0,2$ se comportan como incompresibles	571
A.12. Influencia de los números de Reynolds y de Mach en las pérdidas asociadas a los procesos de flujos compresibles.....	572
A.13. Flujo alrededor de un perfil aerodinámico en cascadas de álabes..	575
A.14. Eficiencia de intercambiadores de calor de superficie	577
Anexo II. Tablas	581
Bibliografía	589
Lista de símbolos	593

CAPÍTULO 1

MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS

GENERALIDADES

Objetivos fundamentales del capítulo:

- Distinguir entre máquina hidráulica y máquina térmica
- Entender por qué en una máquina térmica motora es posible extraer energía térmica del fluido que la atraviesa y transformarla en energía mecánica que pueda ser utilizada en diversas aplicaciones.
- Entender por qué en una máquina térmica generadora es posible aumentar la energía térmica de un fluido, consiguiendo aumentar su nivel de presión y de temperatura, a base de consumir energía mecánica del exterior, que se introduce a través del eje como par de accionamiento.
- Distinguir entre máquina térmica motora y motor térmico.
- Entender la diferencia entre motor de combustión interna y externa.
- Que el alumno tenga clara la clasificación de las máquinas térmicas y los motores térmicos, entendiendo en qué se diferencian unos tipos de otros en cuanto a su principio de funcionamiento y esquema constructivo.
- Conocer cómo se define el rendimiento en el caso de los motores de combustión externa y en el caso de los de combustión interna

- Que el alumno conozca los principales campos de aplicación de los distintos tipos de motores y máquinas térmicas, así como las razones por las cuales entran en competencia en las distintas aplicaciones, pudiendo justificar cuáles son más idóneos en cada caso.
- Comprender el papel que juegan los equipos térmicos, generadores de vapor y cámaras de combustión, en las instalaciones de potencia.



Figura 1.1 Esquema de máquina de fluido

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va a presentar una panorámica general de los distintos tipos de máquinas y motores térmicos destacando algunas diferencias básicas en su principio de funcionamiento y revisando los principales campos de aplicación en cada caso. A pesar de que este capítulo se lee con cierta facilidad lo cierto es que algunas de las ideas que se presentan no se asimilan correctamente si no se repasan ciertos conceptos estudiados en Termodinámica, algunos de los cuales se han sintetizado en el anexo I. Por otra parte, las razones por las cuales, por ejemplo, unos tipos de motores son más adecuados para determinados campos de aplicación no se entenderán en profundidad hasta que no se haya abordado el estudio del fundamento y diseño de las máquinas y motores térmicos que se realiza en posteriores capítulos. No obstante, ha parecido conveniente empezar el estudio con este capítulo de generalidades, si bien se considera imprescindible volver sobre el mismo una vez estudiado el resto de la materia, ya que al releerlo, se analizará, sin duda, con otra perspectiva.

1.2 CONCEPTO DE MÁQUINA TÉRMICA

1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS DE FLUIDO

Antes de exponer el concepto de *máquina térmica* es conveniente aclarar que estas máquinas están englobadas dentro de un conjunto de máquinas más amplio, bajo la denominación de *máquinas de fluido*. Se va a empezar por indicar qué se entiende por máquina de fluido para poner de manifiesto qué particularidades tienen las máquinas térmicas que las distinguen de otro tipo de máquinas de fluido.

Se denomina *máquina de fluido* a toda máquina por la que circula un fluido (fluido de trabajo) de forma que el conjunto de elementos que la constituyen permiten que se realice un intercambio de energía mecánica con el exterior, generalmente a través de un eje, por variación de la energía disponible en el fluido que atraviesa la máquina.

Las *máquinas de fluido* se pueden clasificar atendiendo a distintos criterios:

→ *Dependiendo de si el fluido disminuye o aumenta su energía a su paso por la máquina:*

- *Motoras* $E_1 > E_2$

El fluido disminuye su energía¹ a su paso por la máquina, y en consecuencia se obtiene energía mecánica aprovechable en forma de par motor en el eje de la máquina.

Ejemplos: turbina térmica, turbina hidráulica, máquina de vapor.

- *Generadoras* $E_1 < E_2$

El fluido aumenta su energía a su paso por la máquina debido a que la máquina absorbe energía mecánica del exterior mediante un par de accionamiento.

Ejemplos: bomba centrífuga, compresor axial, compresor alternativo, compresor rotativo de paletas, etc.

→ *Dependiendo si el fluido de trabajo es incompresible o compresible:*

- *Máquinas hidráulicas* $\rho_1 \cong \rho_2$

El fluido que evoluciona por la máquina es incompresible o se comporta

¹ Desde otro punto de vista se podría decir que disminuye su exergía al atravesar la máquina.

como tal, lo que tiene importantes implicaciones, como se pone de manifiesto en el epígrafe siguiente.

Ejemplos: bomba, turbina hidráulica, ventilador.

- *Máquinas térmicas* $\rho_1 \neq \rho_2$

El fluido que evoluciona por la máquina es compresible y varía su densidad de forma significativa al atravesar la máquina.

Ejemplos:

- *Motoras* $\rho_1 > \rho_2$: turbina térmica, máquina de vapor.
- *Generadoras* $\rho_1 < \rho_2$: turbocompresor, compresor volumétrico de lóbulos, etc.

→ *Dependiendo de si el fluido circula de manera continua o en cada instante evoluciona una cantidad bien definida de fluido:*

- *Dinámicas o turbomáquinas*

Ejemplos: turbina, bomba centrífuga, turbocompresor.

- *Volumétricas o de desplazamiento positivo*

Ejemplos: bomba alternativa, compresor alternativo, compresor rotativo de paletas, compresor rotativo de tornillo, etc.

1.2.2 DISTINCIÓN ENTRE MÁQUINA HIDRÁULICA Y MÁQUINA TÉRMICA

Como puede verse, tanto las máquinas hidráulicas como las máquinas térmicas pueden ser motoras o generadoras, volumétricas o turbomáquinas; lo que diferencia a ambos tipos de máquinas es concretamente qué tipo de fluido, compresible o incompresible, evoluciona por su interior. En ese sentido hay que destacar que la compresibilidad del fluido juega un papel fundamental en el intercambio energético que tiene lugar entre el fluido compresible y el exterior, tal como se expone en el anexo I, basándose en la ecuación del Primer Principio de la Termodinámica. En los fluidos compresibles es posible transformar energía térmica en energía mecánica expandiendo el fluido, así como aumentar la energía térmica de un fluido, y por tanto su nivel de presión, comprimiendo el fluido. Como consecuencia de ello, al distinguir entre máquinas térmicas y máquinas hidráulicas se está diferenciando qué tipos de energías estarán presentes en el término que se ha denominado genéricamente “E”, en la clasificación de las máquinas de fluido. Las máquinas térmicas

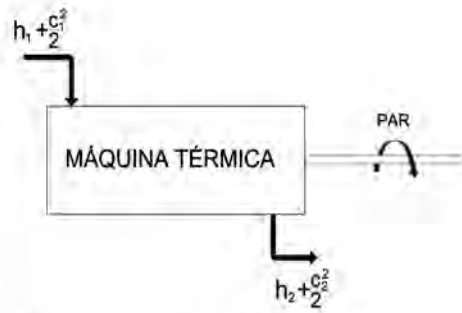


Figura 1.2 Ejemplo de máquina térmica dinámica

cas utilizan *fluidos compresibles* y en ellas es posible transformar parte de la energía térmica de estos fluidos en energía mecánica y viceversa; por tanto, “E” incluirá energía térmica y energía cinética, ya que la variación de la energía potencial entre la entrada y la salida de la máquina puede despreciarse. En los *fluidos incompresibles* esta transformación no es posible, de forma que sólo se podrá aprovechar su energía mecánica, en concreto su energía cinética. Por tanto, si a la entrada de una máquina hidráulica el fluido tiene una energía térmica asociada, que se puede incrementar por la fricción a su paso por la máquina, ésta no intervendrá en el intercambio energético

1.2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS

→ *Caso de sistema abierto, característico de las turbomáquinas:*

- *Máquinas motoras (turbinas):* Debido a la compresibilidad del fluido, dicho fluido transforma su energía térmica en energía cinética mediante un proceso de expansión. Dicha energía cinética será aprovechada para generar un par motor en el eje de la máquina.

Posteriormente, en el capítulo 11, se analizará cómo son las turbinas térmicas internamente; es decir, cuál es su diseño constructivo para que se pueda realizar esa transformación de energía térmica en mecánica (cinética en un principio) y que a su vez, posteriormente, la energía mecánica se manifieste en forma de par motor en el eje de la máquina. Se puede, no obstante anticipar que el fluido atraviesa en este tipo de máquina conductos convergentes en su mayoría.