



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS.



NOMBRE DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE:

FÍSICA TÉRMICA

**UNIDAD DE COMPETENCIA V: MÁQUINAS
TÉRMICAS, ENTROPIA Y SEGUNDA LEY
DE LA TERMODINÁMICA.**

Responsable: Dr. Jorge Mulia Rodríguez

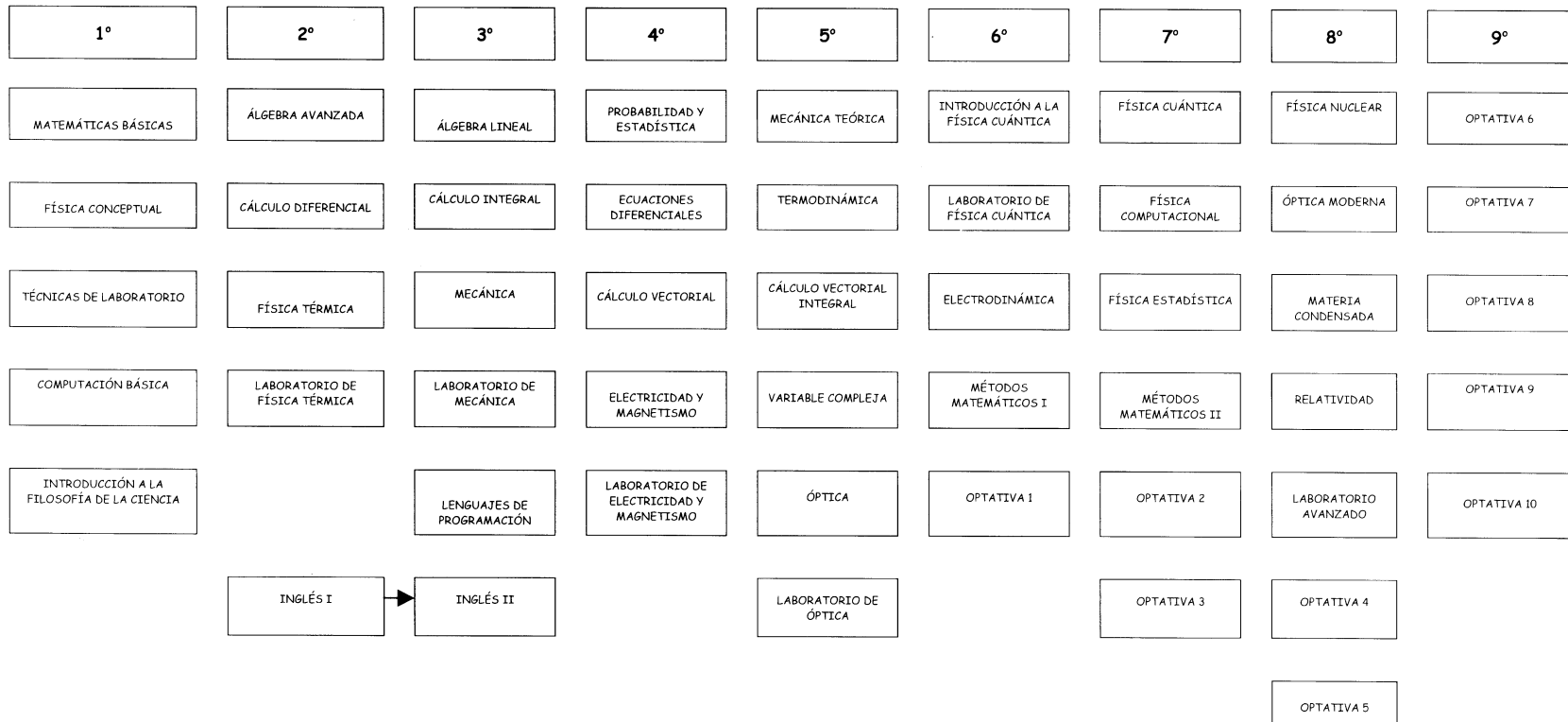
Junio de 2016

GUIA EXPLICATIVA DE USO GENERAL PARA LA UNIDAD DE APRENDIZAJE FÍSICA CONCEPTUAL 2016A. UNIDAD DE COMPETENCIA V

	Página		Página
Trayectoria Académica	3	Equivalencia de los resultados	22
Unidad de Aprendizaje	4	Desigualdad de Clausius	24
Desarrollo de la Unidad de Aprendizaje.	6	La entropía base de la segunda ley de la Termodinámica	27
Máquinas Térmicas, Entropía y Segunda Ley de la Termodinámica	7	Eficiencia o rendimiento de una máquina térmica	30
Objetivos	8	El Ciclo de Carnot	31
Introducción	9	El ciclo de Carnot está compuesto de cuatro procesos:	33
Enunciado de la Segunda Ley de la Termodinámica a) Enunciado de Carnot	10	Diagrama típico para un gas ideal que experimenta un ciclo de CARNOT.	34
Esquema de una máquina Térmica	13	Ciclo de refrigeración y bomba de calor	35
b) Enunciado Según Kelvin-Plank	14	Ciclo inverso de carnot	37
Postulado de Kelvin-Plank	16	Problemas	38
c) Enunciado Según Clausius	17	Bibliografía	42
Procesos Irreversibles	19		
En Resumen los procesos irreversibles incluyen una o más de las siguientes irreversibilidades	21		

TRAYECTORIA ACADÉMICA

TRAYECTORIA IDEAL (9 SEMESTRES) DE LA LICENCIATURA EN FÍSICA



UNIDAD DE APRENDIZAJE



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM

Secretaría de
Docencia
Facultad de Ciencias

PROGRAMA DE ESTUDIO POR COMPETENCIAS (FISICA TÉRMICA)

I. IDENTIFICACIÓN DEL CURSO

Espacio Educativo: Facultad de Ciencias						
Licenciatura: en Física				Área de docencia: Física Básica		
Año de aprobación por el Consejo Universitario:						
Aprobación por los H.H. Consejos Académico y de Gobierno		Fecha:		Programa elaborado por: Dr. Benjamín Ibarra Tandi Dra. Lorena Romero Salazar Dr. Jorge López Lemus		
				Fecha de elaboración: 29/11/2011 Actualización: 10 de Febrero de 2012.		
Clave	Horas de teoría	Horas de práctica	Total de horas	Créditos	Tipo de curso	Núcleo de formación
3	4	2	6	10	TP curso presencial	Básico
Unidad de Aprendizaje Antecedente				Unidad de Aprendizaje Consecuente		

XI. ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM

*Secretaría de
Docencia
Facultad de Ciencias*

docente y del discente a través de tareas.

MAQUINAS TERMICAS, ENTROPIA Y SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA Se define la segunda ley de la termodinámica desde diferentes perspectivas: de las maquinas térmicas, de los procesos reversibles e irreversibles y del concepto de entropía. De nuevo el docente ejemplificara la aplicación de dichos conceptos a través de ejemplos y la resolución de problemas en clase. El discente hará lo propio a través de tareas.

ONDAS MECANICAS Se hace una revisión general sobre los conceptos del movimiento ondulatorio y ondas sonoras preparando de este modo al estudiante a lo que será la segunda parte del curso de mecánica: ondas y rotaciones.

X. SECUENCIA DIDÁCTICA

XI. DESARROLLO DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

UNIDAD DE COMPETENCIA V:	ELEMENTOS DE COMPETENCIA		
	Conocimientos	Habilidades	Actitudes / Valores



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM

*Secretaría de
Docencia
Facultad de Ciencias*

<p>MAQUINAS TERMICAS, ENTROPIA Y SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA</p>	<p>Enunciar el funcionamiento y principio de maquinas térmicas y se establece la segunda ley de la termodinámica desde esta perspectiva, posteriormente se definen los procesos reversibles e irreversibles así como el funcionamiento de una maquina de Carnot para finalmente definir el concepto de entropía. Relacionar la segunda ley de la termodinámica, desde la perspectiva del concepto de entropía, con la reversibilidad e irreversibilidad de un proceso termodinámico.</p>	<p>Aplicar la segunda ley de la termodinámica en problemas de baja complejidad. Exponer el funcionamiento de maquinas térmicas ideales.</p>	<p>Disciplina en el trabajo individual y en equipo. Ser analítico y crítico constructivo. Responsabilidad para entregar y realizar las tareas encomendadas.</p>
<p>Estrategias didácticas: El docente expondrá a los discentes los conceptos que le permita entender el funcionamiento de una maquina térmica y su relacionarlo con la segunda ley de la termodinámica. Trabajo guiado para el planteamiento y resolución de problemas. Estudios de casos para aplicaciones disciplinares e interdisciplinares. Lluvia de ideas relacionadas con las aplicaciones</p>		<p>Recursos requeridos: Pizarrón Referencia [1-5] Artículos de divulgación/investigación Biblio y mesografía. Bases de datos como http://www.uaemex.mx/bibliotecadigital/ http://www.sciencedirect.com/</p>	<p>Tiempo destinado: 12 hrs teoría 4 hrs práctica</p>

MAQUINAS TERMICAS, ENTROPÍA Y SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

OBJETIVOS

- ▶ El objetivo: Introducir los conceptos básicos y definiciones requeridos por **la segunda ley de la Termodinámica**. Introducir el concepto de **entropía**.
- ▶ Presentar el ciclo y la máquina de CARNOT.

INTRODUCCIÓN.

El primer principio de la termodinámica, afirma que las diversas formas de energía son equivalentes, pero no nos dice nada en cuanto a la posibilidad de la conversión de un cierto tipo de energía en otro y a las limitaciones que pueden o no existir para dicha transformación. Es **el segundo principio** el que nos indicará las limitaciones que existen en las transformaciones energéticas.

ENUNCIADOS DE LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

- a) **Enunciado de Carnot:** Nicolás Léonard Sadi Carnot (1796 - 1832). Para entender adecuadamente el enunciado de Carnot del segundo principio debemos, en primer lugar, definir lo que se entiende en él por *máquinas térmicas*.

Se entiende por **máquina térmica** todo equipo que transforma calor en trabajo mecánico operando cíclicamente. Es decir, que toda máquina térmica está constituida por ciertos mecanismos y algún fluido que evoluciona en ellos, de manera que al describir dicho fluido un ciclo termodinámico se produce la conversión de una cierta cantidad de calor en trabajo mecánico.



Con el concepto de máquina térmica el enunciado de Carnot puede expresarse:

“Toda máquina térmica requiere para su funcionamiento al menos dos fuentes de calor a diferentes temperaturas. La máquina funcionará tomando calor de la fuente de mayor temperatura, que denominaremos fuente caliente, producirá trabajo y entregará calor a la fuente de menor temperatura, que llamaremos fuente fría”.

ESQUEMA DE UNA MÁQUINA TÉRMICA

El esquema representativo de una máquina térmica que funciona de acuerdo con el enunciado de Carnot del segundo principio se indica en la figura siguiente:

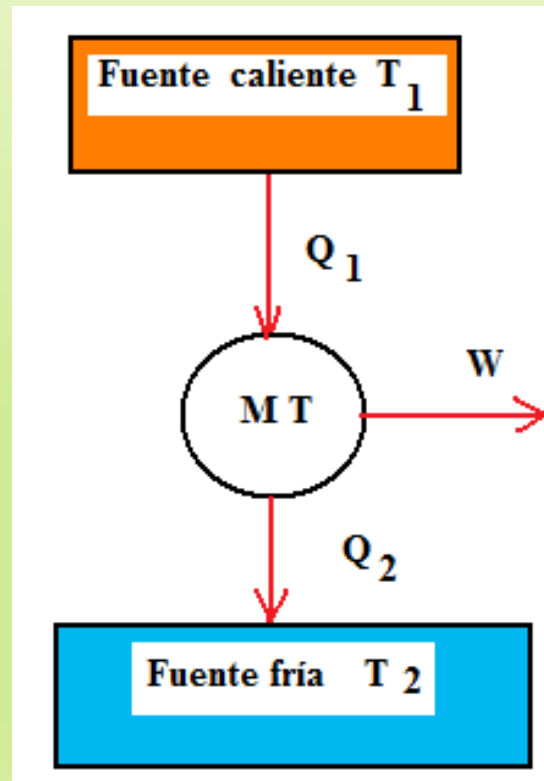
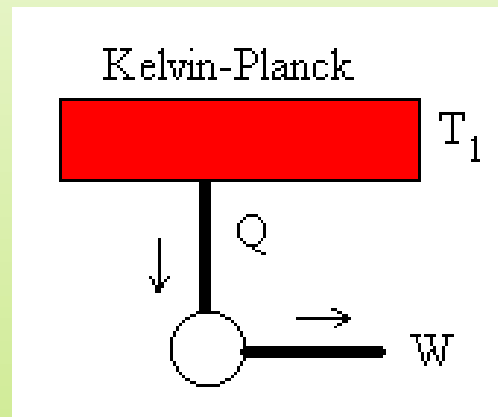


Figura 1: Esquema de una máquina térmica

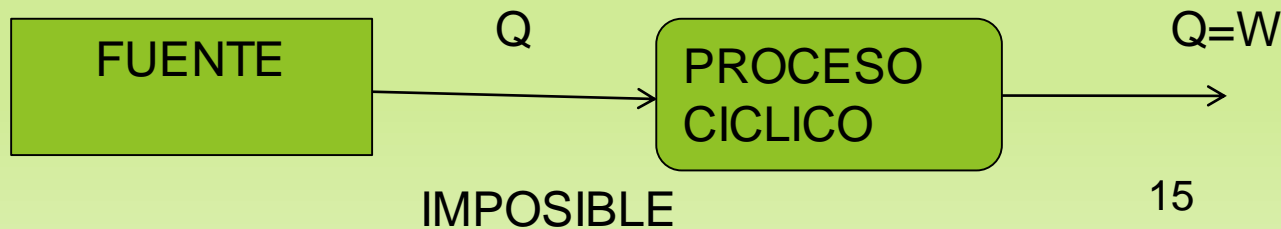
b) Enunciado Según Kelvin-Plank:

“Es imposible construir una máquina con un solo depósito de calor que, mientras funcione siguiendo un ciclo, produzca otros efectos que el de realizar trabajo a base de tomar calor de dicho depósito enfriándolo”.

Este enunciado de Kelvin-Planck exige que cualquier dispositivo cíclico que produzca un trabajo neto intercambie calor por lo menos con dos fuentes térmicas a diferentes temperaturas.



<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/segundo/segundo.htm>



Postulado de Kelvin-Planck:

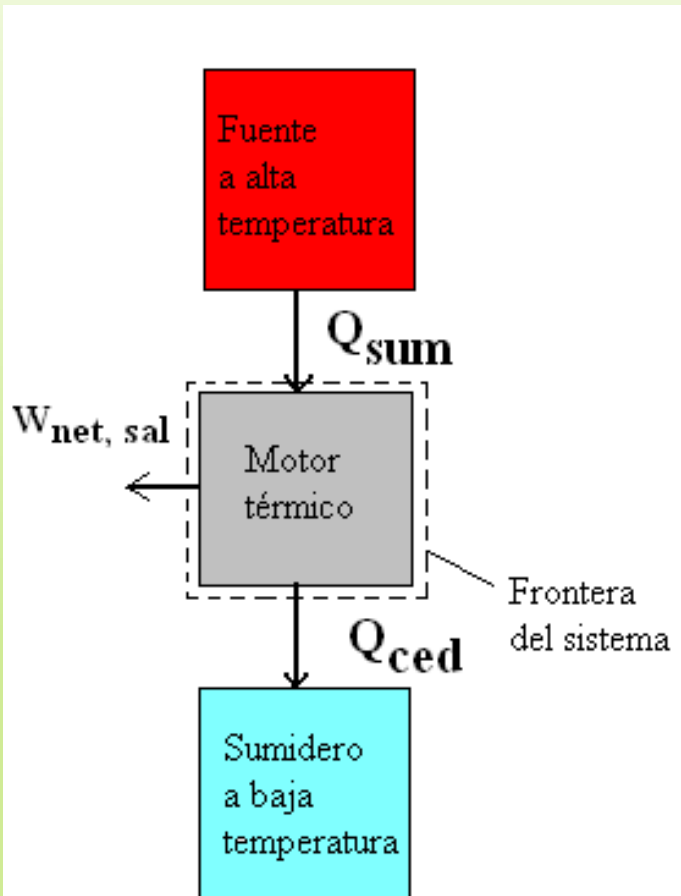
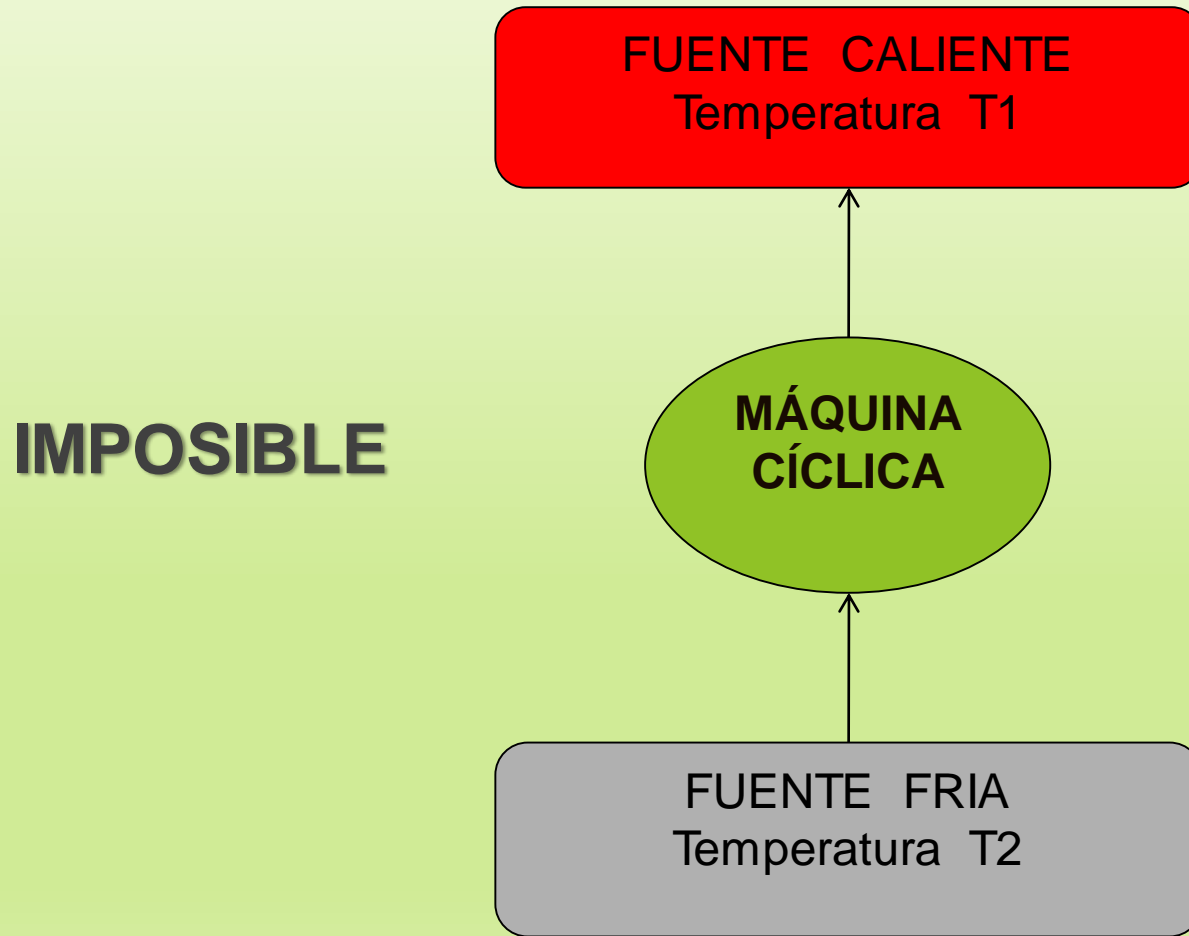


Figura 2.-Esquema simple de un motor térmico.

El postulado exige que los motores térmicos funcionen entre dos cuerpos a diferentes temperaturas. Sin embargo, el cuerpo a baja temperatura no puede ser una fuente de energía como lo es de alta temperatura.

c) Enunciado Según Clausius:



Según Clausius:

- ▶ *“Es imposible la existencia de un sistema que pueda funcionar de modo que su único efecto sea una transferencia de energía mediante calor de un cuerpo frío a otro más caliente”.*
- ▶ Esta exigencia describe simplemente una máquina frigorífica, un dispositivo que funciona cíclicamente, transfiere energía térmica desde una región de baja temperatura a otra de alta temperatura.

PROCESOS IRREVERSIBLES

- ▶ Se dice que un proceso es **irreversible** si, una vez que el proceso ha tenido lugar, resulta imposible devolver al sistema y a todas las partes del entorno a sus respectivos estados iniciales.
- ▶ Por ejemplo utilizaremos el enunciado de Kelvin Planck para demostrar la irreversibilidad de un proceso con rozamiento.

El bloque que generalmente está en reposo en la parte superior

Aplicando el balance de energía para sistemas cerrados.

$$(U_f - U_i) + mg(z_f - z_i) + (E_{cf} - E_{ci}) = Q - W$$

donde :

$$Q = 0$$

$$W = 0$$

$$(E_{cf} - E_{ci}) = 0$$

$$U_f - U_i = -mg(z_f - z_i)$$

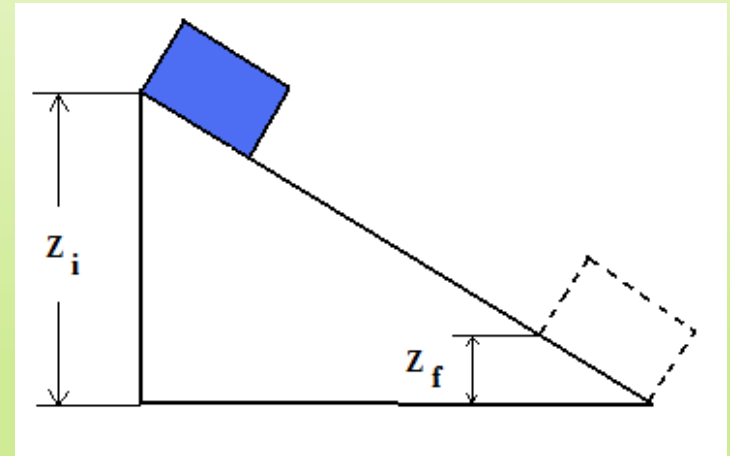


Figura 3: Bloque en un plano inclinado

En resumen los procesos irreversibles incluyen una o más de las siguientes irreversibilidades:

1. Transferencia de calor a través de una diferencia finita de temperaturas.
2. Expansión libre de un gas ó líquido hasta una presión más baja.
3. Reacción química espontánea.
4. Mezcla espontánea de sustancias con diferente composición o estado.
5. Rozamiento- tanto de deslizamiento como de viscosidad en el seno de un fluido.
6. Flujo de corriente eléctrica a través de una resistencia eléctrica.
7. Magnetización o polarización con histéresis.
8. Deformación inelástica.

EQUIVALENCIA DE LOS ENUNCIADOS

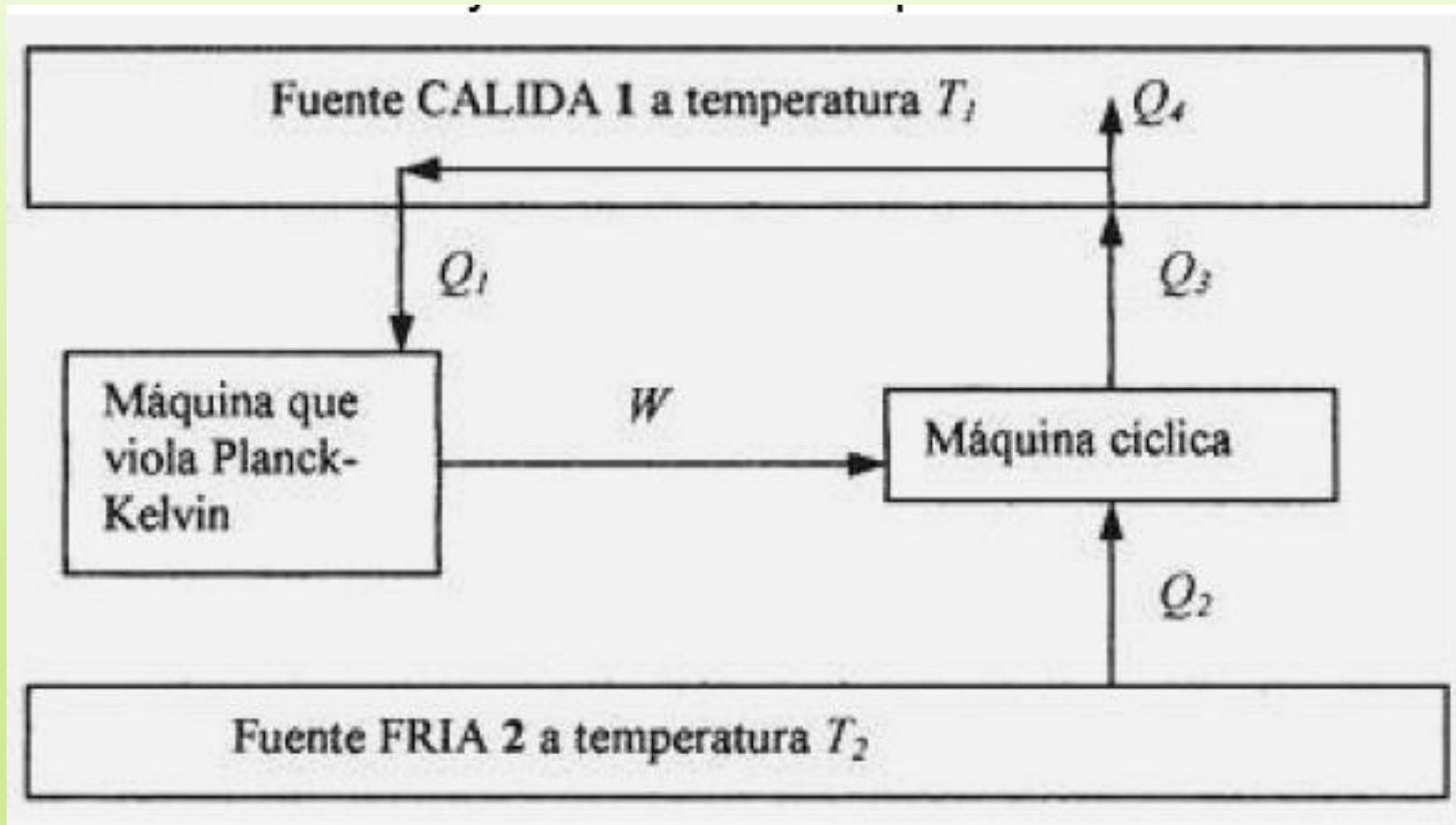


Figura 4: Esquema que ilustra enunciados de una máquina térmica

EQUIVALENCIA DE LOS ENUNCIADOS

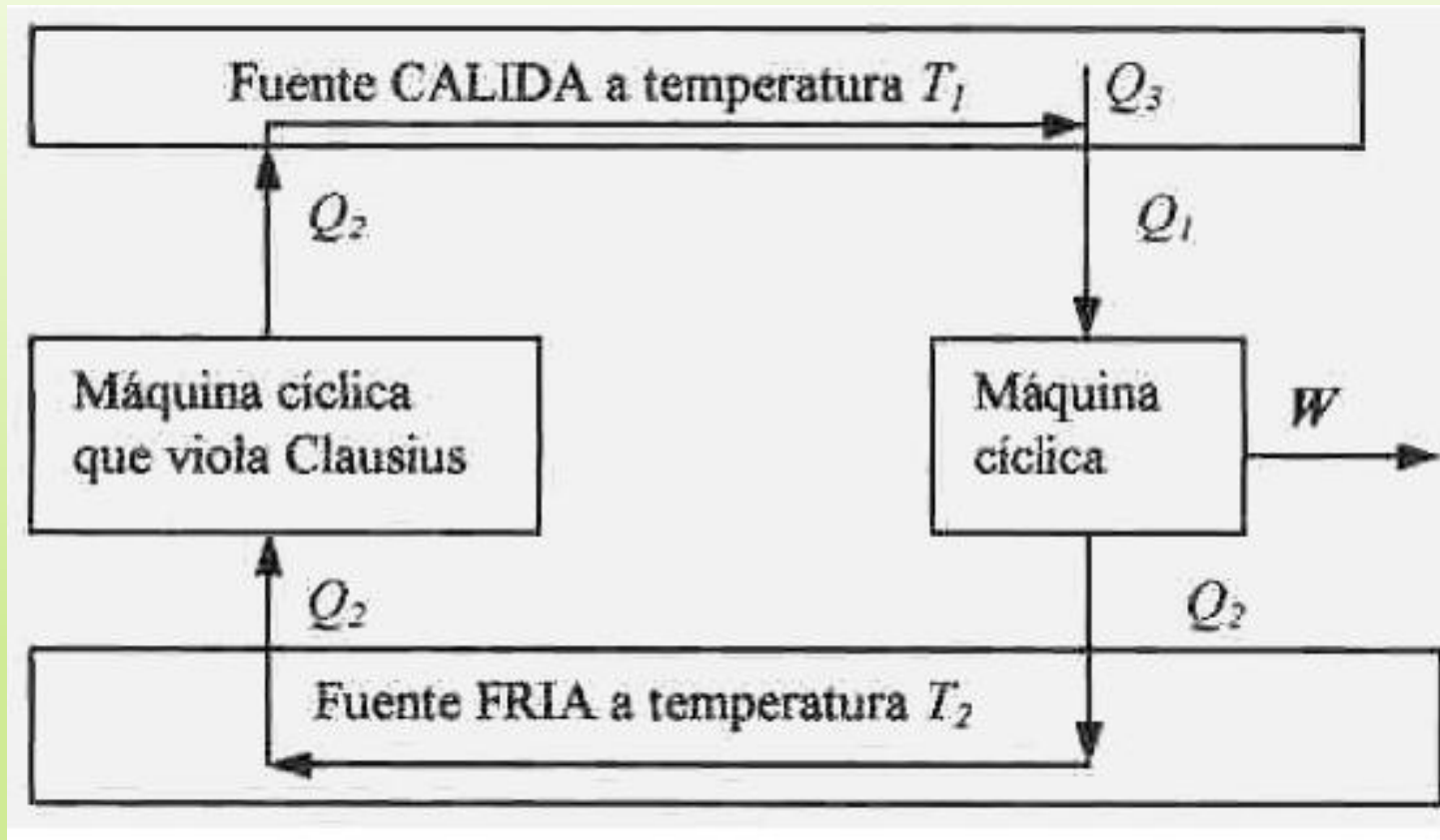


Figura 5: Esquema que ilustra enunciados de una máquina térmica

Desigualdad de Clausius

Considérese un sistema B, y aplicando la primera ley al sistema, la ecuación es:

$$\oint \delta Q_S = \oint \delta W_B$$

Los flujos de energía tienen lugar simultáneamente se obtendrá:

$$\frac{\delta Q_R}{T_o} = \frac{\delta Q_s}{T} \quad \delta Q_R = T_o \frac{\delta Q_s}{T}$$

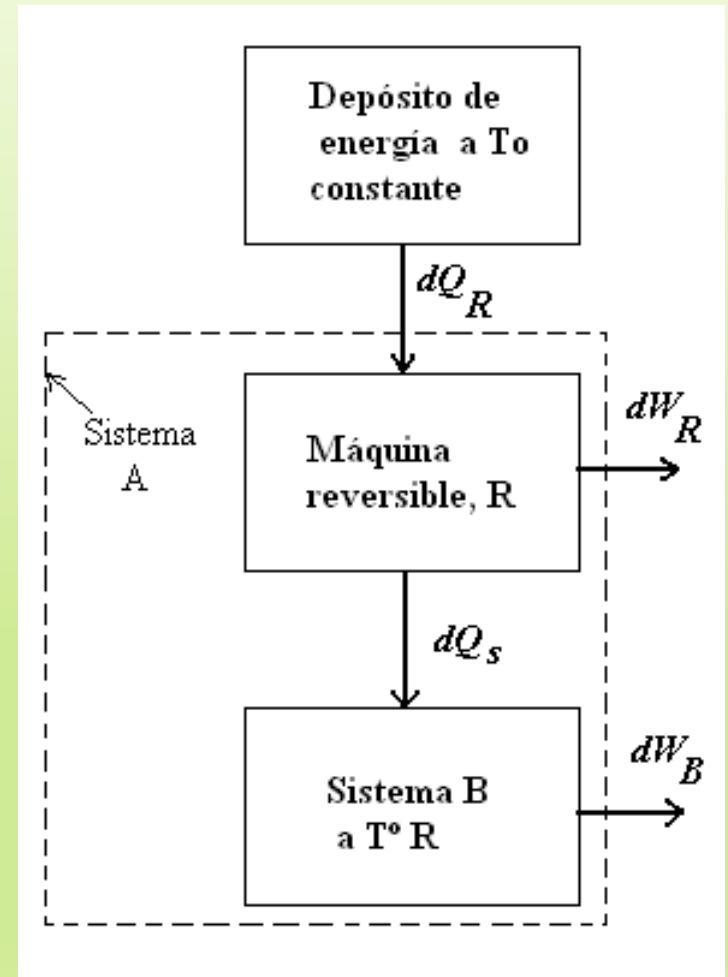


Figura 6: Esquema para la desigualdad de Clausius

Aplicando la primera ley al motor R da:

$$(1) \quad \delta W_R = \delta Q_R - \delta Q_S$$

Sustituyendo el calor que recibe, obtenemos

$$(2) \quad \delta W_R = T_o \frac{\delta Q_s}{T} - \delta Q_s$$

Para un sistema A el trabajo total es

$$(3) \quad \delta W_A = \delta W_B + \delta W_R = \delta Q_s + T_o \frac{\delta Q_s}{T} - \delta Q_s = T_o \frac{\delta Q_s}{T}$$

Concluimos que:

$$\oint \delta W_A = T_o \oint \frac{\delta Q_s}{T} \leq 0$$

Finalmente la relación conocida con el nombre de *desigualdad de Clausius*, es:

$$\oint \frac{\delta Q_s}{T} \leq 0$$

δ ; Símbolo para un incremento infinitesimal de una función de camino.

La entropía base de la segunda Ley de la Termodinámica

Si los procesos son todos reversibles, ningún trabajo neto tendrá que suministrarse, en otras palabras, la integral cíclica de dW_A es igual a cero y, por tanto, podemos escribir la expresión de la desigualdad de *Clausius*:

$$\oint \left(\frac{dQ}{T} \right) = 0$$

Esta ecuación conduce a un resultado importante. Si la integral a lo largo del ciclo arbitrario de una magnitud es cero, entonces la magnitud es una propiedad y se le ha dado el nombre de **entropía**, llamada también Ecuación de la segunda Ley de la Termodinámica.

$$dS = \left(\frac{dQ}{T} \right)_{\text{int.rev.}}$$

Para un camino finito e internamente reversible;

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{dQ}{T} \right)_{\text{intrev}} \quad (5)$$

- Así las leyes primera y segunda son semejantes en cuanto a que ambas conducen a la definición del cambio de una propiedad en función de las interacciones de la frontera de un sistema cerrado.
- El segundo término de las ecuaciones anteriores se interpreta como una medida de transferencia de entropía asociada a la transferencia de calor.
- El cambio de entropía real es:

$$\Delta S' = \int_1^2 \left(\frac{dQ}{T} \right) + \Delta S_p \quad (6)$$

- Siendo ΔS_p la variante producción de entropía

EFICIENCIA O RENDIMIENTO DE UNA MAQUINA TÉRMICA

En términos generales el rendimiento es igual al servicio sobre el gasto, es decir la producción obtenida sobre el consumido.

$$\eta = \frac{\text{producción}}{\text{consumo}}$$

El rendimiento térmico de un ciclo será igual a la producción de trabajo de dicho ciclo, es decir, el calor convertido en trabajo sobre el calor consumido, se expresa por la siguiente ecuación:

$$\eta_T = \frac{\sum Q_i}{Q_A} = \frac{W_{neto}}{Q_A}$$

EL CICLO DE CARNOT

Se mencionó anteriormente que las máquinas son dispositivos cíclicos y que el fluido de trabajo de una de estas máquinas vuelve a su estado inicial al final de cada ciclo. Durante una parte del ciclo el fluido realiza trabajo y durante otra se hace trabajo sobre el fluido. La diferencia entre estos dos momentos es el trabajo neto que entrega la máquina térmica.

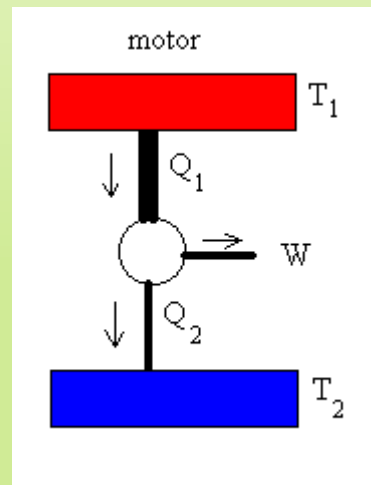


Figura 8: Figura de un motor de Carnot

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/carnot/carnot.htm>

EL CICLO DE CARNOT

El ciclo de CARNOT es un ciclo considerado como el de mayor rendimiento térmico, por que el calor convertido en trabajo térmico es mayor con respecto a otros ciclos.

Los ciclos ideales de las máquinas térmicas sirven también como patrones de comparación con ciclos reales de estas máquinas.

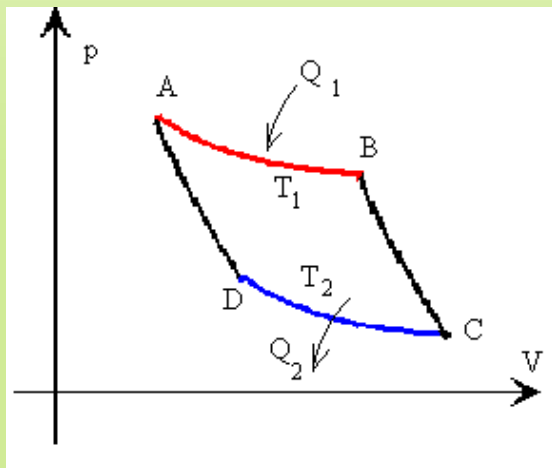


Figura 9: representación gráfica del ciclo de Carnot en un diagrama p-V.

Tramo A-B isoterma a la temperatura T_1
Tramo B-C adiabática
Tramo C-D isoterma a la temperatura T_2
Tramo D-A adiabática

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/carnot/carnot.htm>

El ciclo de CARNOT está compuesto de cuatro procesos:

1-2 Proceso isotérmico de expansión; se expande por que hay disminución de presión y aumento de volumen, en este proceso se suministra calor al fluido operante.

2-3 Proceso isentrópico de expansión; donde el fluido operante al expandirse produce trabajo.

3-4 Proceso isotérmico de compresión; internamente reversible durante la cual se cede un calor al medio exterior.

4-1 Proceso isentrópico de compresión; el fluido de trabajo alcanza la temperatura alta inicial.

Diagramas típicos para un gas ideal que experimenta un ciclo de CARNOT.

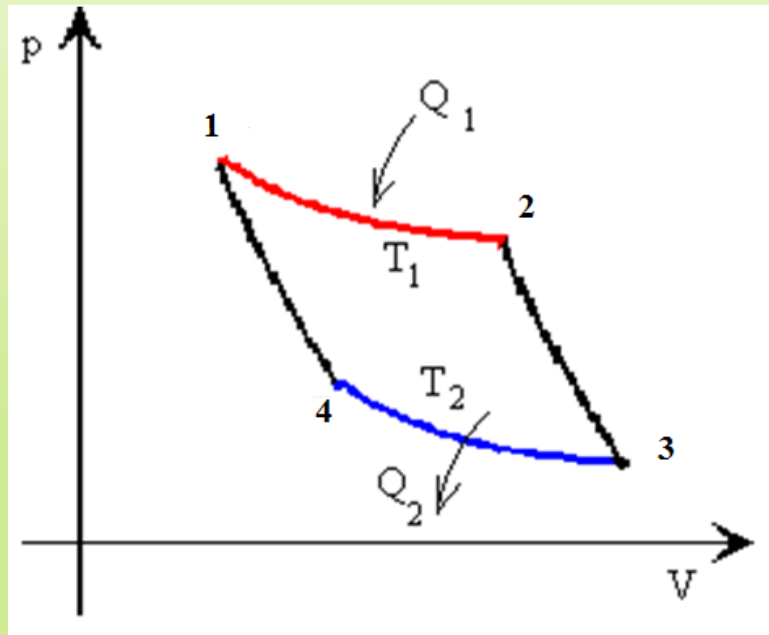


Figura 10: Diagrama P vs V de Carnot

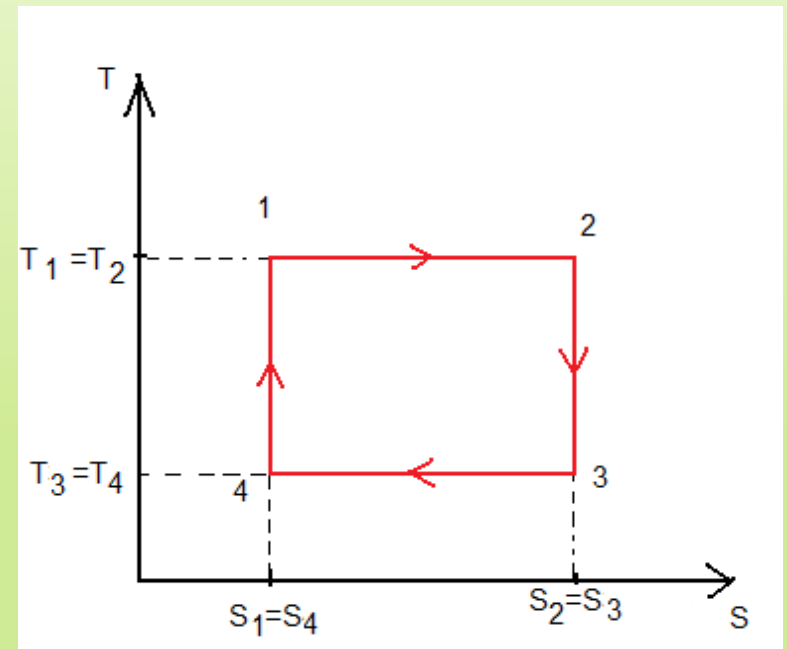


Figura 11: Diagrama T vs S de Carnot

CICLO DE REFRIGERACIÓN Y BOMBA DE CALOR

El segundo principio de la Termodinámica impone límites a las prestaciones de los ciclos de refrigeración y bomba de calor del mismo modo que a las de los ciclos de potencia.

Para un ciclo de refrigeración el coeficiente de operación (coef efecto frigorífico) es:

$$COP = \frac{Q_F}{W_{ciclo}} = \frac{Q_F}{Q_C - Q_F}$$

El coeficiente de operación para un ciclo de bomba de calor es:

$$COP_{bomba} = \frac{Q_C}{W_{ciclo}} = \frac{Q_C}{Q_C - Q_F}$$

CICLO DE REFRIGERACIÓN Y BOMBA DE CALOR

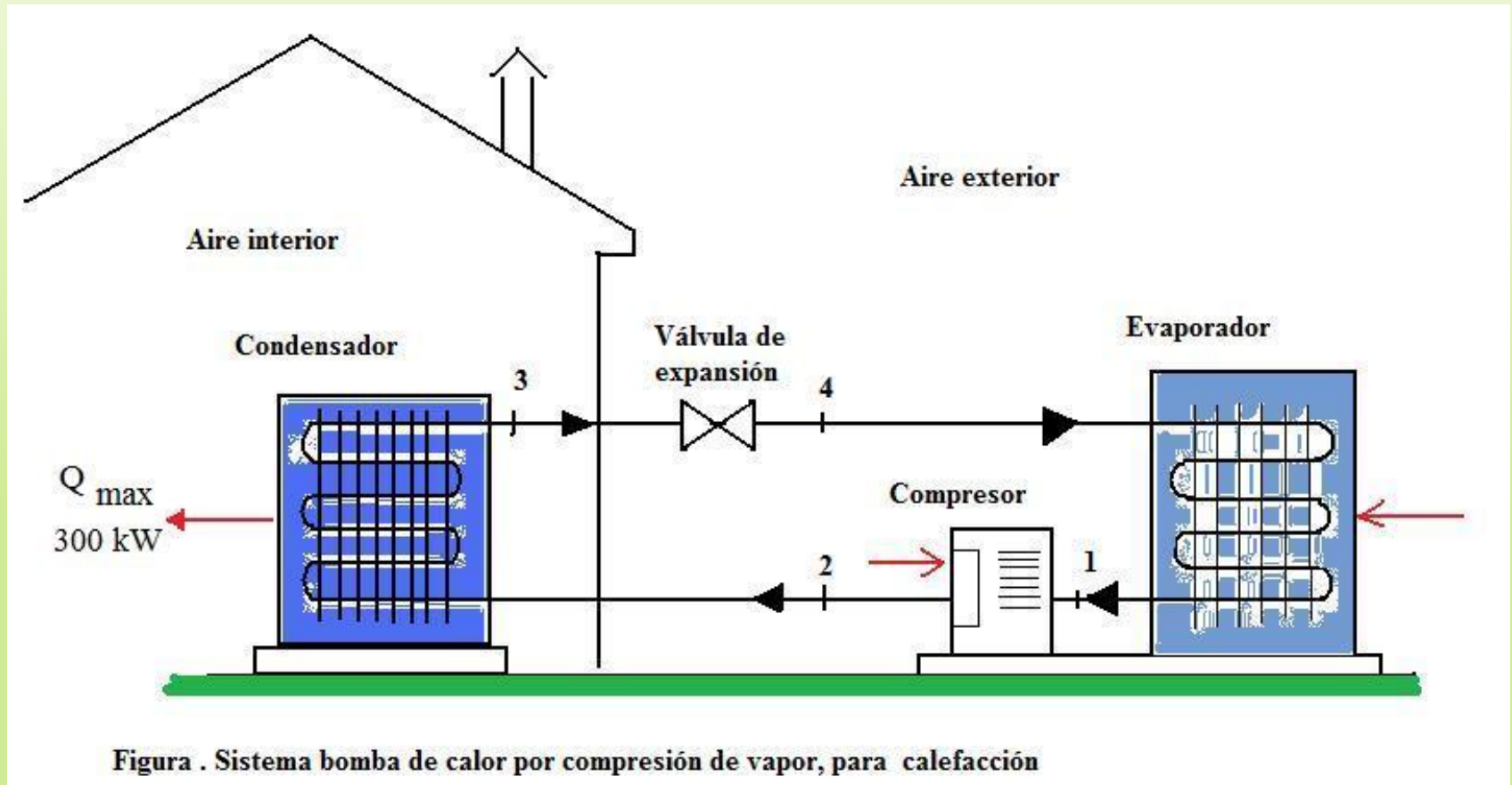


Figura . Sistema bomba de calor por compresión de vapor, para calefacción

CICLO INVERSO DE CARNOT

Para introducir algunos aspectos importantes de la refrigeración empezaremos considerando un ciclo de Carnot de refrigeración de vapor. Este ciclo se obtiene invirtiendo el ciclo de Carnot de potencia de vapor. Todos los procesos son internamente reversibles. Además como la transferencia de calor entre el refrigerante y cada foco ocurre sin diferencia de temperaturas, no hay irreversibilidades externas.

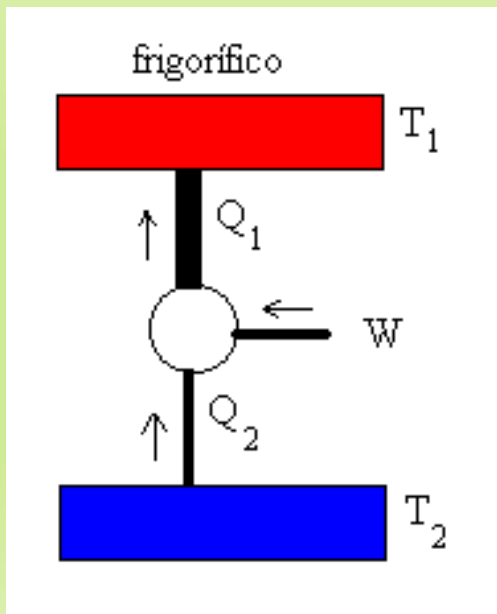


Figura 12: Ciclo de Carnot invertido (refrigerador)

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/carnot/carnot.htm>

PROBLEMAS

Un inventor sostiene que ha desarrollado un ciclo de Potencia capaz de producir un trabajo neto de 410 kJ a partir de un consumo de energía, por transferencia de calor de 1000 kJ. El sistema que realiza el ciclo recibe el calor de un flujo de gases calientes cuya temperatura es de 500 °K y descarga calor a la atmósfera a 300 °K. Evalúe esta afirmación.

EJERCICIOS:

1. De los siguientes enunciados de la segunda ley, ¿cuál es incorrecto?

- a) La entropía de un sistema aislado debe permanecer constante o aumentar.
- b) La entropía de un bloque de cobre caliente disminuye a medida que se enfría.
- c) Si se derrite hielo en agua en un recipiente aislado, la entropía neta disminuye.
- d) Debe introducirse trabajo si se transfiere energía de un cuerpo frío a uno caliente.

2. Una máquina opera con agua geotérmica a 100°C . Descarga a un arroyo a 20°C . Su eficiencia máxima es más cercana a:

- a) 21% b) 32 % c) 58% d) 80%

3. Un inventor dice que una máquina térmica opera entre capas oceánicas a 300°K y 200°K . Produce 100 kW y descarga 12000 kJ/min. Esta máquina es:

- a) Posible b) Imposible c) Reversible
d) Probable.

4. Seleccione un enunciado incorrecto que relacione con el ciclo de CARNOT.

- a) Ocorre trabajo para los cuatro procesos.
- b) Cada transformación es un proceso reversible
- c) Hay dos procesos a presión constante.

5. Calcule el cambio total de entropía si 10 kg de hielo a 0°C se mezcla con 20 kg de agua a 20°C . El calor de fusión del hielo es 340 kJ/kg .

- a) $6,1\text{ kJ/}^{\circ}\text{k}$ b) $3,9\text{ kJ/}^{\circ}\text{K}$ c) $1,2\text{ kJ/}^{\circ}\text{K}$ d) $0,21\text{ kJ/}^{\circ}\text{k}$

BIBLIOGRAFÍA

- 1] Serway Raymond A. y Jewett Jr. John; Física para ciencias e ingeniería, Vol. 1, Cengage Learning Editores, Séptima edición, 2008.
- [2] Resnick Robert y Halliday David; Física 1, Pearson Editores, Quinta edición, 2002.
- [3] Sears Francis, W, Freedman Roger A., Young Hugh D. And Zemansky Mark W.; Física universitaria (volumen 1), Pearson Editores, 1999.
- [4] Tipler Paul A. y Gene Mosca; Física para la ciencia y la tecnología, volumen 1, Reverte Editores, Sexta edición, 2010.
- [5] Castellan Gilbert W.; Fisicoquímica, Pearson Editores, Segunda edición, 2002.