

FÍSICA II

Bloque I

INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

- Campo eléctrico y magnético
- Corriente eléctrica
- Electromagnetismo

BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro-magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica

Tema 1. Interacción eléctrica

Interacciones fundamentales

Interacción	Intensidad relativa	Alcance	Propiedad	Fenómenos
Gravitatoria	10^{-38}	∞	masa	Galaxias... planetas
Nuclear fuerte	1	10^{-15} m	carga fuerte	Estabilidad del núcleo
Nuclear débil	10^{-14}	10^{-18} m	carga débil	Desintegración radiactiva
Electro-magnética	10^{-2}	∞	carga eléctrica	Átomos... materia

- **TECNOLOGÍA**

- **FUERZAS MACROSCÓPICAS:** tensión, normal, fuerza de rozamiento, resistencia...

- **QUÍMICA BIOLOGÍA**

- **LUZ...**

Contenidos

- 1 Carga eléctrica
- 2 Fuerza de Coulomb
- 3 Campo eléctrico
- 4 Potencial eléctrico

1 Carga eléctrica

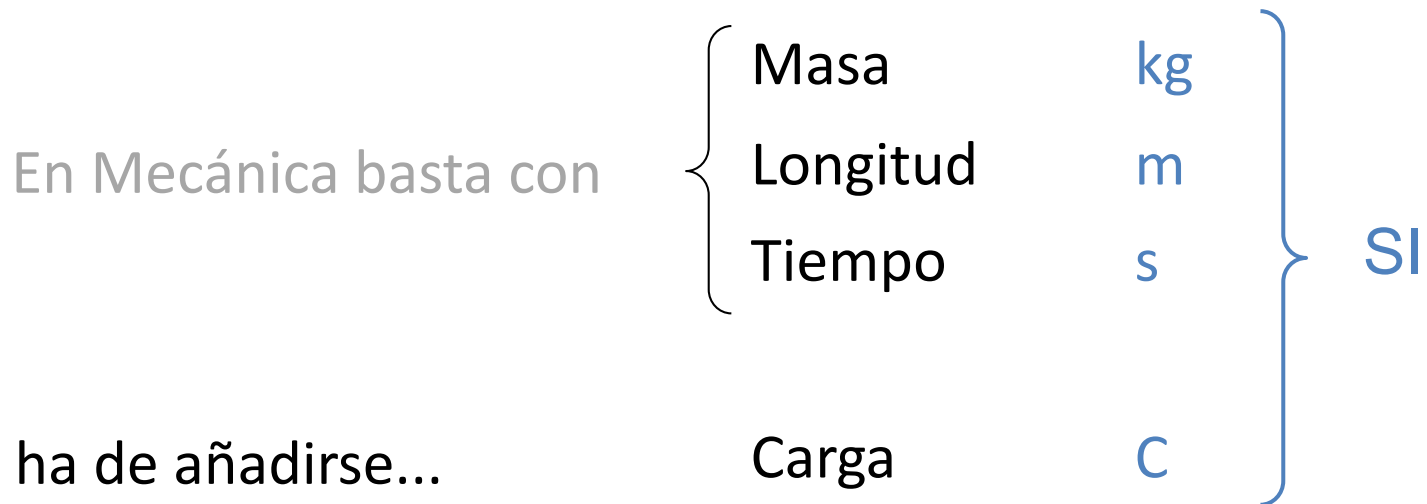
Solo se produce fuerza electromagnética entre partículas con carga eléctrica.

- Existen dos tipos de carga: positiva y negativa.
- La carga se conserva
- La carga está cuantizada: no existe carga $< q_{e^-} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Hay fenómenos electromagnéticos que solo se manifiestan para cargas en movimiento: MAGNETISMO

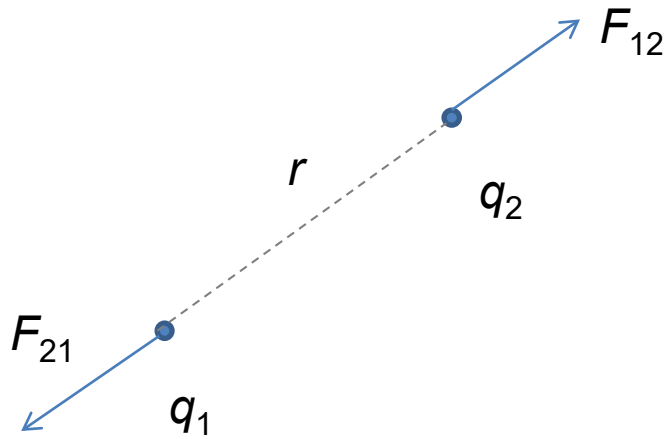
1 Carga eléctrica

Unidad SI: culombio (C)

La carga es una nueva magnitud fundamental:



2 Ley de Coulomb



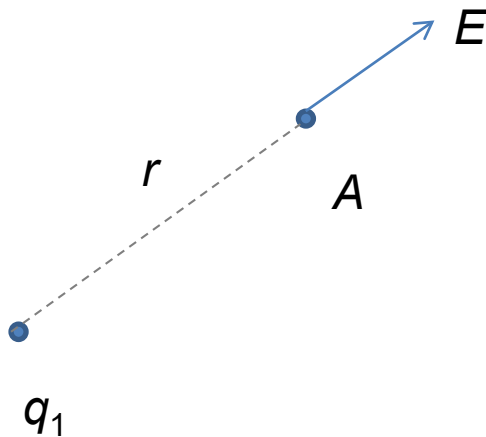
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_r$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ (SI)}$$

Es una ley obtenida de forma experimental

3 Campo eléctrico

Intensidad de campo eléctrico en A: fuerza en A sobre la carga positiva unidad.



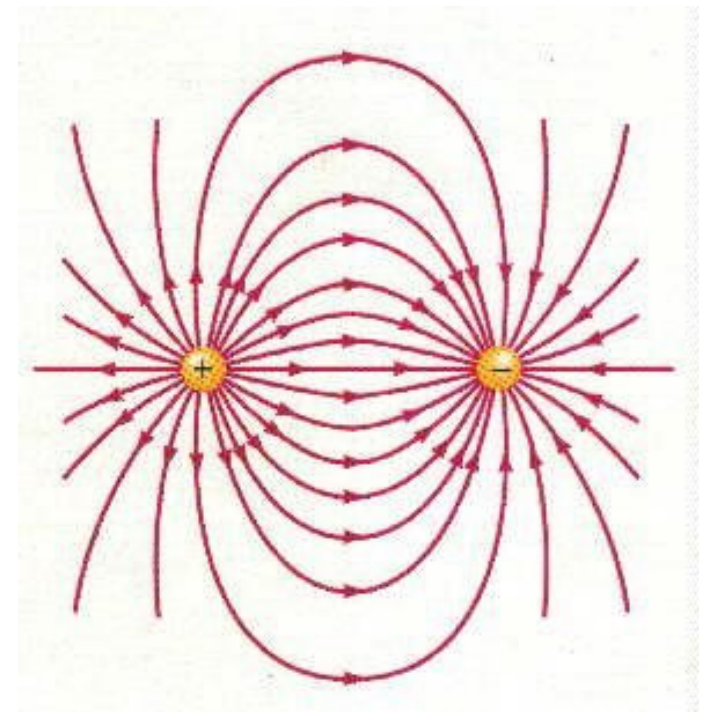
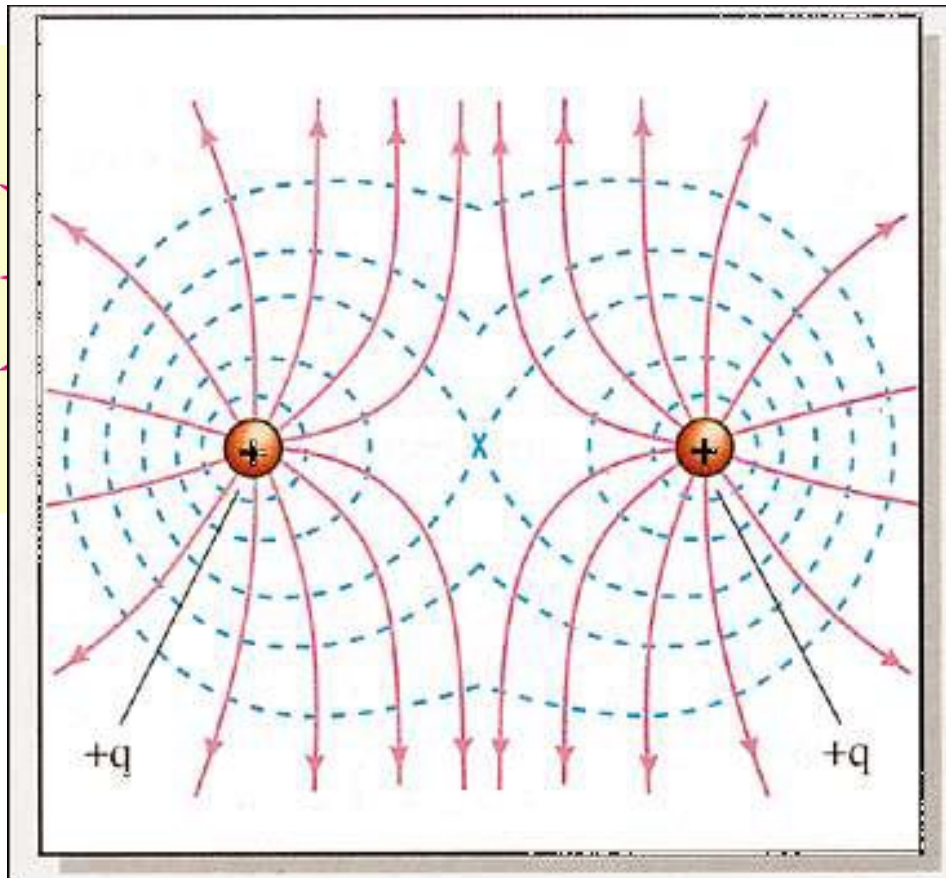
$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \vec{u}_r$$

Principio de superposición: si hay varias cargas $\vec{E} = \sum_i k \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_{ri}$

3 Campo eléctrico

Representación gráfica del campo

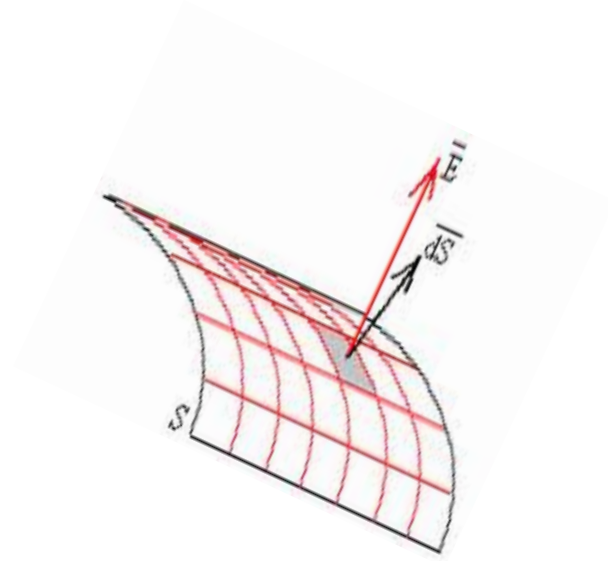
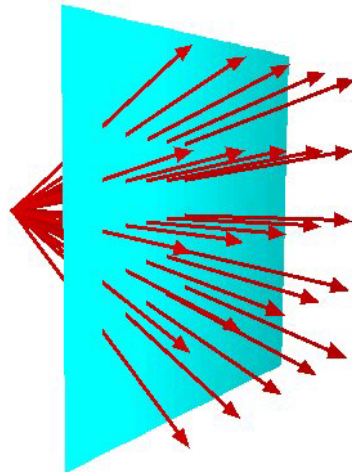
Líneas de campo eléctrico: líneas tangentes al campo en cada punto



3 Campo eléctrico

Flujo del campo eléctrico a través de una superficie:

$$\phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{s}$$



4 Potencial eléctrico

- **Potencial eléctrico** en A: trabajo que realiza el campo al trasladar la carga positiva unidad desde A hasta el origen de potenciales.

$$V_A = \int_A^{\text{ORIGEN}} \vec{E} \, d\vec{l} = W_{A \rightarrow \text{ORIGEN}}$$



Carga puntual:

$$V_A = k \frac{q}{r}$$

Sistema Cargas :
$$V_A = \sum_i k \frac{q_i}{r_i}$$

- Diferencia de potencial:
$$V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \, d\vec{l} = W_{A \rightarrow B}$$

- Energía potencial:

$$E_P = q_2 V_A$$

4 Potencial eléctrico

Relación Campo - Potencial eléctrico

- V a partir de E :
$$V_A = \int_A^{\text{ORIGEN}} \vec{E} \, d\vec{l}$$

- E a partir de V :
$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V_A = -\left(\frac{\partial V}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \vec{k} \right)$$

El campo es perpendicular a las superficies equipotenciales

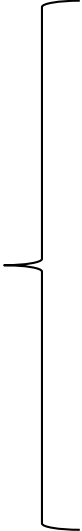
BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro- magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica

Tema 2. Campo eléctrico en la materia

Contenidos

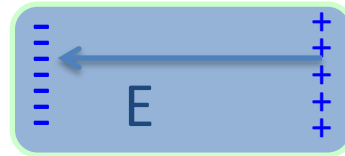
- 1 Conductor en un campo eléctrico
- 2 Aislante en un campo eléctrico
- 3 Condensadores
- 4 Asociación de condensadores

Tipos de materiales en un campo eléctrico

- 
- Conductor: posee cargas libres
 - Aislante: sin cargas libres
 - Semiconductor

1 Conductor en un campo eléctrico

Conductor



redistribución de cargas

Campo externo



Conductor en equilibrio

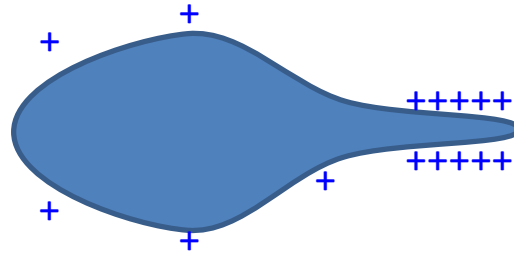
- cargas en la superficie
- campo nulo en el interior



Potencial constante

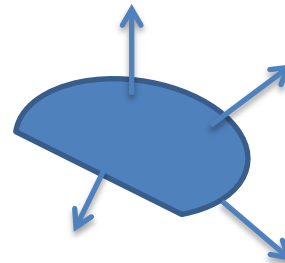
1 Conductor en un campo eléctrico

- Una jaula metálica protege contra campos externos
- La carga tiende a acumularse en las puntas



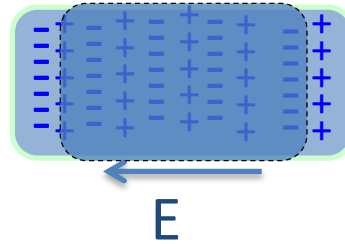
- Campo en la superficie: perpendicular al conductor

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$



2 Aislante en un campo eléctrico

Aislante



- redistribución de q en cada molécula
- alineamiento de moléculas polares

Campo externo

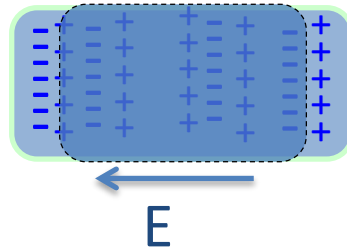


Aparece una carga en la superficie que disminuye el campo en el interior

$$\sigma = \varepsilon_0 \chi_e E$$

↙
Susceptibilidad eléctrica $\chi_e = A + \frac{B}{T}$

2 Aislante en un campo eléctrico



Campo externo $\xrightarrow{E}$

Campo en el interior

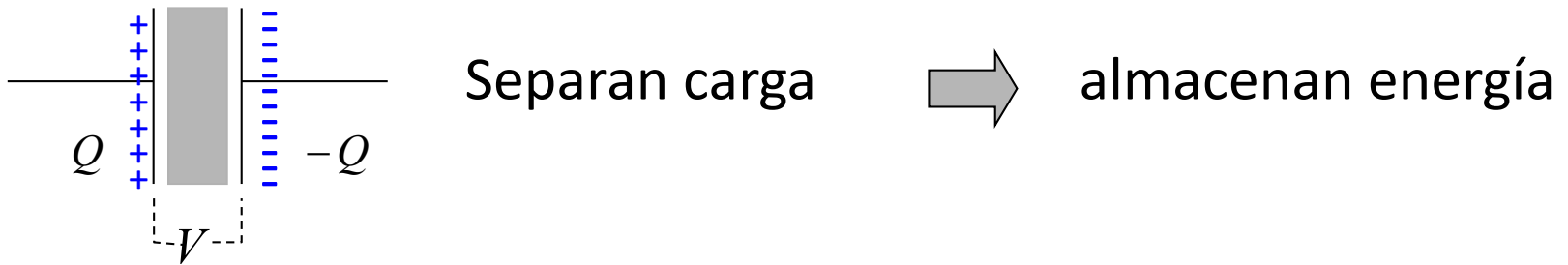
$$E_{ef} = \frac{\sigma_{libre} - \epsilon_0 \chi_e E_{ef}}{\epsilon_0} \Rightarrow E_{ef} = \frac{\sigma_{libre}}{\epsilon_0 (1 + \chi_e)}$$

$\downarrow$
 ϵ

No hace falta considerar la carga de polarización (solo ϵ)

3 Condensador

Condensador: dos conductores separados por un aislante

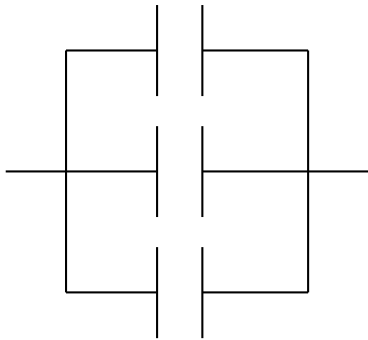


Capacidad: $C = \frac{Q}{V}$ $\longrightarrow$ Carga entre placas
 $\longrightarrow$ Diferencia de potencial entre placas

Caracteriza el condensador: depende solo de la geometría y del material entre placas.

4 Asociación de condensadores

- Asociación en paralelo: igual V entre placas

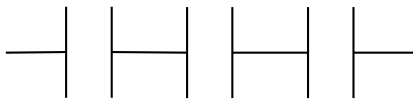


Condensador
equivalente:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots = \sum_i C_i$$

Sirve para aumentar la carga (la energía)

- Asociación en serie: igual Q en las placas



Condensador
equivalente:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \dots = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

Sirve para reducir el voltaje (riesgo de chispa)

BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro- magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica

Tema 3. Corriente eléctrica

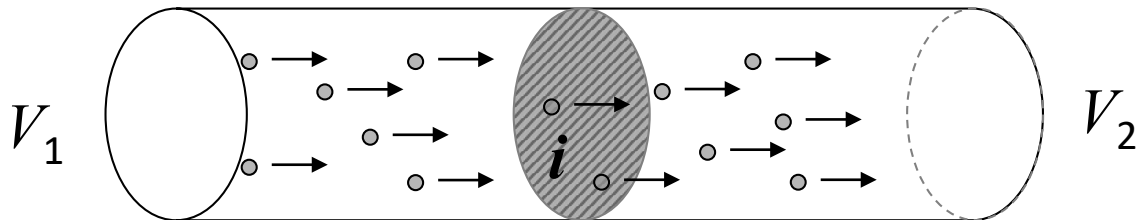
Contenidos

- 1 Ley de Ohm
- 2 Energía de la corriente eléctrica
- 3 Asociación de resistencias
- 4 Medición de intensidad, resistencia y potencial
- 5 Redes

1 Ley de Ohm

Corriente eléctrica: transporte de cargas

- v constante debido a los choques
- cesa si se anula el campo (dif. de potencial)



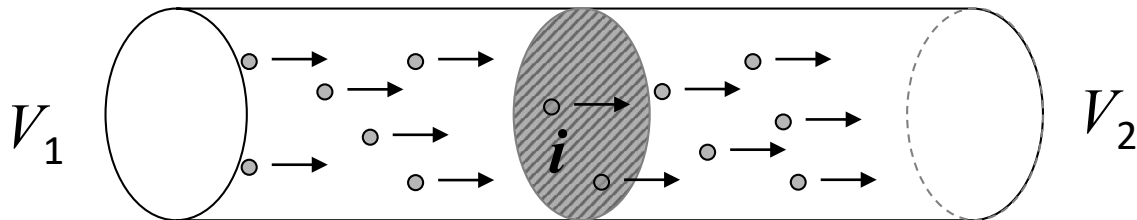
Intensidad de corriente (i): carga que atraviesa una sección perpendicular del conductor en la unidad de tiempo

Unidad SI: amperio (A)

1 Ley de Ohm

La ley de Ohm relaciona la corriente con el potencial que la produce

$$i = \frac{V_1 - V_2}{R} \quad \text{-----} \rightarrow \text{Resistencia eléctrica}$$



Es una ley experimental, que no se cumple en todos los materiales

1 Ley de Ohm

Resistencia eléctrica

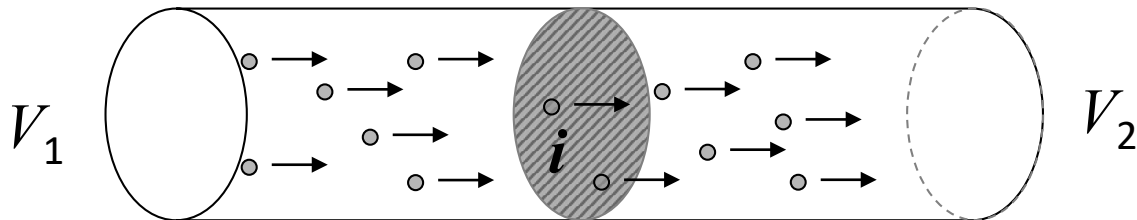
$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Conductor concreto

resistividad material

longitud

sección



ρ depende de muchos factores

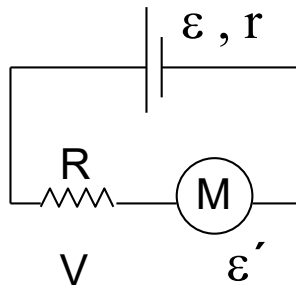
{ luz exterior
impurezas
campos externos
temperatura

{ $\rho = \rho_0 (1 + \alpha T)$
Semiconductores
Superconductividad

2 Energía de la corriente eléctrica

Para mantener la corriente hay que aportar energía.

- Fuerza electromotriz (ε): energía por unidad de carga que aporta la fuente
- Fuerza contraelectromotriz (ε'): energía por unidad de carga que gasta un motor
- Diferencia de potencial (V): energía por unidad de carga que se consume en un conductor



En circuito cerrado: $\varepsilon = \varepsilon' + iR + ir$

$$i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + r}$$

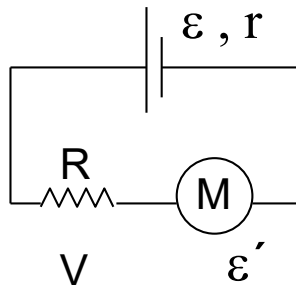
↑
ley de Ohm

2 Energía de la corriente eléctrica

Potencia:
$$P = \frac{\text{Energía}}{t} = \frac{(\text{Energía}/q)q}{t} = (\text{Energía}/q)i$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} P = \varepsilon i & \text{potencia que aporta la fuente} \\ P = \varepsilon' i & \text{potencia que gasta un motor} \\ P = V i = i^2 R & \text{potencia que se consume en un conductor} \end{array} \right.$$

↑
ley de Ohm

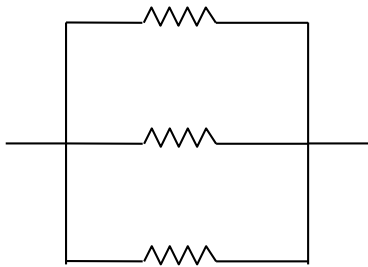


En circuito cerrado: $\varepsilon i = \varepsilon' i + i^2 R + i^2 r$

$$i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + r}$$

3 Asociación de resistencias

- Asociación en paralelo: igual V



Resistencia
equivalente:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \dots = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

- Asociación en serie: igual i



Resistencia
equivalente:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \dots = \sum_i R_i$$

4 Medición de intensidad, resistencia y dif de potencial

- i {
- Se mide con amperímetro
 - Detecta efectos magnéticos o caloríficos de
 - Se conecta en serie (romper el circuito)
 - Resistencia pequeña (para no afectar la me

Escala máxima de inicio

- V {
- Se mide con voltímetro
 - Se conecta en paralelo
 - Resistencia grande (para no afectar la med

- R {
- Ohmímetro: mide i y V y aplica la ley de Ohm
 - Alternativa más precisa: puente de Wheatstone



5 Redes de conductores

Leyes de Kirchhoff

- Ley de los nudos: la suma de intensidades que entra a un nudo es igual a la suma de intensidades que sale

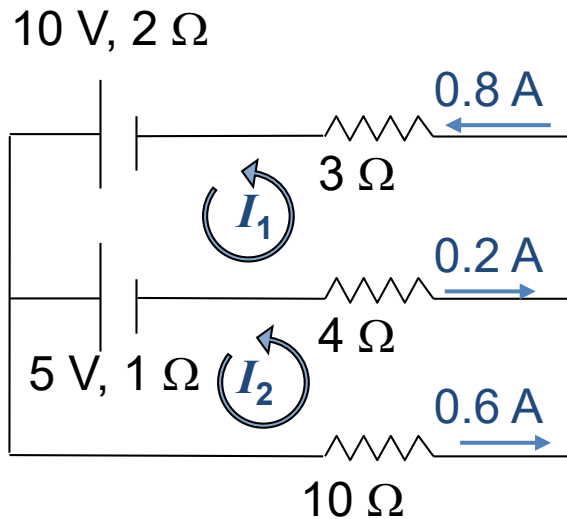
CONSERVACIÓN DE LA CARGA

- Ley de las mallas: en cualquier lazo cerrado la suma de fuerzas electromotrices es igual a la suma de diferencias de potencial consumidas

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

5 Redes de conductores

Ej. Resolución por el método de las mallas* (fuentes de tensión)



- Elegir un sentido para las intensidades de malla
- Aplicar la regla de las mallas (a cada malla):

$$\sum \varepsilon_i = \sum I_i R_i$$

$$10 - 5 = (3+2+4+1) I_1 - (1+4) I_2$$

$$5 = -(4+1) I_1 + (4+1+10) I_2$$

El signo es negativo si el sentido es contrario al elegido

- Resolver $I_1 = 0.8 \text{ A}$ $I_2 = 0.6 \text{ A}$

* mallas: lazos cerrados sin ramas en el interior

ELEMENTOS Y MEDIDAS EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS (conceptos básicos)

Contenidos

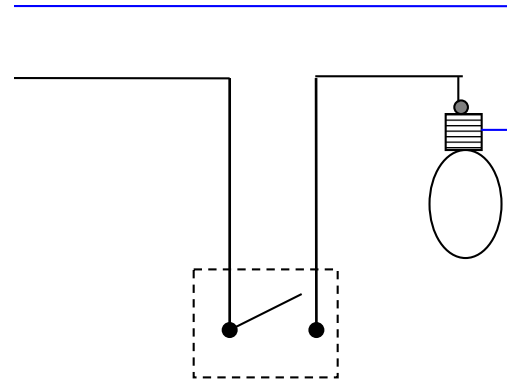
1 Elementos

2 Medidas

1 Elementos

Interruptor

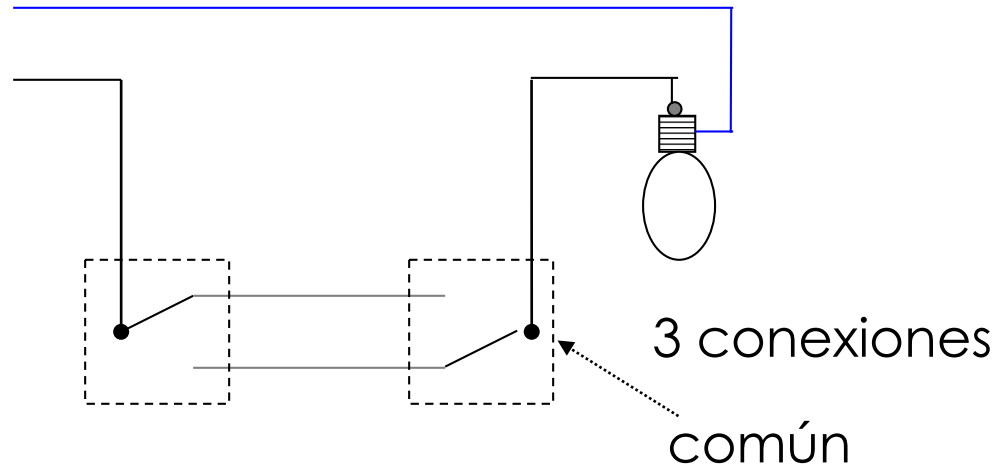
mecanismo que conecta y desconecta otro elemento



1 Elementos

Conmutador

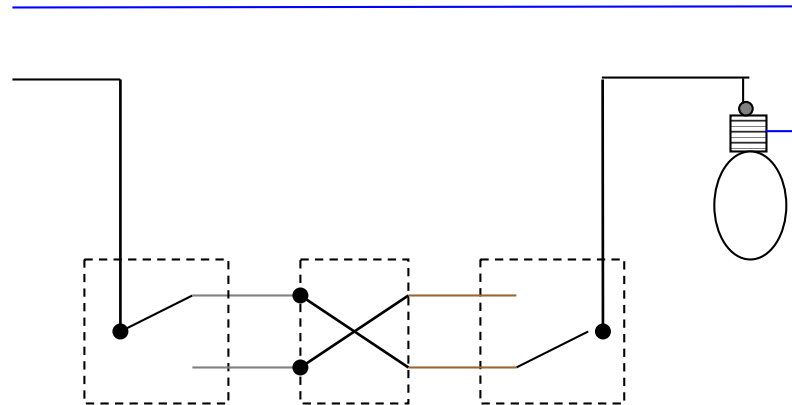
control de un elemento desde dos posiciones



1 Elementos

Conmutador de cruce

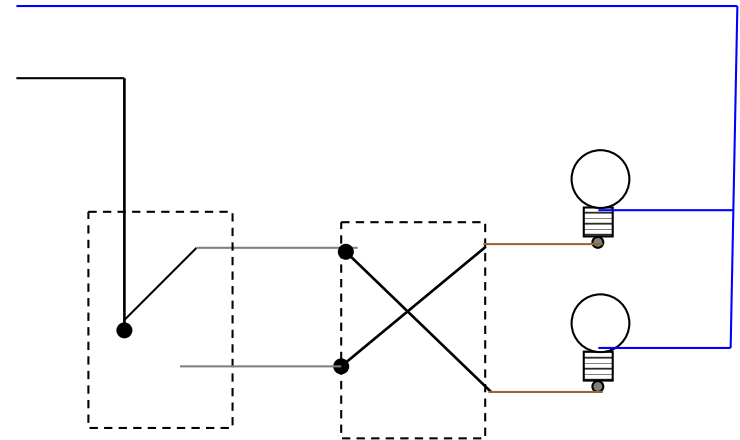
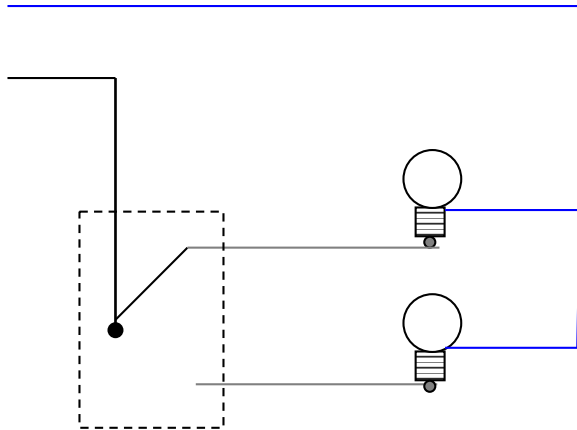
control de un elemento desde tres o más posiciones



4 conexiones

1 Elementos

Ejercicio: realizar los siguientes circuitos para comprender el funcionamiento de los conmutadores.



1 Elementos

Fuente de alimentación

Alimentación para dispositivos a distinto voltaje y cc

Debe mantener la tensión de salida continua independientemente de las oscilaciones en la línea o de la carga requerida por el circuito.

Características esenciales: voltaje de salida, polaridad e intensidad máxima



2 Medición



Escala: escoger la escala más alta y reducir si es necesario.

- Diferencia de potencial: conexión en paralelo $R \gg$
- Intensidad: conexión en serie –romper el circuito– $R \ll$
- Resistencia: directamente

2 Medición

Precisión del instrumento:



INSTRUMENTOS
ANALOGICOS



INSTRUMENTOS
DIGITALES

2 Medición

Precisión de instrumentos analógicos:

La precisión suele representarse como:

$\pm$ porcentaje del **fondo de escala**.



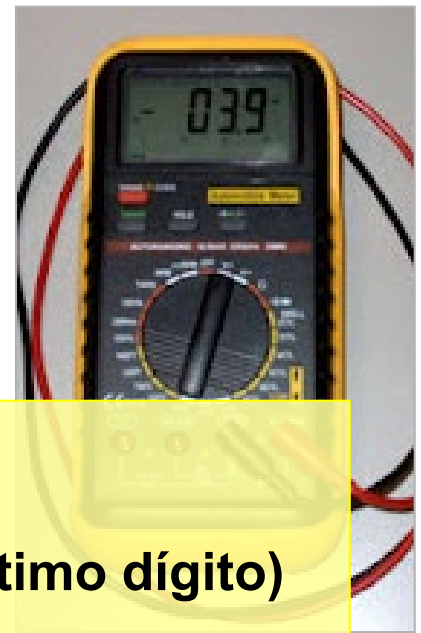
Por tanto, para lograr una precisión aceptable, se ha de escoger la escala en la que la medida se acerque lo más posible al fondo de escala.

Ej

En un voltímetro con precisión del 3%

Escala	Lectura	Precisión	Error relativo
100 V	7 V	$\pm 3 \cdot 100 / 100 = \pm 3 \text{ V}$	42 %
10 V	7 V	$\pm 3 \cdot 10 / 100 = \pm 0.3 \text{ V}$	4.2 %

2 Medición



Precisión de instrumentos digitales:

La precisión suele representarse:

$\pm$ (porcentaje de la **lectura del instrumento** + **n último dígito**)

Se ha de escoger la escala en la que la medida muestre el mayor número de dígitos.

Ej

Un multímetro digital de 3½-dígitos ofrece una precisión de $\pm(0.5\% + 3)$.

Escala	Lectura	Precisión	Error relativo
200 V	01.2 V	$\pm(0.5 \cdot 1.2/100 + 3 \cdot 0.1) = \pm 0.3 \text{ V}$	25 %
20 V	1.20 V	$\pm(0.5 \cdot 1.2/100 + 3 \cdot 0.01) = \pm 0.036 \text{ V}$	3 %
2 V	1.200 V	$\pm(0.5 \cdot 1.2/100 + 3 \cdot 0.001) = \pm 0.009 \text{ V}$	0.8 %

BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro-magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica

Tema 4. Interacción magnética

Relación electricidad – magnetismo:

Interacción	Intensidad relativa	Alcance	Propiedad	Fenómenos
Gravitatoria	10^{-38}	∞	masa	Galaxias... planetas
Nuclear fuerte	1	10^{-15} m	carga color	Estabilidad del nucleo
Nuclear débil	10^{-14}	10^{-18} m	carga débil	Desintegración radiactiva
Electro- magnética	10^{-2}	∞	carga eléctrica	Átomos... materia

Cuando las cargas están en movimiento aparece una nueva interacción denominada magnética

Contenidos

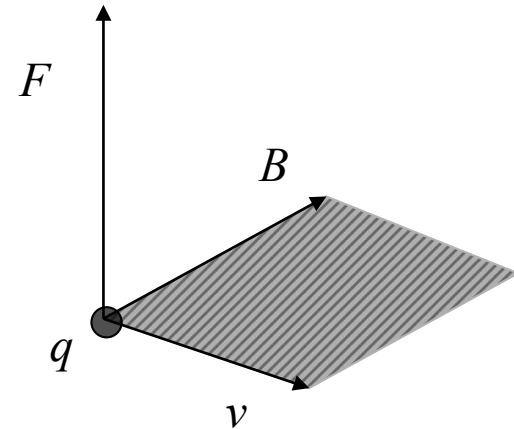
- 1 Fuerza magnética sobre una carga móvil
- 2 Fuerza sobre una corriente
- 3 Acción sobre una espira
- 4 Campo magnético creado por una carga móvil
- 5 Campo magnético creado por una corriente
- 6 Fuerzas entre corrientes
- 7 Imantación inducida en un material
- 8 Clasificación de los materiales

1 Fuerza magnética sobre una carga móvil

Supongamos un campo magnético B .

La fuerza sobre una carga es:

$$\vec{F} = q \left(\vec{v} \wedge \vec{B} \right)$$



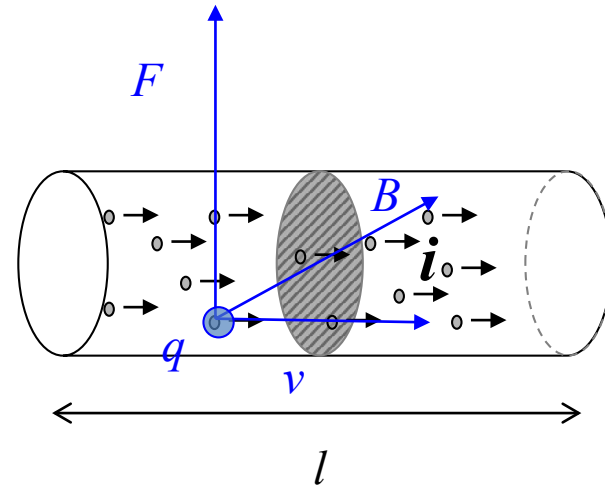
$\vec{F} \perp \vec{v} \Rightarrow$ la fuerza magnética no realiza trabajo sobre q libre

Trayectoria	{	$\vec{v} \perp \vec{B} \Rightarrow a_n \text{ constante}$	circunferencia
		$\vec{v} \nparallel \vec{B} \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_{\perp} + \vec{v}_{\parallel}$	hélice

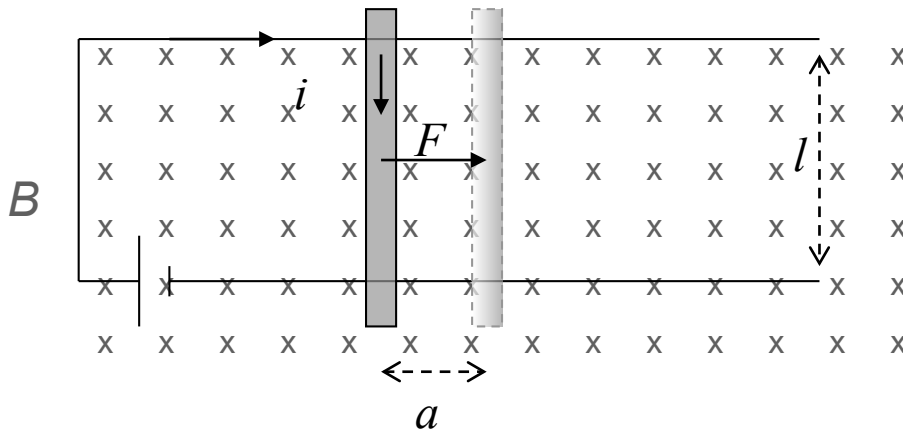
2 Fuerza magnética sobre una corriente

Corriente: q en movimiento

$$\vec{F} = i(\vec{l} \wedge \vec{B})$$



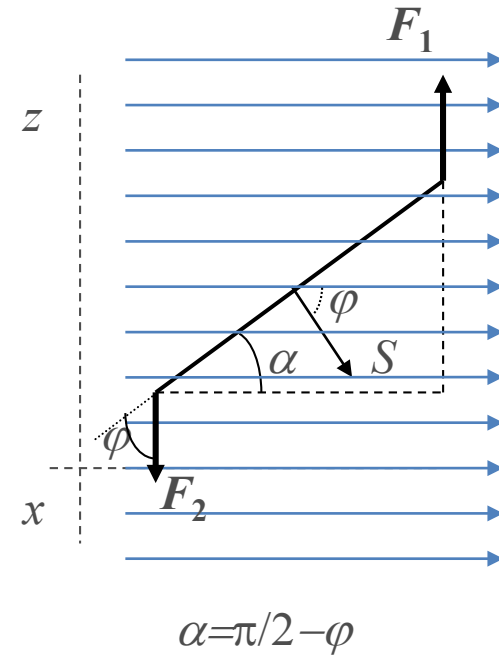
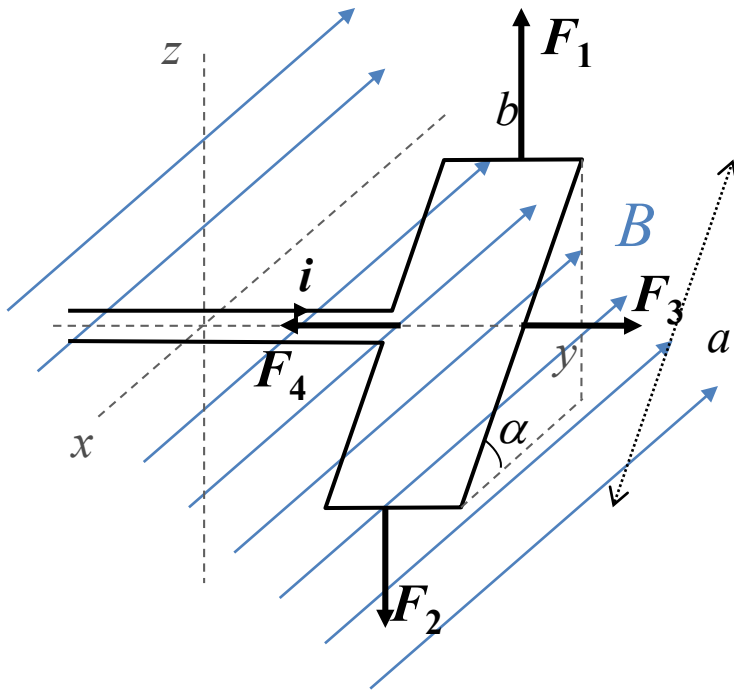
Trabajo de la fuerza magnética:



$$F = i l B \Rightarrow$$

$$W = i l B a = i B \Delta S$$

3 Acción sobre una espira



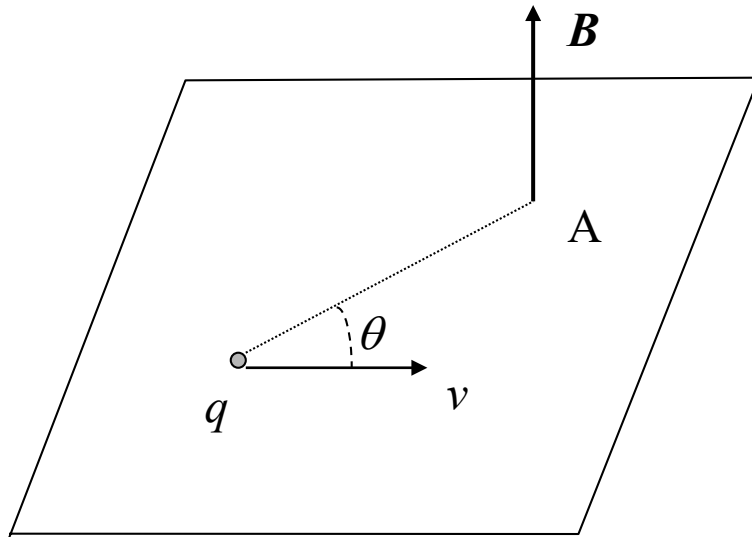
Momento sobre la espira:

$$M_{F1} = M_{F2} = \frac{a}{2} ibB \sin \varphi \Rightarrow$$

$$\vec{M} = i \left(\vec{S} \wedge \vec{B} \right)$$

4 Campo magnético creado por una carga móvil

Experimentalmente se obtiene:



$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} q \frac{(\vec{v} \wedge \vec{r})}{r^3}$$

Unidad SI: Tesla (T)

μ_0 : permeabilidad magnética

Si se sitúa en A una q_2 con v_2 :
$$\vec{F}_{12} = q_2 (\vec{v}_2 \wedge \vec{B}_1) = \frac{\mu_0}{4\pi} q_1 q_2 \left(\vec{v}_2 \wedge \frac{(\vec{v}_1 \wedge \vec{r})}{r^3} \right)$$

Imanes: como la materia presenta propiedades magnéticas, está compuesta de cargas en movimiento.

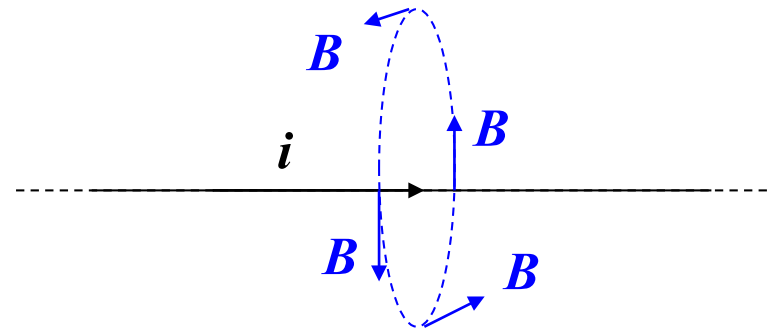
5 Campo magnético creado por una corriente

Al ser q en movimiento:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} i \frac{(d\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3}$$

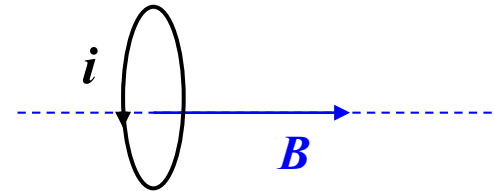
Corriente indefinida:

$$B = \frac{\mu i}{2\pi d}$$



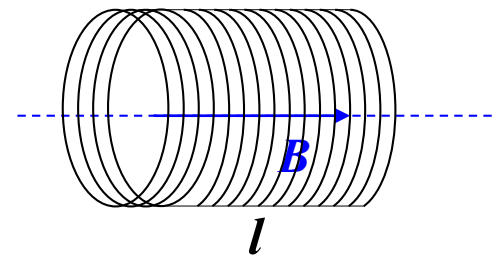
Espira en su centro:

$$B = \frac{\mu i}{2r}$$



Solenoid (interior):

$$B = \frac{N\mu i}{l}$$



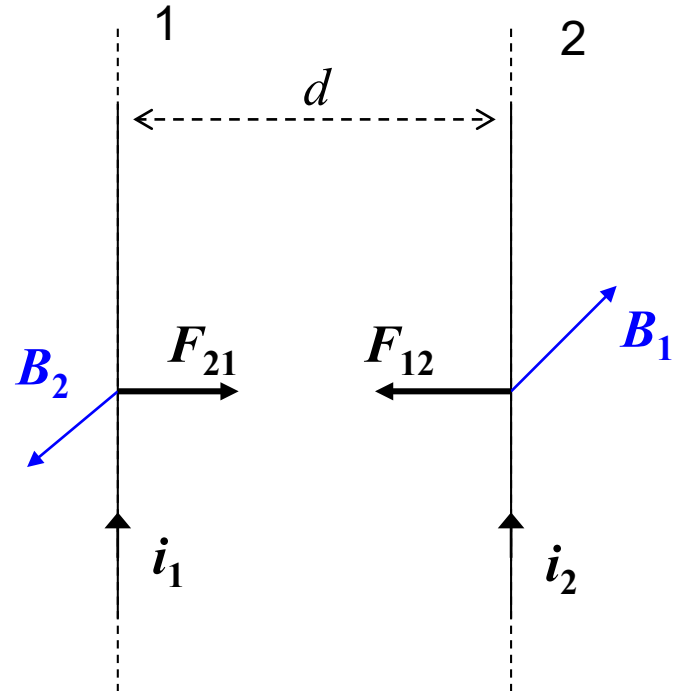
6 Fuerzas entre corrientes

Corrientes infinitas paralelas:

$$F_{12} = i_2 \left| \left(\vec{l}_2 \wedge \vec{B}_1 \right) \right| = i_2 l_2 B_1 = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi d} l_2$$

Fuerza por unidad de longitud:

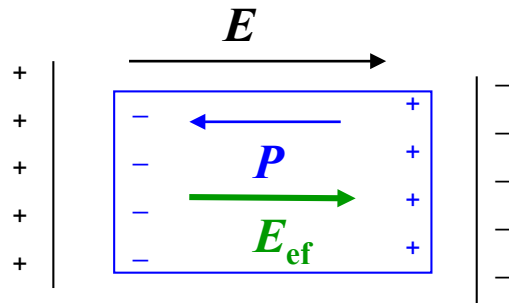
$$f_{12} = f_{21} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi d}$$



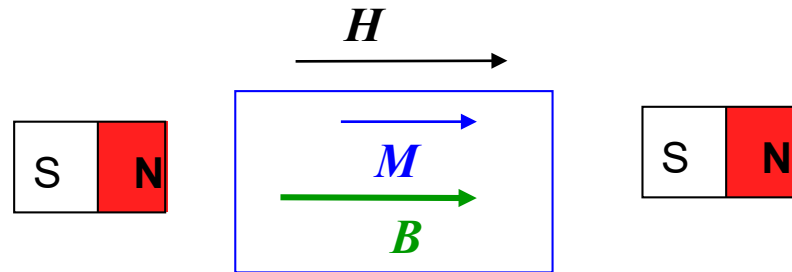
{ Igual sentido: fuerza atractiva
Sentido contrario: fuerza repulsiva

7 Imantación inducida en un material

La materia consta de q en movimiento ($\mathbf{e}^-$, p^+). Ante un campo externo:



caso eléctrico



caso magnético

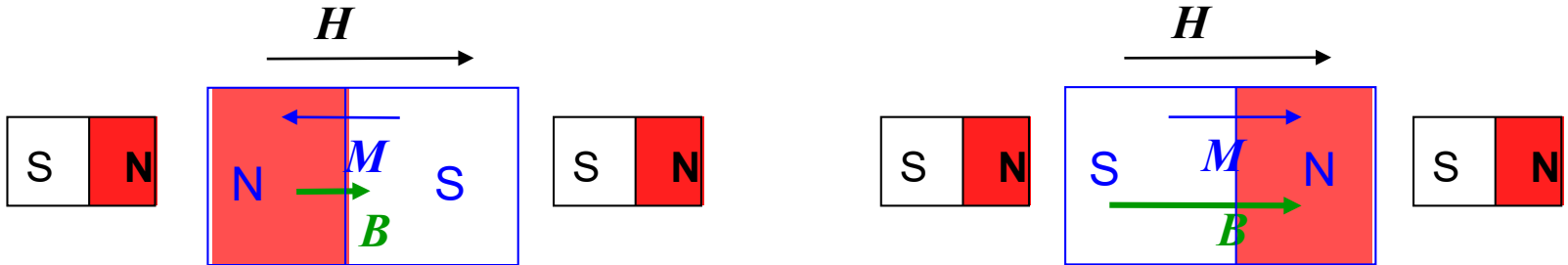
La respuesta es proporcional al campo externo: $\vec{M} = \chi_M \vec{H}$

$$\Rightarrow \vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 (1 + \chi_M) \vec{H} = \mu \vec{H}$$

describe la respuesta del material

8 Clasificación de las sustancias

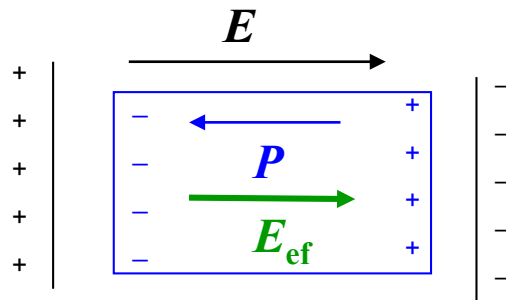
Ante un campo externo:



Diamagnético {
se opone $\chi_M < 0$
 χ_M no depende de T
es repelido

Paramagnético {
refuerza $\chi_M > 0$
 $\chi_M \propto \frac{1}{T}$
es atraído

Se opone al
campo externo

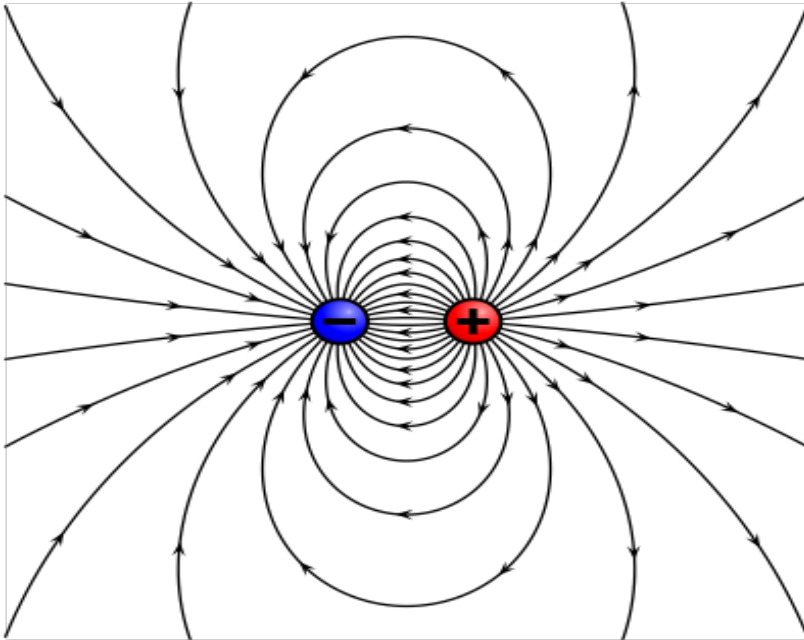


caso eléctrico

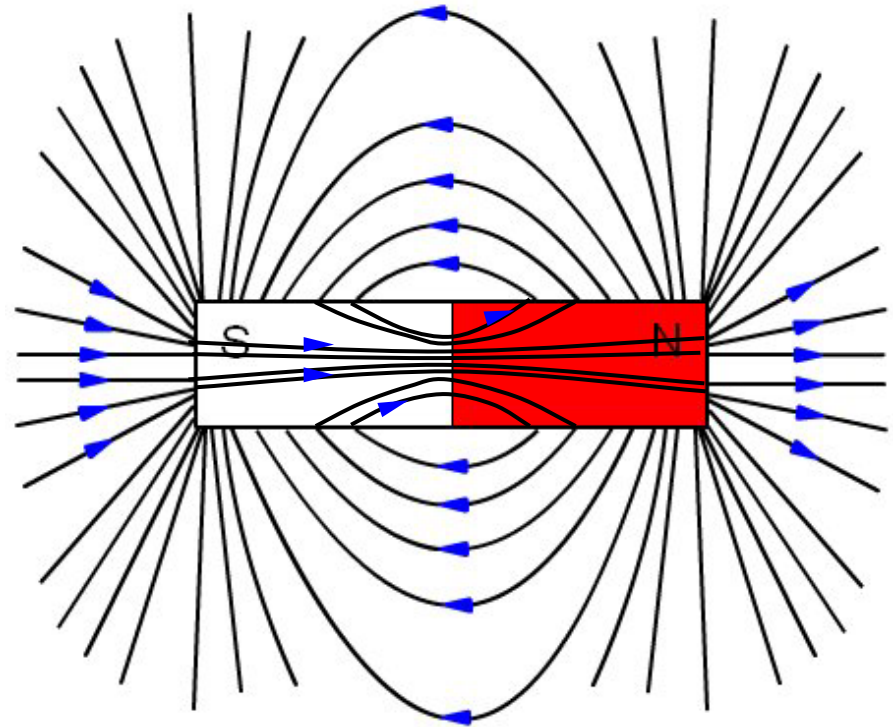
es atraído

2 Clasificación de las sustancias

DIPOLO ELÉCTRICO



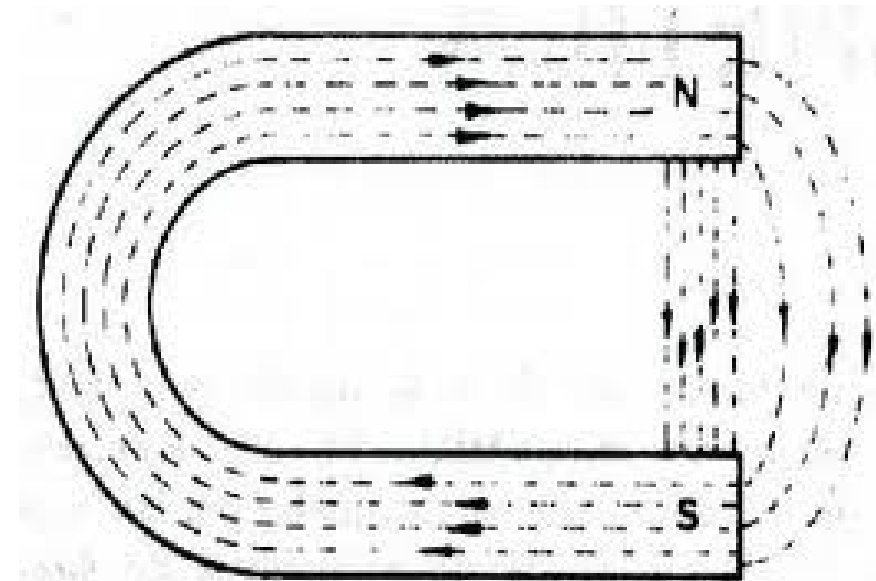
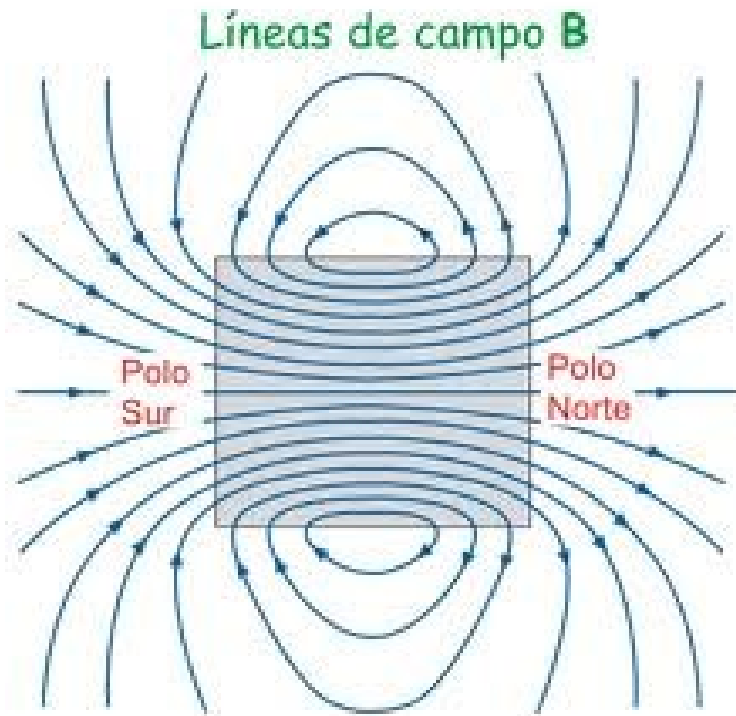
IMÁN



Las líneas de campo parecen muy similares, pero hay una diferencia fundamental ... al observar el campo en el interior del imán.

NO EXISTEN MONOPOLOS MAGNÉTICOS

8 Clasificación de las sustancias

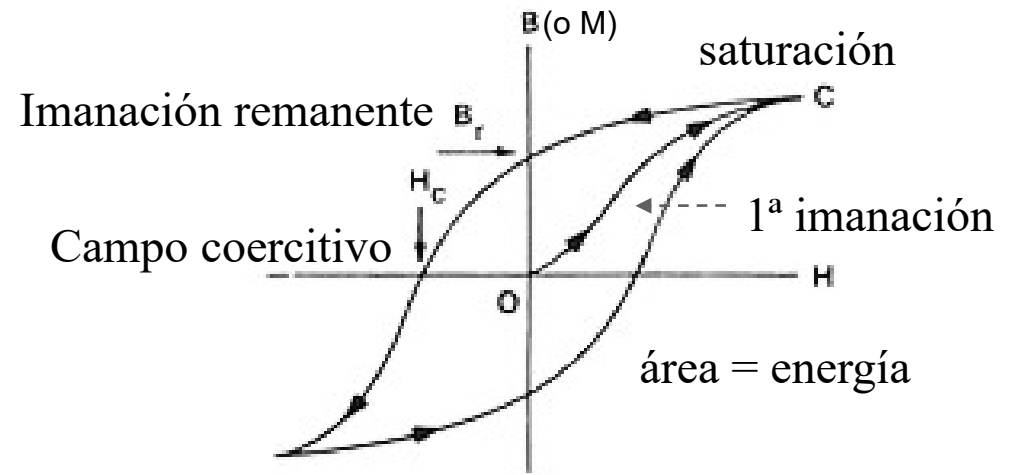


Las líneas de campo magnético no parten de fuentes, NO EXISTEN MONOPOLOS MAGNÉTICOS; van de N a S en el exterior y de S a N en el interior

Ferromagnetismo

Es una fase especial de los materiales paramagnéticos ($T < T_{\text{Curie}}$)

- Efectos no lineales $M \propto H^2$
- $\chi_M \gg 1$ y depende de H
- Histéresis

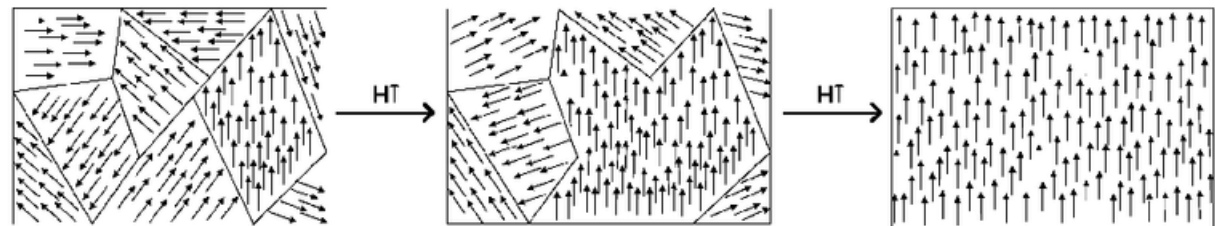


Teoría electrónica del magnetismo

e- { Movimiento orbital
Spin

Si hay varios e- en un átomo los efectos magnéticos de cada dos tienden a anularse (MQ). Si se cancelan todos es diamagnético.

- Diamagnetismo: no existe momento magnético.
- Paramagnetismo: los átomos tiene mom, magnético y tienden a alinearse si existe H externo.
- Ferromagnetismo: por debajo de T_c los momentos magnéticos se organizan en dominios.



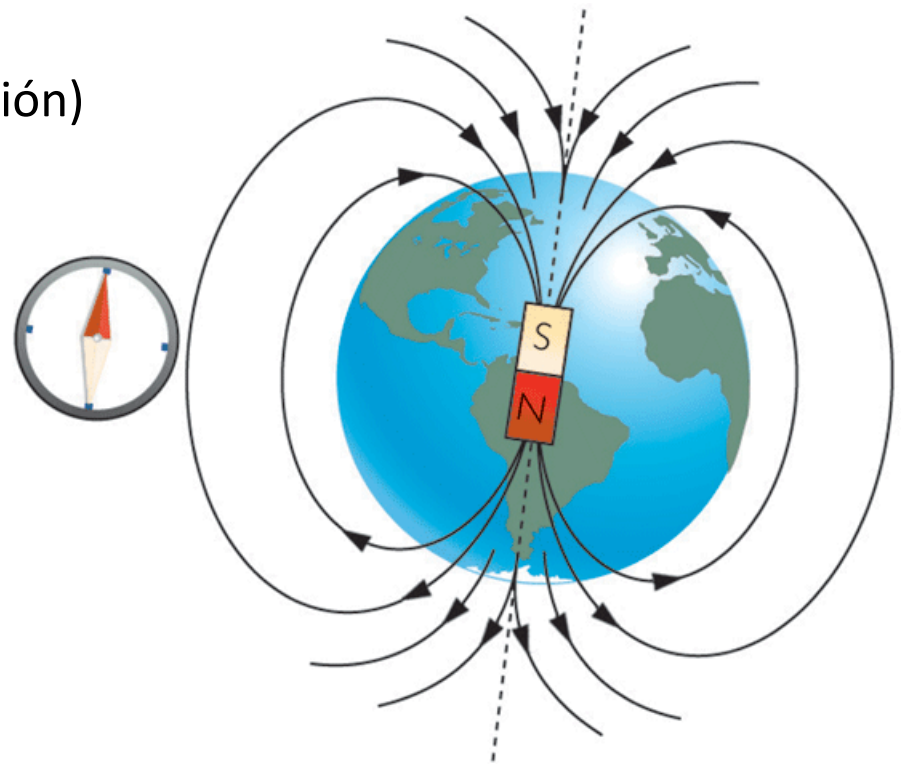
Campo magnético terrestre

Origen: corrientes en el núcleo (aún en estudio)

Utilidad {
Permite la vida en el planeta
Navegación (declinación)

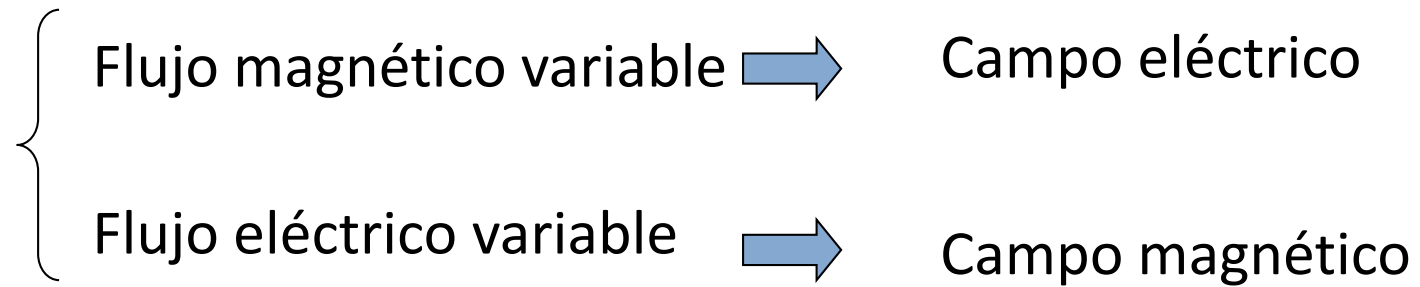
Cambia con el tiempo

Fenómenos: auroras

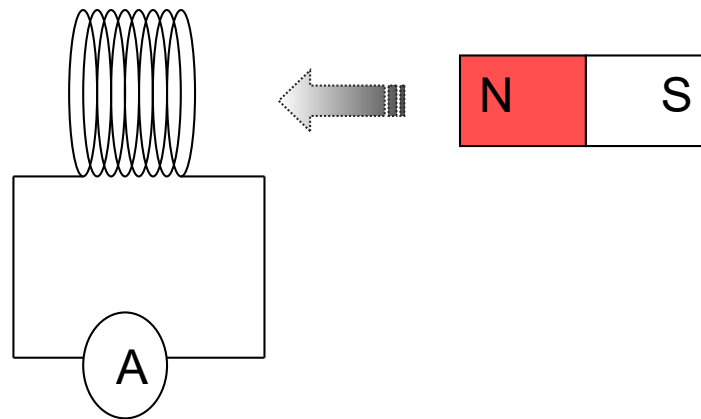


BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro- magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica

Tema 5. Inducción electromagnética



E_j



Contenidos

1 Ley de Faraday

2 Autoinducción

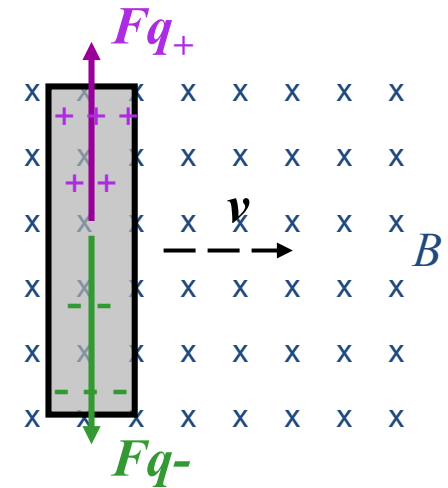
1 Ley de Faraday



Conductor que se mueve en un campo magnético:

la F_{mgn} separa las q_+ y las q_- $\rightarrow$ se genera fem

En equilibrio: $F_{\text{mgn}} = F_{\text{el}} \Rightarrow qvB = qE = q \frac{\varepsilon}{l} \Rightarrow \varepsilon = vBl$



Fem inducida por la variación del flujo magnético que atraviesa un elemento:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{ley experimental})$$

Ley de Lenz: la fem inducida se opone a la variación del flujo

1 Ley de Faraday



Conductor que se mueve en un campo magnético:

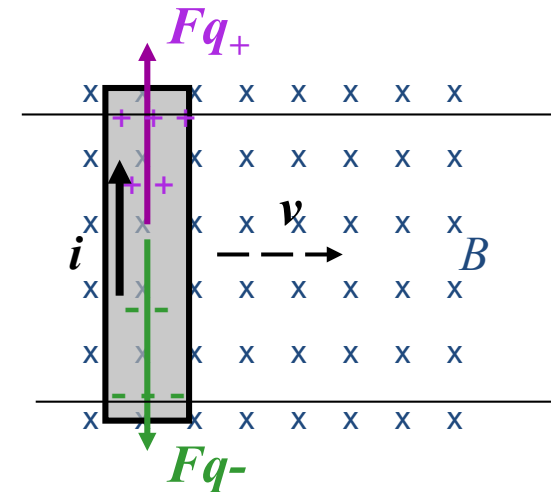
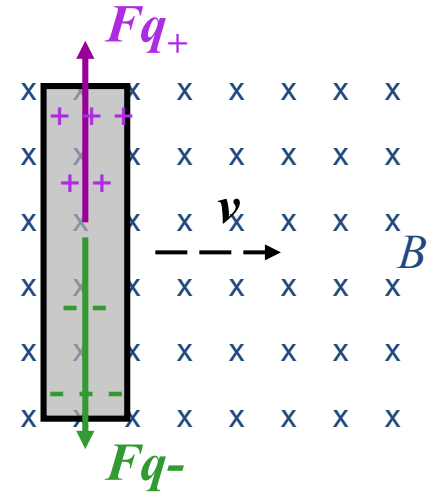
la F_{mgn} separa las q_+ y las $q_- \rightarrow$ se genera fem

$$\text{En equilibrio: } F_{\text{mgn}} = F_{\text{el}} \Rightarrow qvB = qE = q \frac{\varepsilon}{l} \Rightarrow \varepsilon = vBl$$

al cerrar el circuito aparece i

también aparece una F
que frena el conductor

$$P_{\text{mec}} = Fv = ilBv = P_{\text{el}} = \varepsilon i = Bvli$$



Convertir energía mecánica en eléctrica: mover un conductor en un campo magnético

1 Ley de Faraday



Corrientes de Foucault: si variamos el flujo magnético que atraviesa un cuerpo metálico se produce una fem inducida que genera corrientes muy intensas dentro del material ($R \ll$).

Cocinas , soldadura de inducción.

2 Autoinducción

Aplicación de la ley de Faraday a los circuitos eléctricos:

La i de un circuito crea un flujo magnético que lo atraviesa; si varía i se produce una fem autoinducida que se opone a dicha variación

El flujo es proporcional a la i que lo produce, $\phi = L i$:

$$\text{fem}_{\text{autoinducida}} = \mathcal{E} = -\frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad \left\{ \begin{array}{l} i \downarrow: i_{\text{autoinducida}} \text{ refuerza } i \\ i \uparrow: i_{\text{autoinducida}} \text{ se opone a } i \end{array} \right.$$

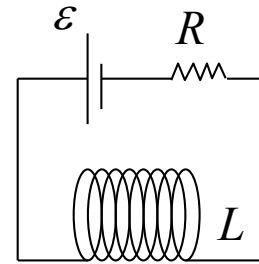
Coeficiente de autoinducción



Solenoides: $\phi = N B S = \frac{\mu N^2 i S}{l} \Rightarrow L = \frac{\mu N^2 S}{l}$

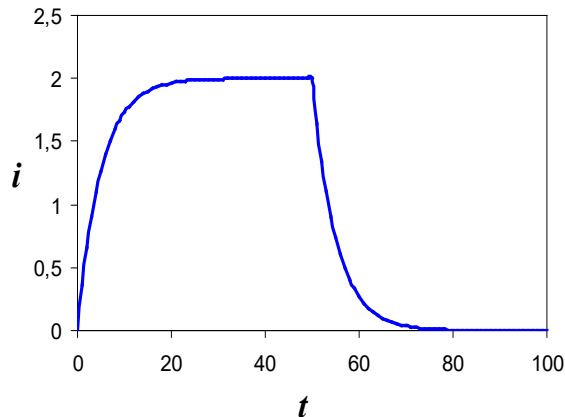
2 Autoinducción

Circuito con autoinducción y resistencia



Por la Ley de
Ohm:

$$\varepsilon - L \frac{di}{dt} = Ri \Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$



tarda en llegar al régimen
estacionario
acumula energía magnética

Energía del campo
magnético:

$$E = \frac{1}{2} Li^2$$

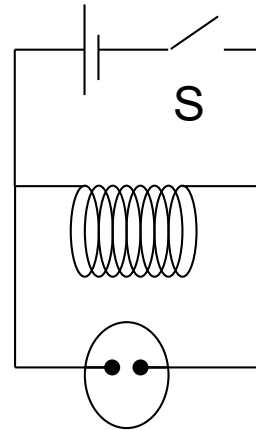
Demo:

$$E = \int \varepsilon i dt = \int_i^0 -L \frac{di'}{dt} i' dt = \frac{1}{2} Li^2$$

2 Autoinducción

Ej

Bujía:
al abrir S se genera una fem y
salta la chispa entre los
electrodos



BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro- magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica

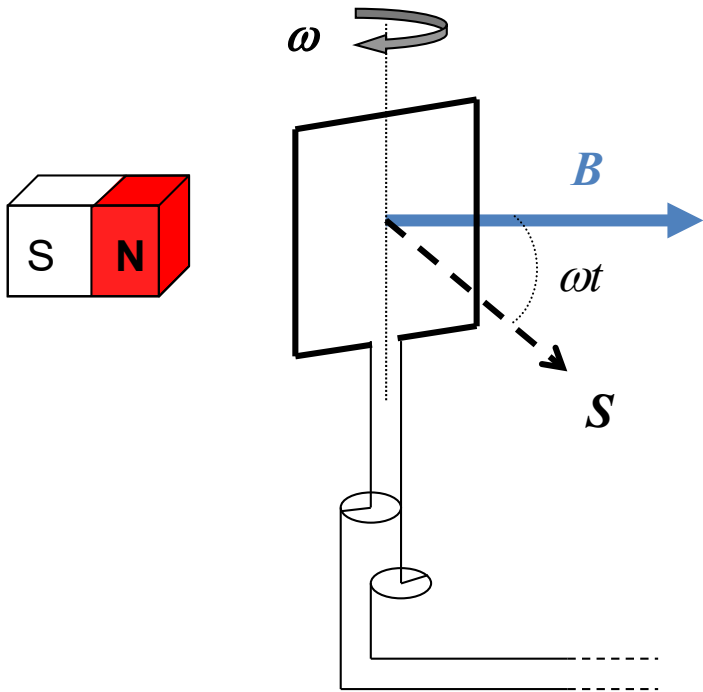
Tema 6. Corriente alterna

Contenidos

- 1 Generador de corriente alterna
 - 2 Relación entre fem e intensidad
 - 3 Potencia de la corriente alterna
 - 4 Circuitos de corriente alterna
- Instalaciones eléctricas domésticas

1 Generador de corriente alterna

Espira que gira en un campo magnético



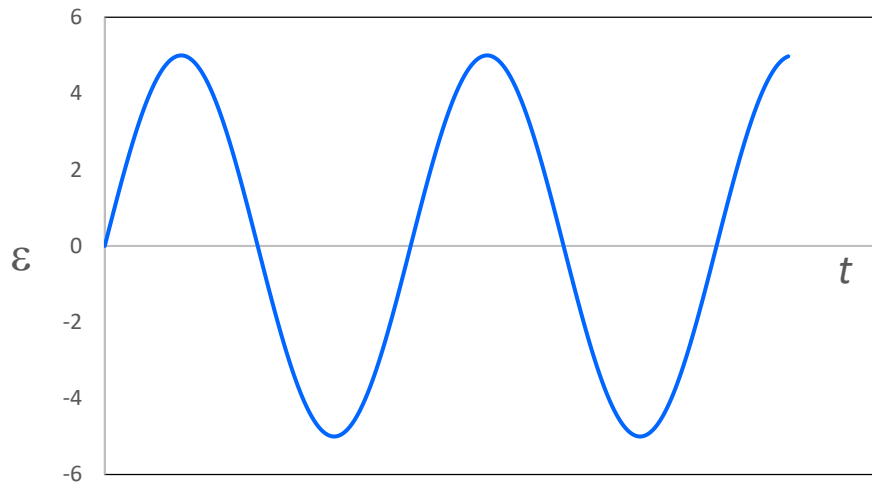
Flujo magnético:

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B S \cos \theta = B S \cos \omega t$$

⇒ Se induce una fem:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = B S \omega \sin \omega t = \varepsilon_0 \sin \omega t$$

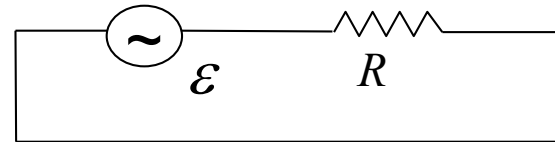
2 Relación entre fem e intensidad



- a) Circuito con fuente y resistencia
- b) Circuito con fuente y condensador
- c) Circuito con fuente y autoinducción
- d) Circuito general

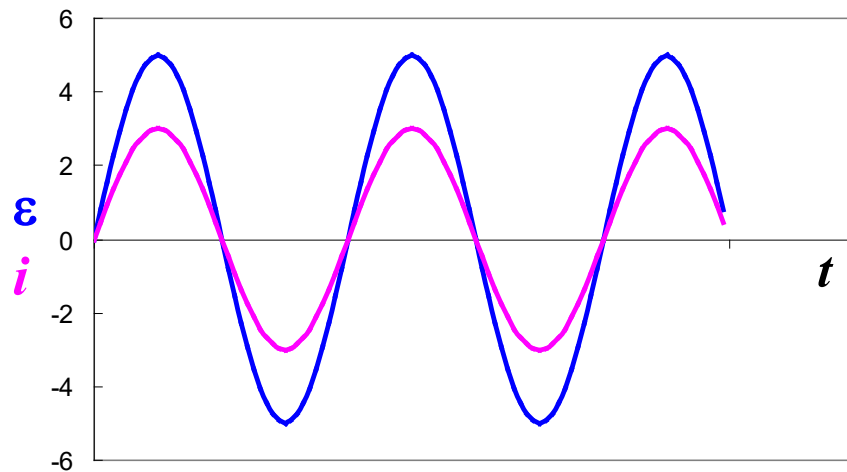
2 Relación entre fem e intensidad

a) Circuito con fuente y resistencia



Ley de Ohm: $\varepsilon = R i$

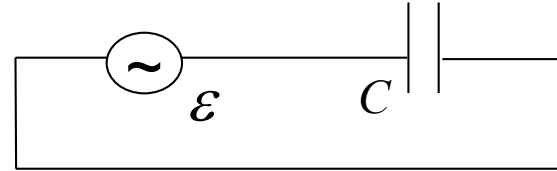
$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t \Rightarrow i = \frac{\varepsilon_0}{R} \sin \omega t = i_0 \sin \omega t$$



- ε e i están en fase
- no hay transporte de carga sino vibración

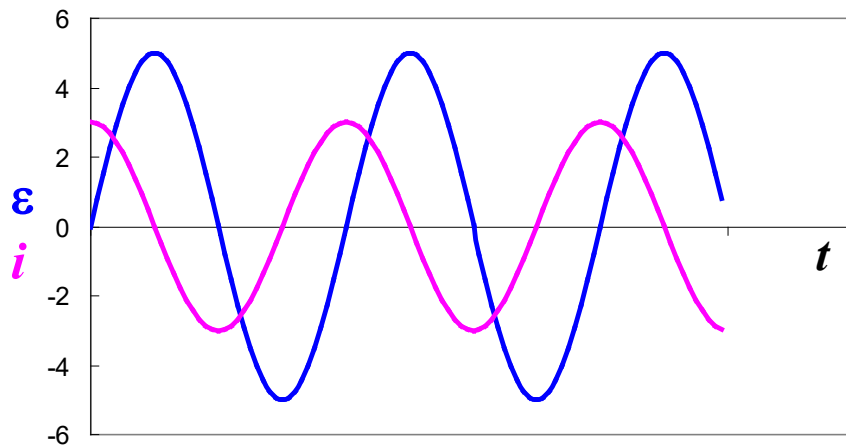
2 Relación entre fem e intensidad

b) Circuito con fuente y condensador



Ley de Ohm: $\varepsilon = \frac{Q}{C}$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t \Rightarrow i = \frac{dQ}{dt} = \omega C \varepsilon_0 \cos \omega t = i_0 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

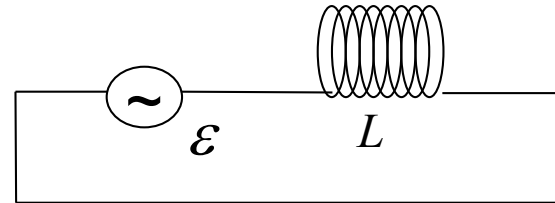


- i se adelanta respecto a ε

- Si $\omega \gg \Rightarrow i \gg$

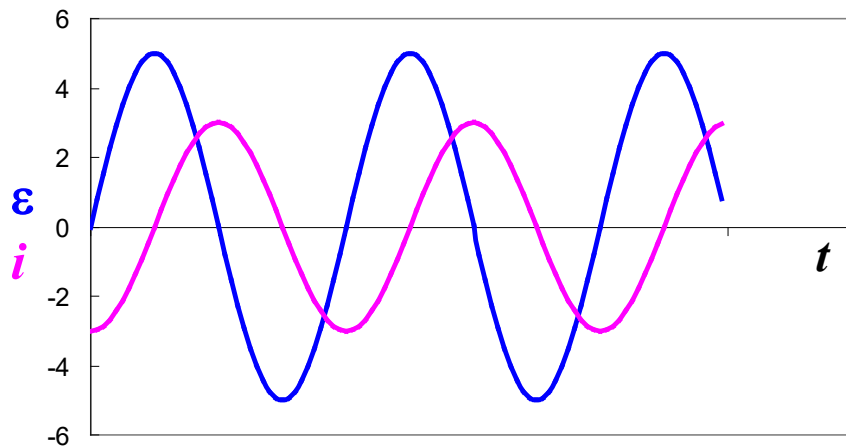
2 Relación entre fem e intensidad

c) Circuito con fuente y autoinducción



Ley de Ohm: $\varepsilon - L \frac{di}{dt} = 0$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t \Rightarrow i = \int \frac{\varepsilon_0}{L} \sin \omega t \, dt = \frac{-\varepsilon_0}{L\omega} \cos \omega t = i_0 \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

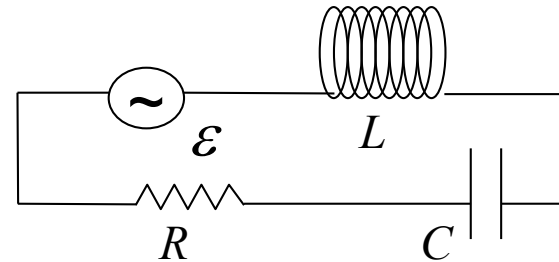


- i se retrasa respecto a ε

- Si $\omega \gg \Rightarrow i \ll$

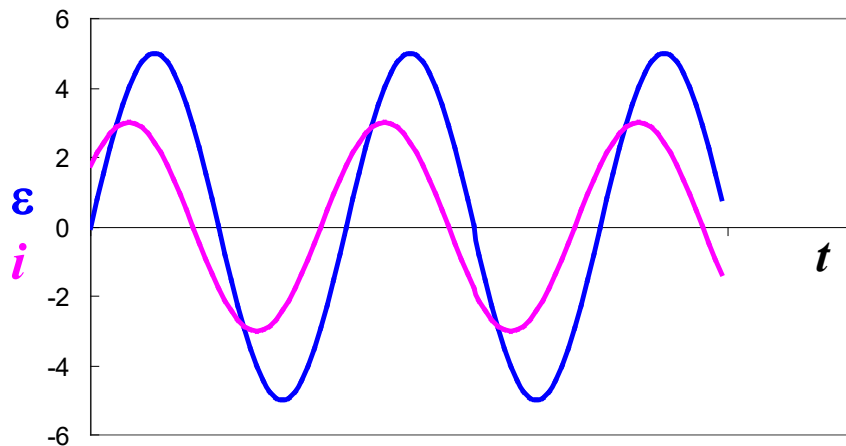
2 Relación entre fem e intensidad

d) Circuito general



Ley de Ohm:

$$\varepsilon - L \frac{di}{dt} = R i + \frac{1}{C} \int i dt$$



- ε e i no están en fase

- Pulsación ω

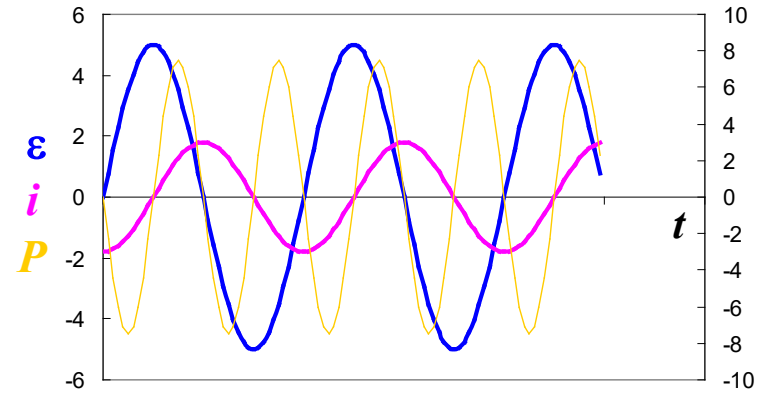
- Frecuencia $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$

- Periodo $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}$

3 Potencia

$$\langle P \rangle = \langle \varepsilon i \rangle = \langle \varepsilon_0 \sin \omega t i_0 \sin(\omega t + \varphi) \rangle \Rightarrow$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} \varepsilon_0 i_0 \cos \varphi \rightarrow \text{factor de potencia}$$

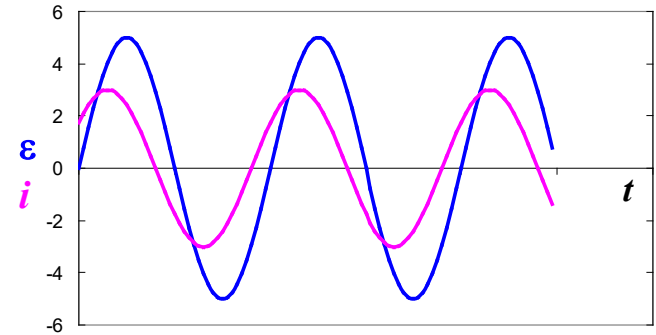


Cuanto más se desfasan ε e i menos potencia se disipa:

- solo R : $\cos \varphi = 1$ se consume toda la potencia
- solo L o C : $\cos \varphi = 0$ la potencia no se disipa

↙
se acumula energía en forma de
campo eléctrico o magnético

3 Potencia



$$\langle P \rangle = \langle \epsilon i \rangle = \langle \epsilon_0 \sin \omega t i_0 \sin(\omega t + \varphi) \rangle \Rightarrow$$

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} \epsilon_0 i_0 \cos \varphi$$

Valores eficaces:

Son los que suelen medir los instrumentos

Corresponden al valor de cc con igual efecto térmico

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{\text{ef}} = \sqrt{\langle i^2 \rangle} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} \\ \epsilon_{\text{ef}} = \sqrt{\langle \epsilon^2 \rangle} = \frac{\epsilon_0}{\sqrt{2}} \end{array} \right. \Rightarrow \langle P \rangle = \epsilon_{\text{ef}} i_{\text{ef}} \cos \varphi$$

Ley de Ohm: la suma de V_{ef} no tiene por que dar ϵ_{ef}

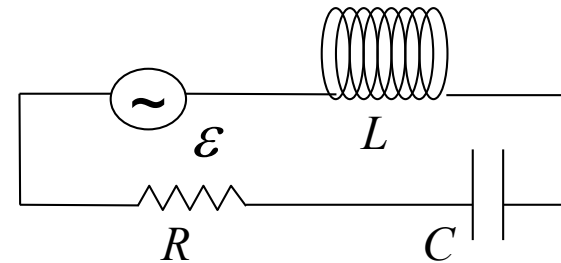
4 Circuitos de corriente alterna

Para resolver estos circuitos es más sencillo usar magnitudes complejas:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = \varepsilon_0 e^{j(\omega t + \varphi)} & \text{fem} \\ \mathcal{I} = i_0 e^{j\omega t} & \text{intensidad} \\ \mathcal{Z} = R + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right) j & \text{impedancia} \end{cases}$$

Se resuelve como en cc y basta quedarse con la parte real de ε e i

Ej. - Circuito RLC en serie:

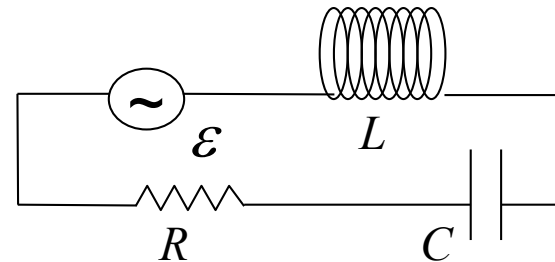


Ley de Ohm: $\varepsilon - L \frac{di}{dt} = R i + \frac{1}{C} \int i dt$

$$\varepsilon_0 e^{j\omega t} e^{j\varphi} - jL\omega i_0 e^{j\omega t} = R i_0 e^{j\omega t} + \frac{1}{j\omega C} i_0 e^{j\omega t}$$

4 Circuitos de corriente alterna

- Circuito RLC en serie:



$$i = \frac{\varepsilon}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

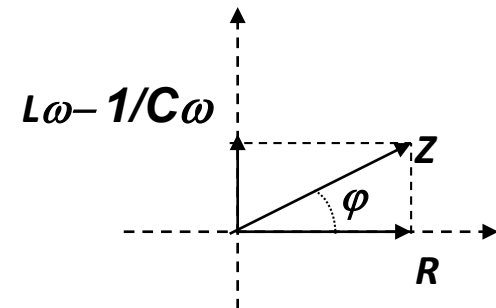
Z: impedancia

en este caso se puede operar con magnitudes reales

desfase

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

fasores



Resonancia: la i es máxima si $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$$\Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{R} \quad \text{y} \quad \cos \varphi = 1 \quad (\text{potencia máxima})$$

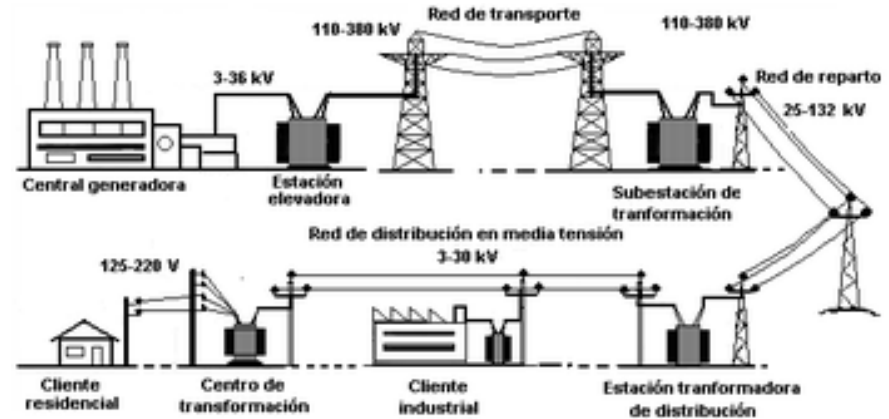
INSTALACIONES ELÉCTRICAS DOMÉSTICAS (conceptos básicos)

Contenidos

- 1 Datos básicos
- 2 Medidas
- 3 Seguridad
- 4 Conexión de los elementos

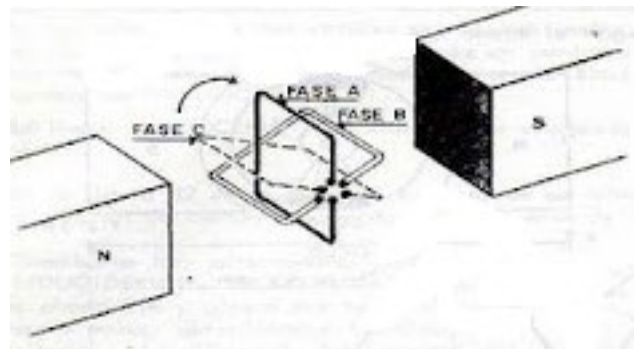
1 Datos básicos

Distribución



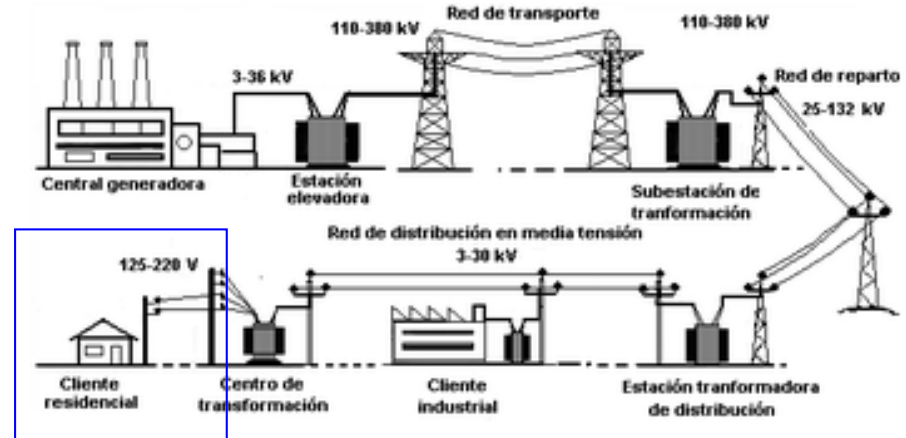
Desde las centrales se realiza en trifásica

- menor sección de los cables
- potencia más uniforme

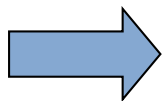


1 Datos básicos

Distribución



En circuitos domésticos se transforma en monofásica (salvo en instalaciones de gran potencia)



Dos cables

- fase: lleva la energía
- neutro: retorno

Ejercicio: hallar la fase en los enchufes del panel del laboratorio

1 Datos básicos

Tipo de conexión Paralelo (igual ΔV)

Red europea

Tensión	230 V
Frecuencia	50 Hz
rpm generador	3000
Intensidad	Según instalación
Potencia	$P = \Delta V i$

2 Medición



Escala: escoger la escala más alta y reducir si es necesario.

- Diferencia de potencial: conexión en paralelo $R \gg$
- Intensidad: conexión en serie –romper el circuito– $R \ll$

Contenidos

1 Datos básicos

2 Medidas

3 Seguridad

4 Elementos

Magnetotérmico

Diferencial

Toma a tierra

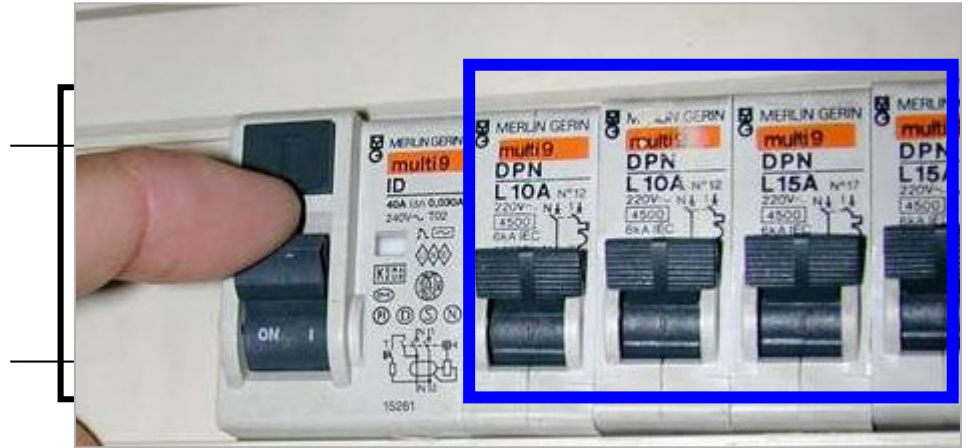
Código de colores

Sección de los cables

Electrocución

3 Seguridad

Magnetotérmico



interrumpe la corriente cuando sobrepasa cierto valor

Dos elementos

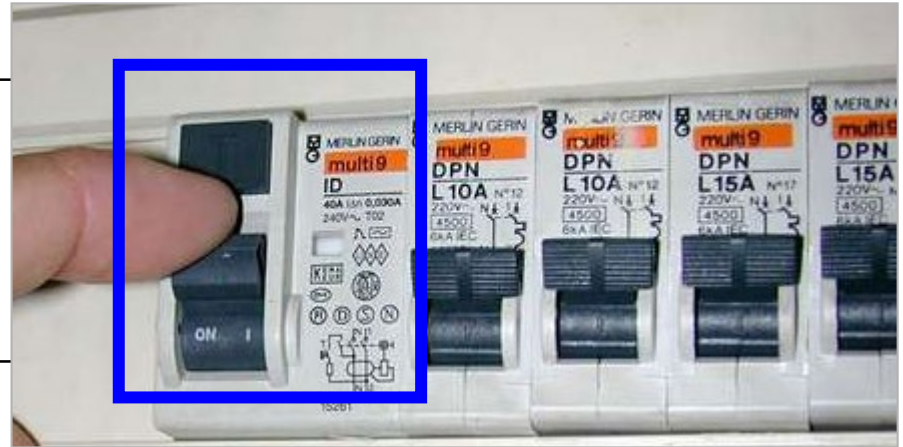
Efecto magnético: cortocircuitos (25 ms)

Efecto térmico: sobrecargas

Características esenciales: Amperaje y Capacidad de ruptura

3 Seguridad

Diferencial



interrumpe la corriente si $I_2 \neq I_1$

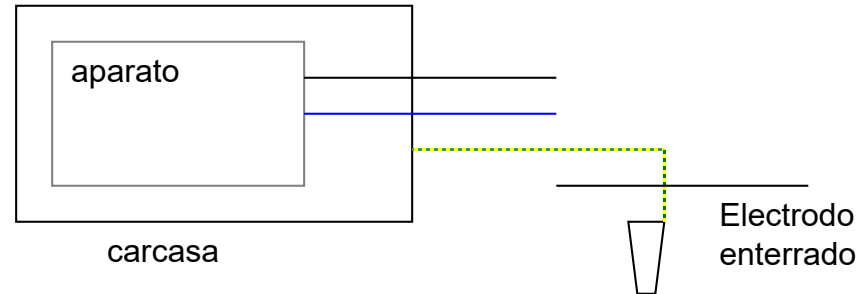
protege de derivaciones por mal aislamiento en los aparatos

Características esenciales: Amperaje y Sensibilidad

REBT: 30 mA en 50 ms

3 Seguridad

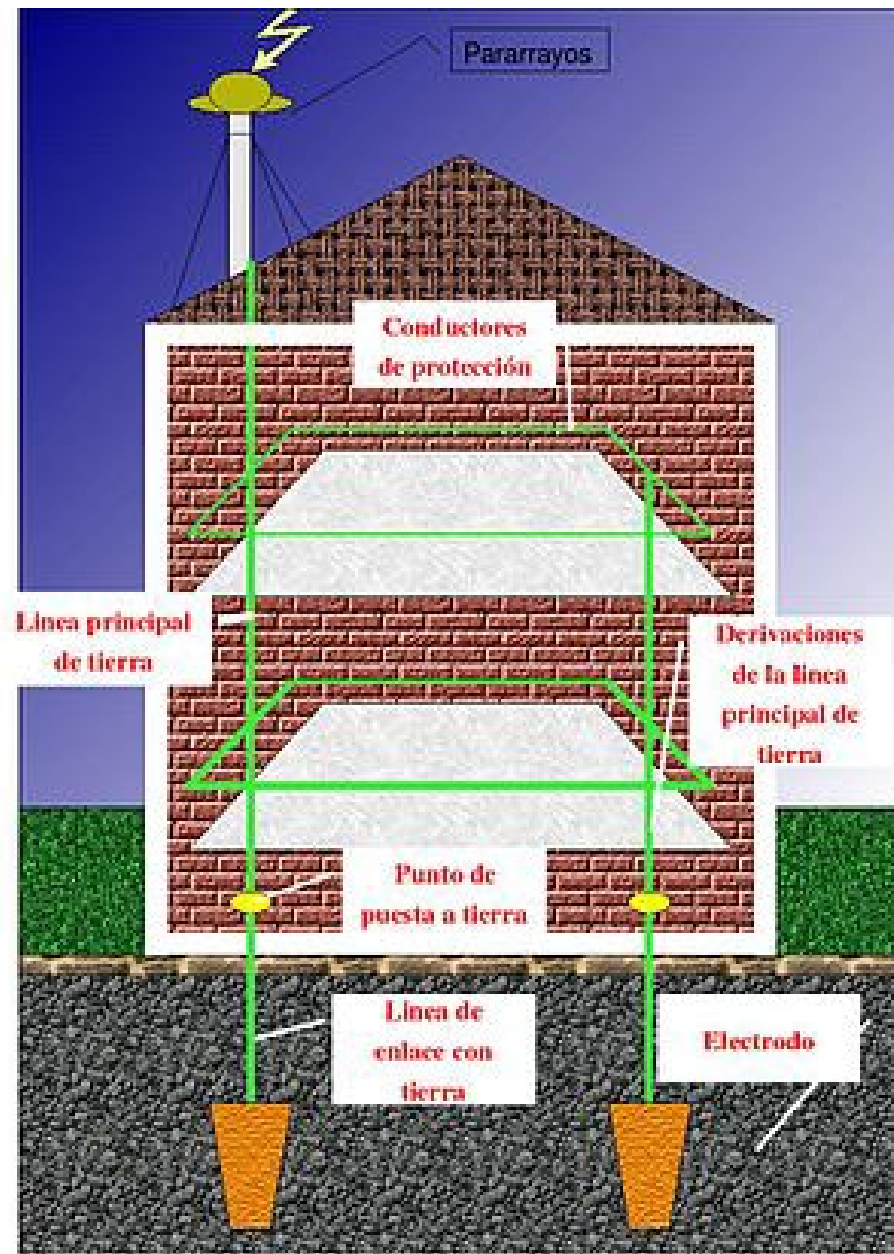
Toma a tierra



circuito que complementa al diferencial para proteger de descargas por mal aislamiento en los aparatos

3 Seguridad

Toma a tierra



3 Seguridad

Código de colores

Fase	
	
	
Neutro	
Tierra	

Sección de los cables

Circuito	Sección	I
Alumbrado	1.5 mm ²	10 A
Tomas corriente	2.5 mm ²	16 A
Lavadora	4 mm ²	20 A
Placa y horno	6 mm ²	25 A

Ejercicio: Hallar la resistencia de 6 m de cable de iluminación y la resistencia de una lámpara de 100 W. Comparar el efecto Joule de cada elemento.

3 Seguridad

Recomendaciones

- Antes de cualquier conexión con la red, desconectar el ICP
- Realizar las uniones mediante clemas
- Apretar correctamente los bornes
- Cumplir la legislación vigente

Reglamento electrotécnico de baja tensión, BOE 18/IX/2002



3 Seguridad

Características especiales de equipos en buques

- Legislación internacional
 - Sistema autónomo (equipos auxiliares)
 - Dureza del entorno
 - Bajo peso
- } (calidad de los materiales)

3 Seguridad

Electrocución: factores que intervienen

- Tipo de corriente: la c.a. es más peligrosa que la c.c. a baja frecuencia y tensión
- Recorrido de la corriente: mayor daño si atraviesa órganos vitales
- Intensidad y tiempo de contacto
- Resistencia del cuerpo humano: $10^3 \Omega$
depende de la humedad de la piel y el recorrido de la corriente
- Tensión: valor de seguridad 24 V en zonas mojadas y 50 V en secas
(REBT, contactos indirectos, tanto para c.a. como para c.c.)

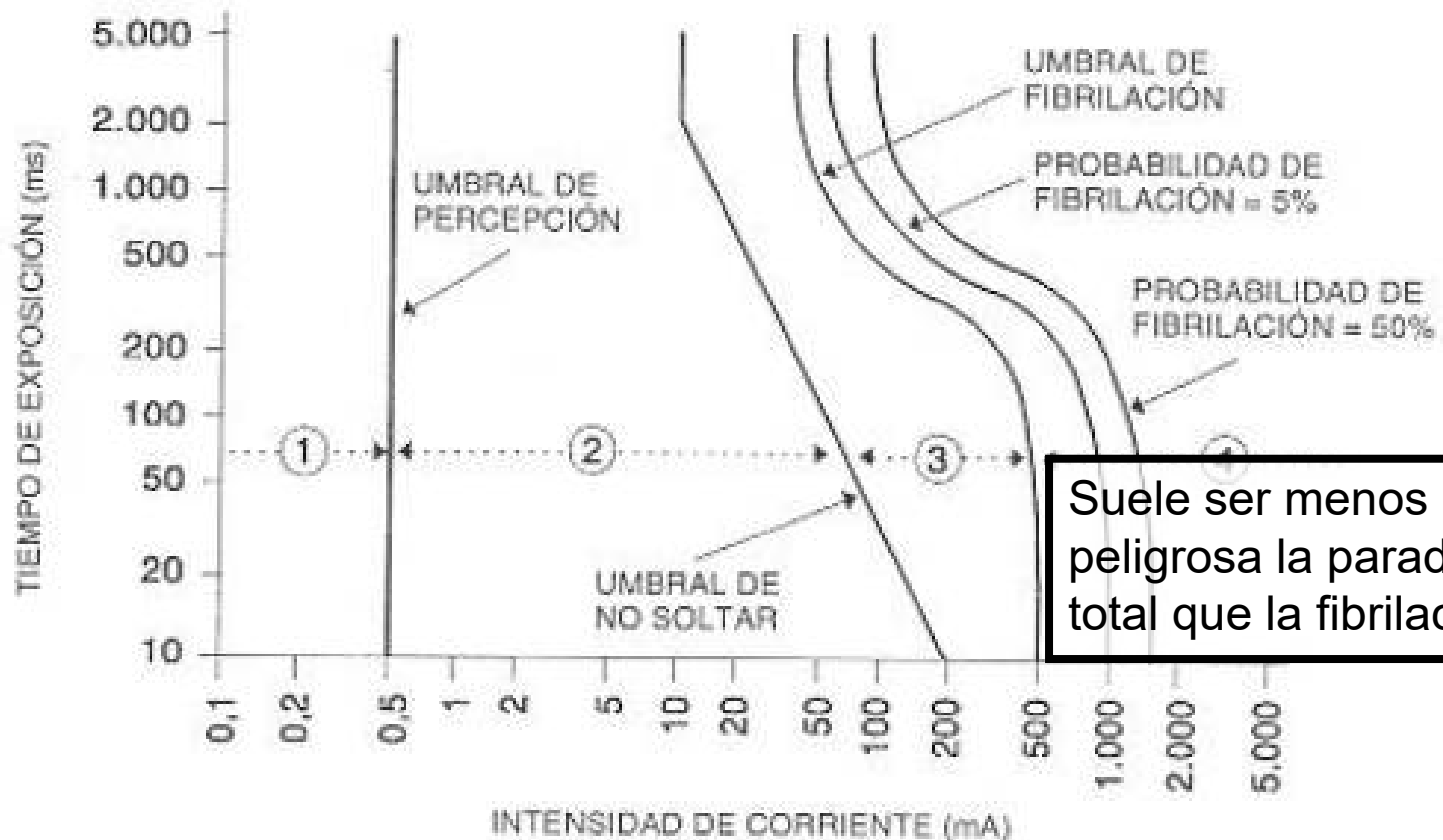
3 Seguridad

Si se establece un circuito en el interior del cuerpo (electrodos en hospitales p ej) una corriente de μA puede producir fibrilación (microshock).

Teóricamente aunque no se conocen casos en humanos

Efectos sobre el cuerpo humano

Trayectoria brazo – piernas c.a



Suele ser menos peligrosa la parada total que la fibrilación

3 Seguridad

Ejercicio: ¿qué va a ocurrir si el niño introduce las tijeras en el enchufe?



Contenidos

1 Datos básicos

2 Medidas

3 Seguridad

4 Conexión de los elementos

Interruptor

Conmutador

Conmutador de cruce

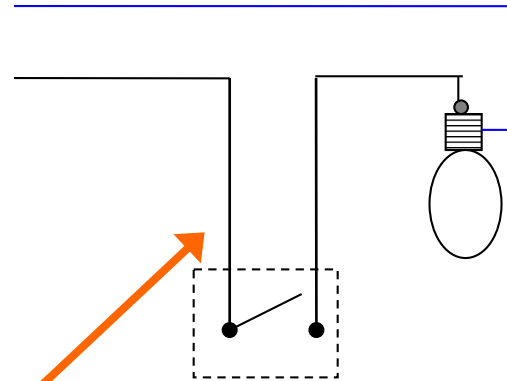
Toma de corriente

Fuente de alimentación

4 Conexión de los elementos

Interruptor

mecanismo que conecta y desconecta otro elemento

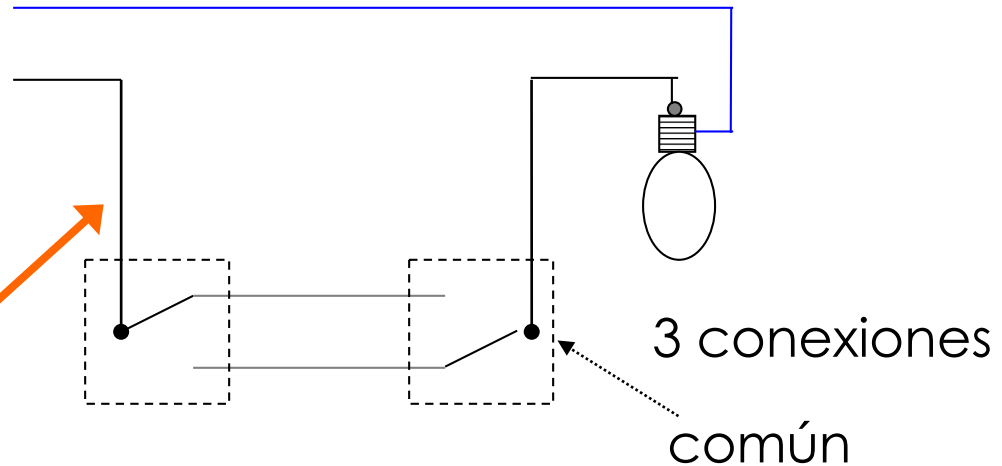


ha de conectarse al conductor de fase

4 Conexión de los elementos

Conmutador

control de un elemento desde dos posiciones

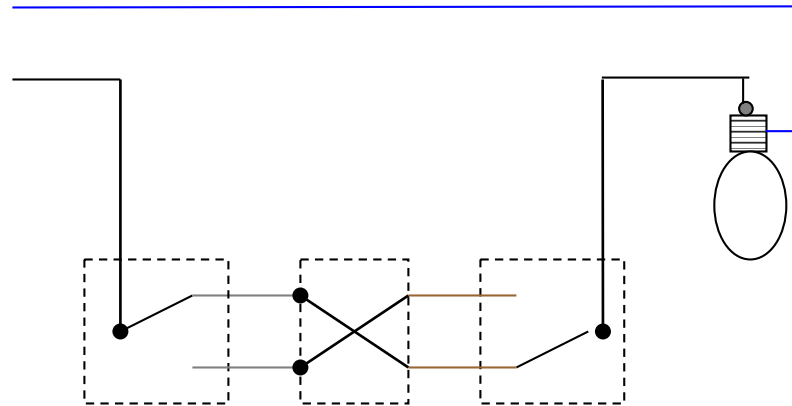


ha de conectarse al conductor de fase

4 Conexión de los elementos

Conmutador de cruce

control de un elemento desde tres o más posiciones



4 conexiones

4 Conexión de los elementos

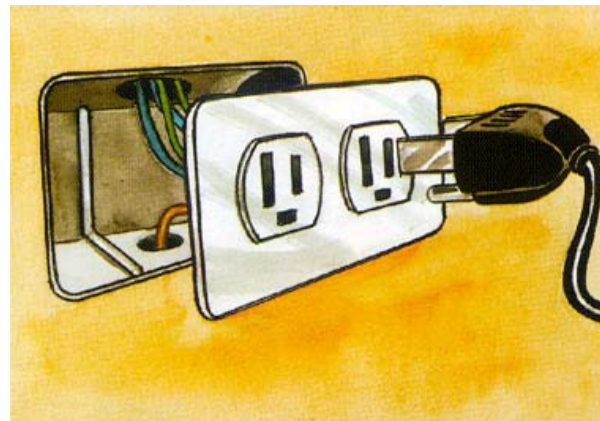
Toma de corriente

Alimentación para cualquier dispositivo



Fase y neutro se conectan indistintamente

Conexión de tierra



4 Conexión de los elementos

Fuente de alimentación

Alimentación para dispositivos a distinto voltaje y cc

Debe mantener la tensión de salida continua independientemente de las oscilaciones en la línea o de la carga requerida por el circuito.

Características esenciales: voltaje de salida, polaridad e intensidad máxima



4 Conexión de los elementos

Fuente de alimentación

Alimentación para dispositivos a distinto voltaje y cc

Debe mantener la tensión de salida continua independientemente de las oscilaciones en la línea o de la carga requerida por el circuito.

Características esenciales: voltaje de salida, polaridad e intensidad máxima

Ejercicio: se tiene un aparato que requiere 12 V y consume 4.8 W.

- a) ¿Qué puede ocurrir si se conecta a una fuente de 5 V e intensidad máxima 0.5 A?*
- b) ¿Y si se conecta a una de 24 V e intensidad máxima 0.5 A?*
- c) ¿Y si se conecta a una de 12 V e intensidad máxima 0.2 A?*

4 Conexión de los elementos

Ejercicio: diseño de una instalación sencilla.

Dibujar el plano de una oficina de 30 m², con aseo interior de 6 m².

Diseñar una instalación eléctrica para esta oficina a partir de la caja de distribución donde se encuentran la fase, neutro, el conductor de protección y un ICP de 20 A:

- incluir los elementos de seguridad necesarios
- especificar sección y color de los conductores
- separar los circuitos de fuerza e iluminación y protegerlos de sobrecargas (10 y 15 A respectivamente)
- estimar el presupuesto de los materiales de la instalación eléctrica (excluir mano de obra y albañilería)
- mostrar claramente las cajas de registro y sus conexiones
- estimar la máxima potencia consumida en los cables

BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro-magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica

7. ONDAS



ONDAS

ÍNDICE

1. Movimiento ondulatorio
2. Ecuación del movimiento ondulatorio
3. Velocidad de las ondas
4. Ondas periódicas (armónicas)
5. Energía transmitida por las ondas
6. Sonido
7. Efecto Doppler

BIBLIOGRAFÍA:

Cap. 15 del Tipler–Mosca, vol. 1, 5ª ed.
Caps. 16 y 17 del Serway–Jewett, vol. 1, 7ª ed.

1. MOVIMIENTO ONDULATORIO

Onda: propagación de una perturbación física en un medio transporta energía y momento, pero no materia.

Distintas clasificaciones de las ondas

Mecánicas: requiere medio material.

Electromagnéticas: no requiere medio material.

Longitudinales: las direcciones de perturbación y propagación coinciden.

Transversales: la perturbación física se produce en un plano transversal a la dirección de propagación de la onda.

2. ECUACIÓN DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO

Existe una ecuación, denominada *ecuación de ondas*, que se aplica a todos los fenómenos ondulatorios.

$$y = f(x - vt)$$

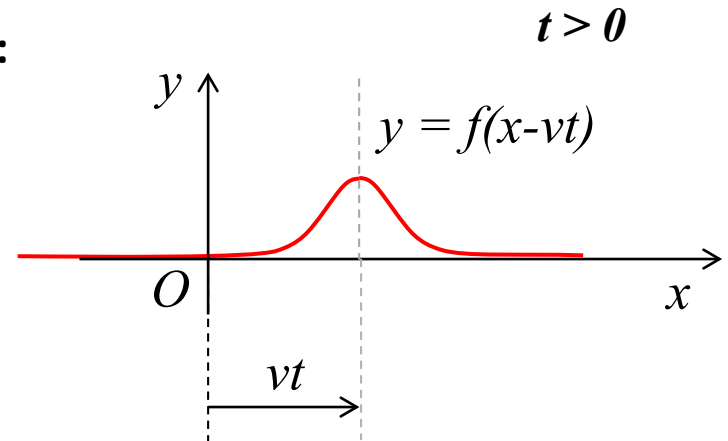
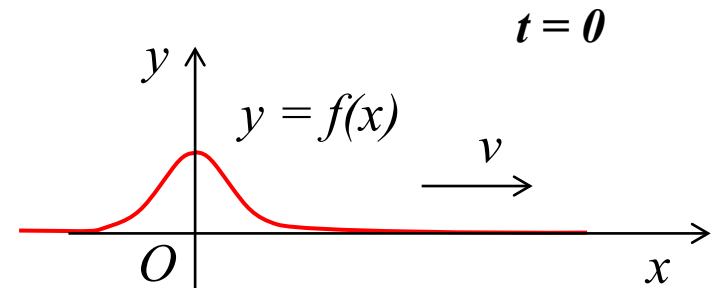
Onda que se mueve en el sentido positivo de x

$$y = f(x + vt)$$

Onda que se mueve en el sentido negativo de x

Funciones de onda, solución de la ecuación de onda:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$



2. ECUACIÓN DEL MOVIMIENTO ONDULATORIO

Problema

Demostrar que las siguientes funciones satisfacen la ecuación de onda:

a) $y(x, t) = k(x - vt)^2$

b) $y(x, t) = Ae^{ik(x-vt)}$

c) $y(x, t) = B\text{sen}(x + vt)$

3. ONDAS PERIÓDICAS (armónicas)

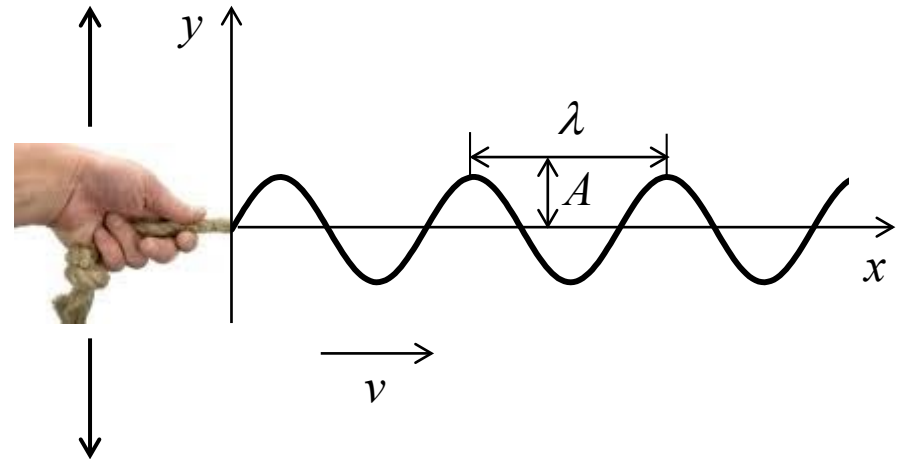
Si la perturbación que origina la onda se repite en el tiempo se forma una onda periódica.

$$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \quad (T = 1/f)$$

$$y(x) = A \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \right)$$

$$y(x) = A \operatorname{sen} \left(2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right)$$

$$y(x) = A \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$



k : Número de onda $k = 2\pi / \lambda$

ω : Frecuencia angular $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

$kx - \omega t$: Fase

4. ONDAS PERIÓDICAS (armónicas)

Ej

La función de onda de una onda armónica que se propaga en una cuerda viene dada por la expresión $y(x,t) = 0.005 \sin(4x+8t)$ (todo en SI):

- a) ¿En qué sentido se propaga esta onda y cuál es su velocidad?
- b) Obtener la amplitud, longitud de onda y frecuencia de la onda.
- c) ¿Cuál es la velocidad y aceleración máxima de cualquier segmento de la cuerda?

Ej

¿Por qué las olas de un tsunami son mucho más destructivas que las de un temporal?

BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro-magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica



8. INTRODUCCIÓN A LA TERMODINÁMICA



ÍNDICE

1. Sistema termodinámico
2. Temperatura y equilibrio térmico
3. Termómetros y escalas de temperatura
4. Dilatación térmica
5. Ley de los gases ideales



1. SISTEMA TERMODINÁMICO

Termodinámica: *“movimiento del calor”*

En Termodinámica se describe el estado de un sistema por variables macroscópicas **densidad, presión, volumen, temperatura**.

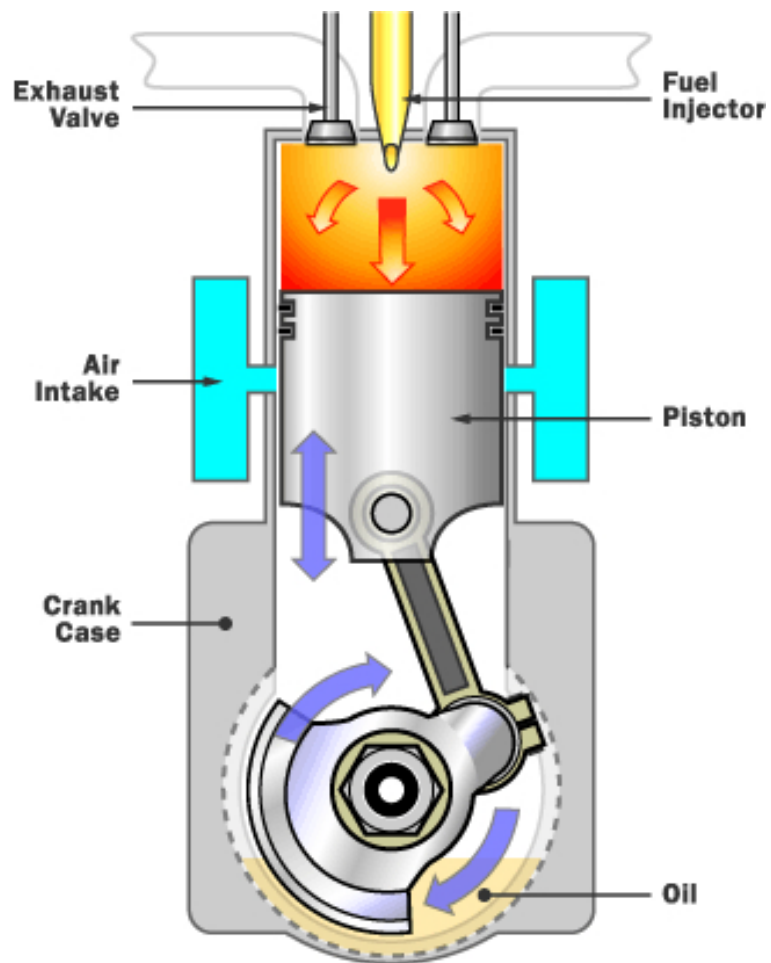
Sistema: es una parte del Universo que se aísla para su estudio.

Mezcla aire-gasóleo

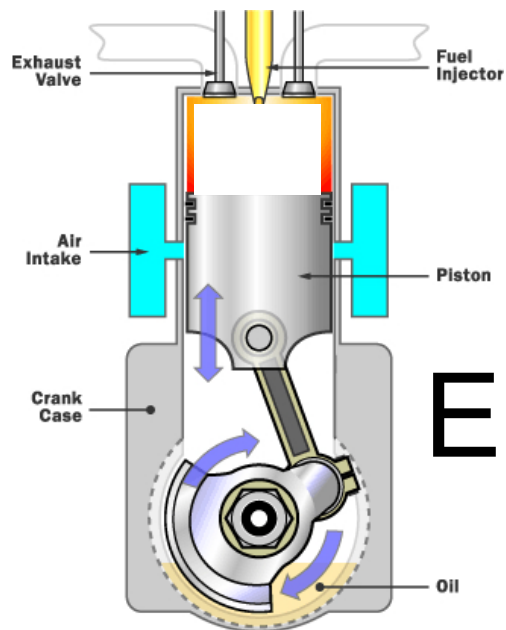
Entorno: es la parte del Universo que no es el sistema.

Cilindro, refrigerante...





SISTEMA



ENTORNO

1. SISTEMA TERMODINÁMICO

Sistema en equilibrio: sus magnitudes físicas no cambian.

En equilibrio las magnitudes se pueden relacionar por la ecuación de estado del sistema.

$$PV = nRT$$

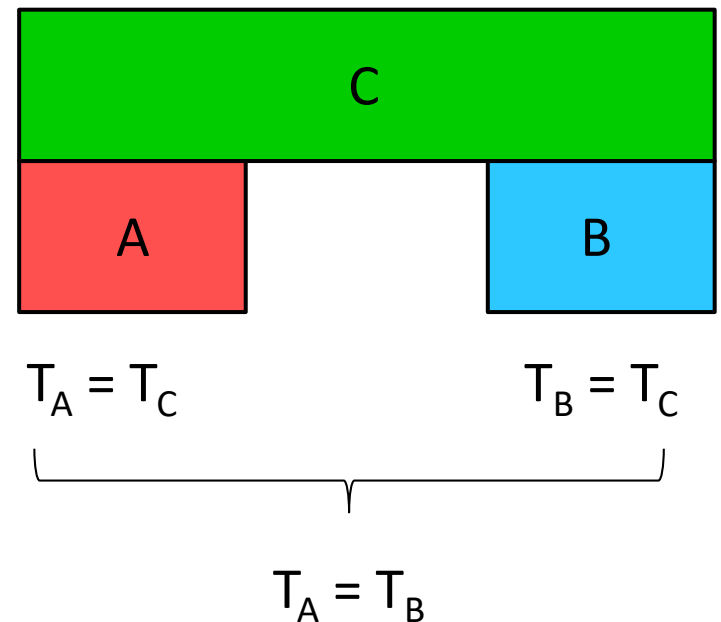
2. TEMPERATURA Y EQUILIBRIO TÉRMICO

Temperatura: propiedad relacionada con la energía cinética de las partículas de un cuerpo.

Equilibrio térmico: dos cuerpos están en *equilibrio térmico* si al ponerlos en contacto no intercambian energía.

Principio cero de la termodinámica

Si dos objetos (A y B) están en equilibrio térmico con un tercero (C), entonces están en equilibrio entre sí.



3. TERMÓMETROS Y ESCALAS DE TEMPERATURA

Termómetros: se usan para medir la temperatura.

Se basan en el cambio de alguna propiedad física de los cuerpos con la temperatura

dilatación de un material
presión de un gas
resistencia eléctrica...

Ejemplo: longitud de una columna de mercurio

	Agua con hielo	Agua y vapor
Celsius	0 °C	100 °C
Fahrenheit	32 °F	212 °F

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5}T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

Problemas principales: 1) los valores dependen del material.
2) Intervalo limitado de temperaturas.

3. TERMÓMETROS Y ESCALAS DE TEMPERATURA

Termómetro de gas a volumen constante: presión de un gas ideal (muy baja densidad)
(la medida de temperatura no depende del gas).

$$T(\text{K}) = \frac{273.16}{P_3} P$$

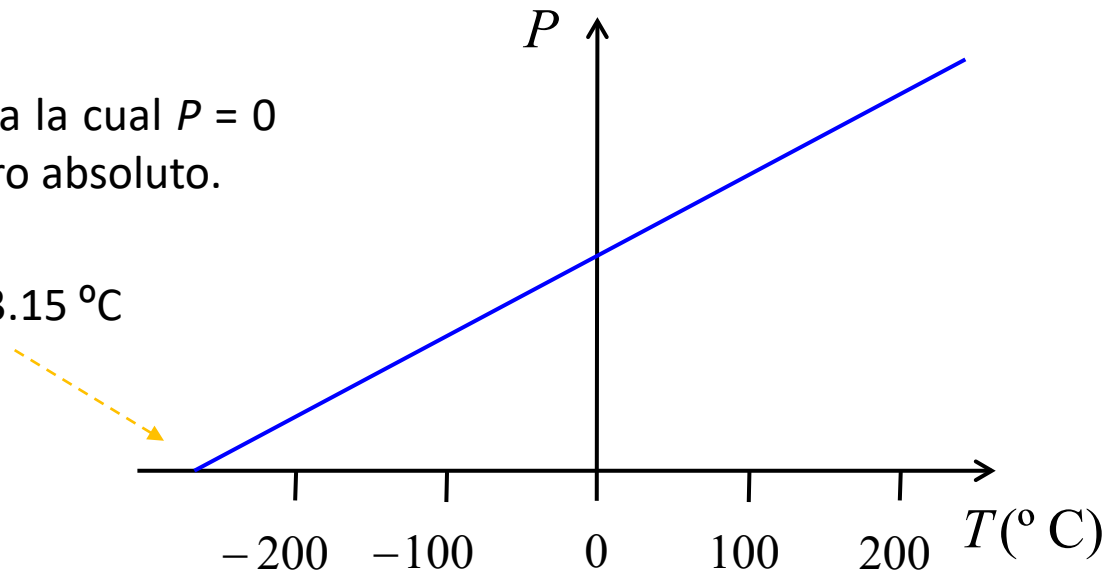
Punto de calibración:
punto triple del agua

Escala Kelvin o absoluta:

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

La temperatura a la cual $P = 0$
se denomina cero absoluto.

$$0 \text{ K} = -273.15 ^{\circ}\text{C}$$



4. DILATACIÓN TÉRMICA

Normalmente los cuerpos se dilatan al aumentar su temperatura.

En 1 dimensión: $l = l_0 (1 + \alpha (t - t_0))$



coeficiente de dilatación lineal

En 3 dimensiones: $V = V_0 (1 + \beta (t - t_0))$



Coeficiente de dilatación cúbica

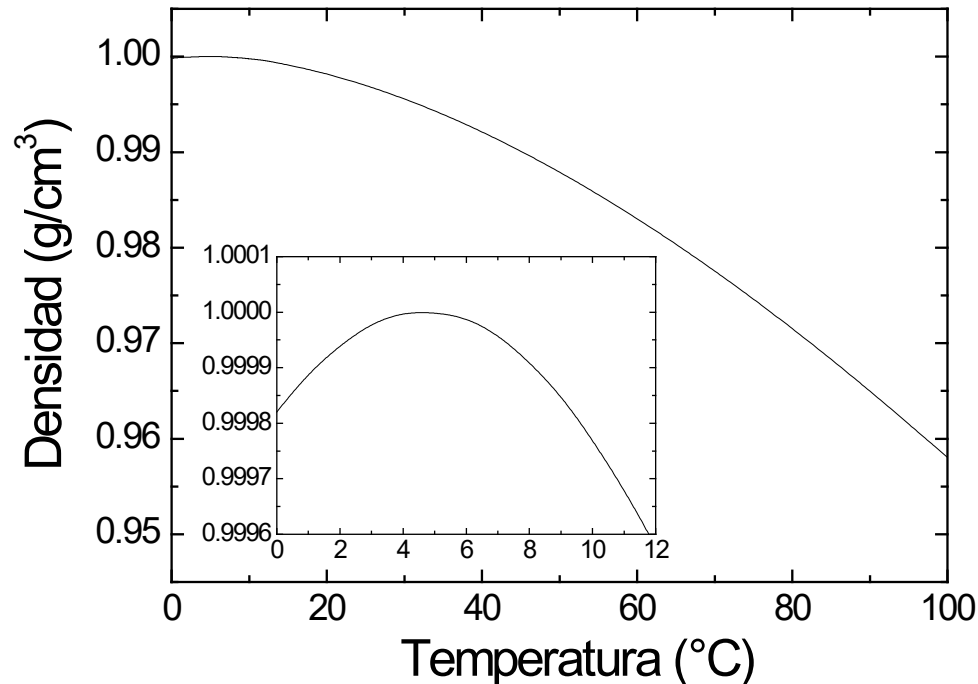
$$\beta = 3\alpha$$

De igual manera, el coeficiente de dilatación superficial es el doble del coeficiente de dilatación lineal.

4. DILATACIÓN TÉRMICA

Dilatación anómala del agua: entre 0 y 4 °C el agua se contrae al calentarse.

Tiene importantes consecuencias biológicas para la vida marina.



5. LEY DE LOS GASES IDEALES

Gas ideal: gas sin interacciones entre sus moléculas { Baja densidad
Alta T

Ley de los gases ideales

$$PV = nRT$$



número de moles: 1 mol = $6.023 \cdot 10^{23}$ moléculas

$$R = 8.31 \text{ J/mol K} = 0.082 \text{ atm l /mol K}$$

BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro-magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica

9. PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA



ÍNDICE

1. Calor y trabajo
2. Capacidad calorífica y calor específico
3. Calor latente en cambios de fase
4. Primer principio de la termodinámica
5. Energía interna de un gas ideal
6. Diagramas PV para gases ideales

1. CALOR Y TRABAJO

TRABAJO: energía que se transfiere entre sistemas con movimiento colectivo

CALOR: energía que se transfiere entre sistemas sin movimiento colectivo
por la diferencia de temperaturas

**Formas de
propagación del calor**

Conducción

Convección

Radiación

2. CAPACIDAD CALORÍFICA Y CALOR ESPECÍFICO

CALOR: energía que se transfiere entre sistemas debido a sus diferentes temperaturas

$$Q = C (T_1 - T_2) = m c_e (T_1 - T_2)$$

Calor específico de una sustancia: energía necesaria para aumentar un grado la temperatura de una unidad de masa

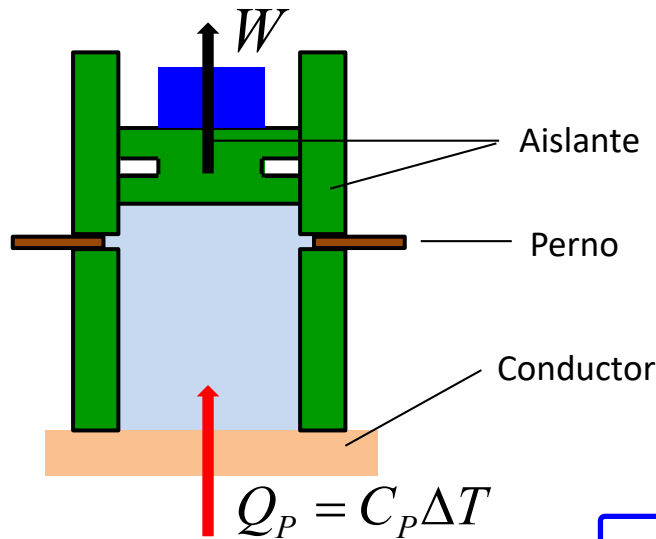
Capacidad calorífica de un cuerpo: energía necesaria para aumentar un grado su temperatura

$$c_e = C / m$$

En los gases no hay un único calor específico, se define uno para cada proceso
(el intercambio de energía puede realizarse a V constante, a P constante...)

2. CAPACIDAD CALORÍFICA Y CALOR ESPECÍFICO

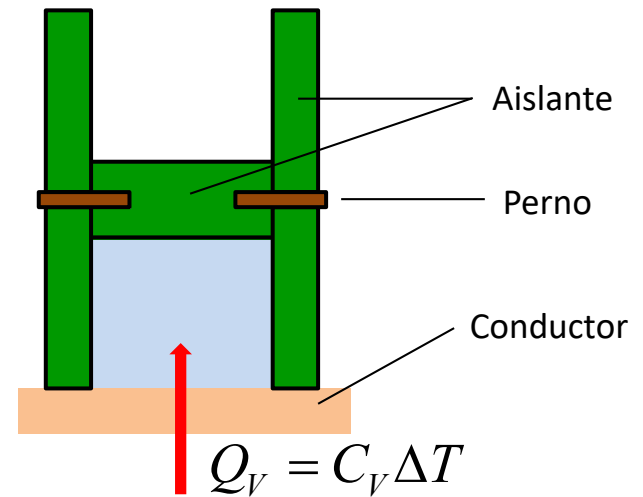
Al suministrar energía a un gas, el proceso se puede realizar a presión constante, a volumen constante o variando ambos.



$$C_P = C_V + nR$$

Calor suministrado a presión constante. El gas se expande y realiza un trabajo positivo sobre el pistón.

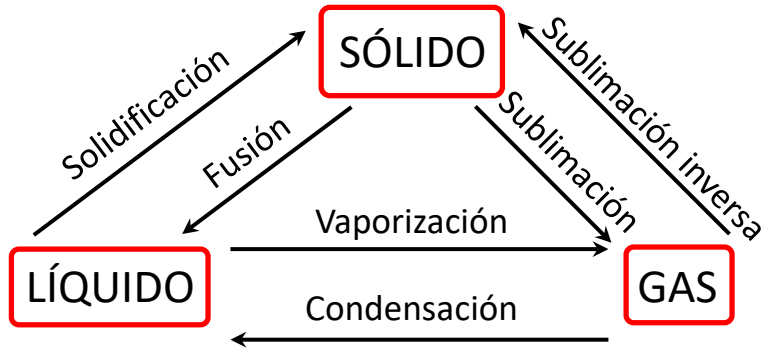
$$C_P = \begin{cases} 5nR/2 & \text{Gases monoatómicos} \\ 7nR/2 & \text{Gases diatómicos} \end{cases}$$



Calor suministrado a volumen cte. No se realiza trabajo y todo el calor se convierte en energía interna del gas.

$$C_V = \begin{cases} 3nR/2 & \text{Gases monoatómicos} \\ 5nR/2 & \text{Gases diatómicos} \end{cases}$$

3. CAMBIOS DE FASE. CALOR LATENTE



Durante el proceso no cambia su temperatura

Calor latente de fusión L_f : energía necesaria para fundir una unidad de masa

Para fundir un cuerpo de masa m : $Q_f = m L_f$

Calor latente de vaporización L_v : energía para evaporar una unidad de masa

Para evaporar una masa m : $Q_v = m L_v$

En el proceso inverso, se libera la misma cantidad de energía.

3. CAMBIOS DE FASE. CALOR LATENTE

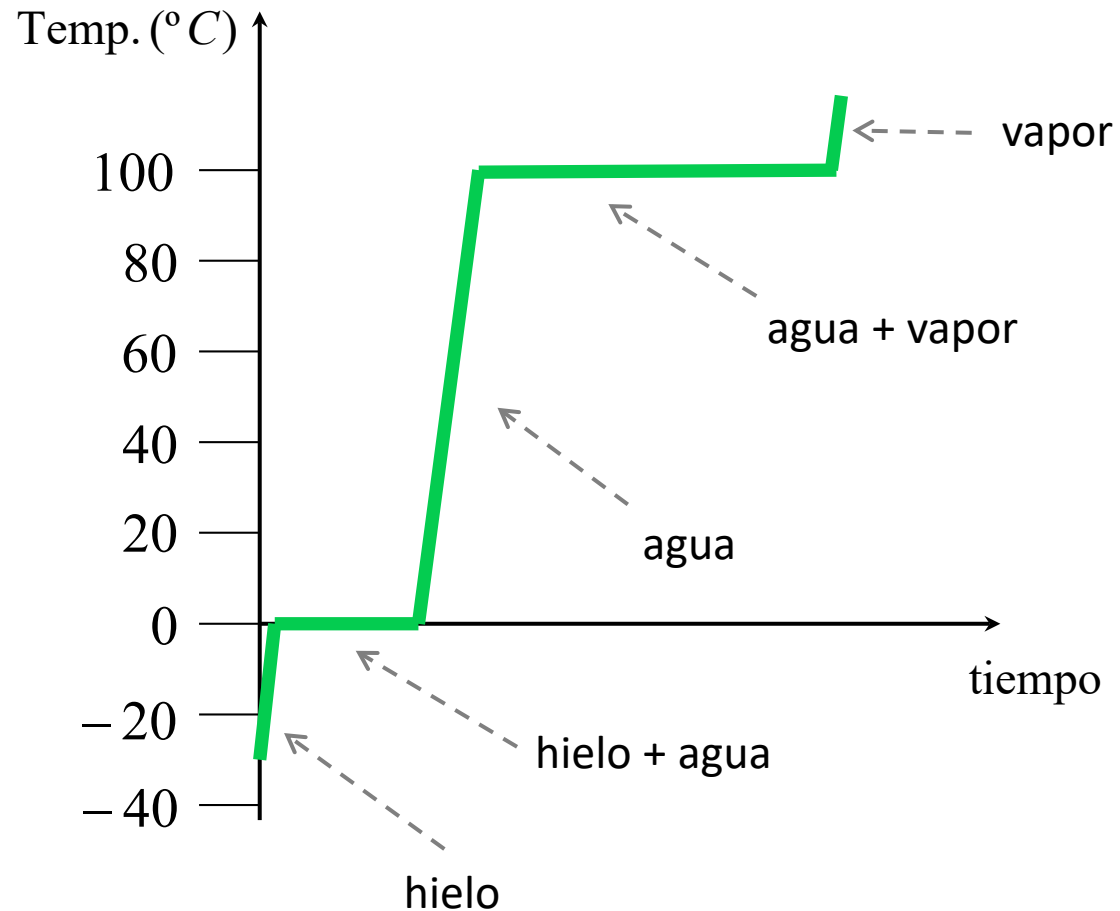
Se calienta hielo a -30°C y 1 atm hasta convertirlo en vapor de agua.

$$c_e(\text{agua}) = 4184 \text{ J/kg}\cdot\text{K}.$$

$$c_e(\text{hielo}) = 2090 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$L_f(\text{hielo}) = 333.5 \text{ kJ/kg}$$

$$L_v(\text{agua}) = 2257 \text{ kJ/kg}$$



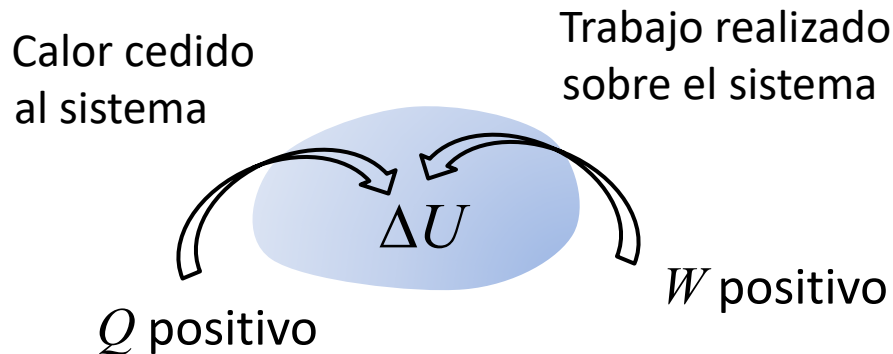
4. PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA

Trabajo y calor son dos formas de transferir energía.

La energía interna de un sistema cambia al intercambiar calor o trabajo con otros sistemas (por conservación de la energía).

$$\Delta U = Q + W$$

Primer principio de la termodinámica



5. ENERGÍA INTERNA DE UN GAS IDEAL

Para un gas ideal (en el que no hay interacciones), la energía interna sólo depende de su temperatura.

$$U = U(T) = \begin{cases} \frac{3}{2}nRT & \text{Moléculas monoatómicas} \\ \frac{5}{2}nRT & \text{Moléculas diatómicas} \end{cases}$$

Para cualquier tipo de proceso, se puede calcular ΔU mediante la expresión a V cte:

$$\Delta U = Q + W = Q_V = C_V (T_f - T_i)$$

6. DIAGRAMAS PV PARA GASES IDEALES

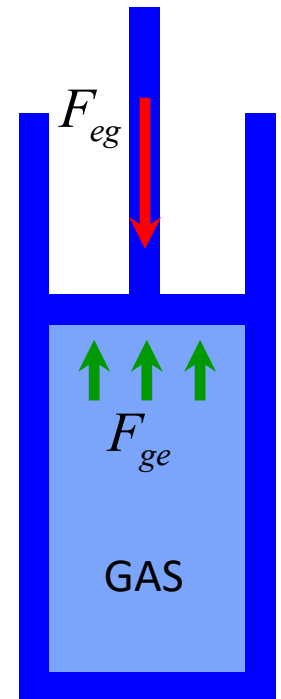
Consideraremos procesos *cuasiestáticos*: procesos en los que el sistema cambia de estado pasando por una serie de estados de equilibrio.

$$dW_{\text{gas sobre el émbolo}} = F_{ge} dx = P A dx = P dV$$

$$dW_{\text{émbolo sobre el gas}} = F_{eg} dx = -dW_{\text{gas sobre el émbolo}} = -P dV$$

$$\text{Expansión } (dV > 0): \begin{cases} W_{\text{gas sobre el émbolo}} > 0 \\ W_{\text{émbolo sobre el gas}} < 0 \end{cases}$$

$$\text{Compresión } (dV < 0): \begin{cases} W_{\text{gas sobre el émbolo}} < 0 \\ W_{\text{émbolo sobre el gas}} > 0 \end{cases}$$



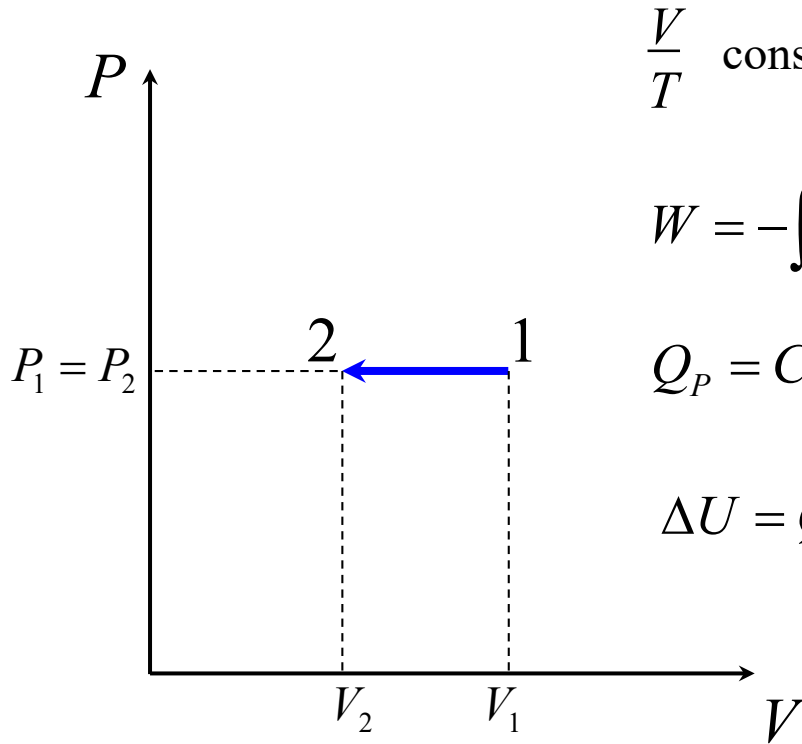
Trabajo realizado sobre un gas:

$$W_{\text{sobre el gas}} = -\int_{V_i}^{V_f} P dV$$

6. DIAGRAMAS PV PARA GASES IDEALES

El estado de un gas puede representarse en un diagrama PV:

PROCESO ISÓBARO (P constante)



$$\frac{V}{T} \text{ constante}$$

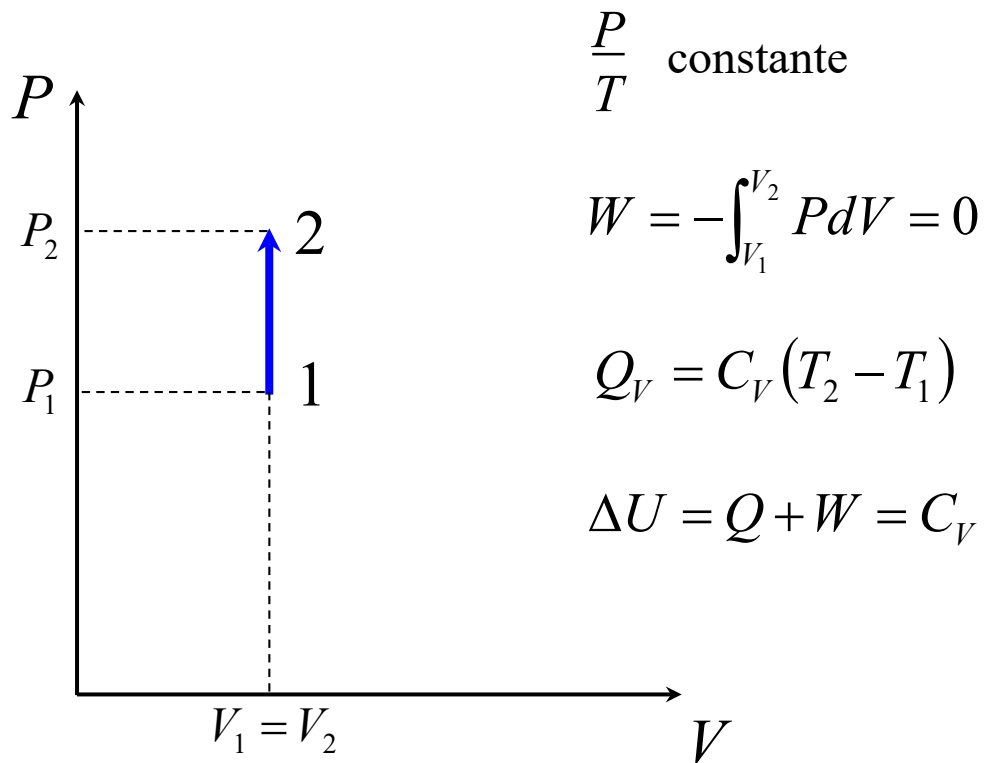
$$W = -\int_{V_1}^{V_2} P dV = -P(V_2 - V_1)$$

$$Q_P = C_p(T_2 - T_1)$$

$$\Delta U = Q + W = C_p(T_2 - T_1) - P(V_2 - V_1) = C_v(T_2 - T_1)$$

6. DIAGRAMAS PV PARA GASES IDEALES

PROCESO ISÓCORO (V constante)



$$\frac{P}{T} \text{ constante}$$

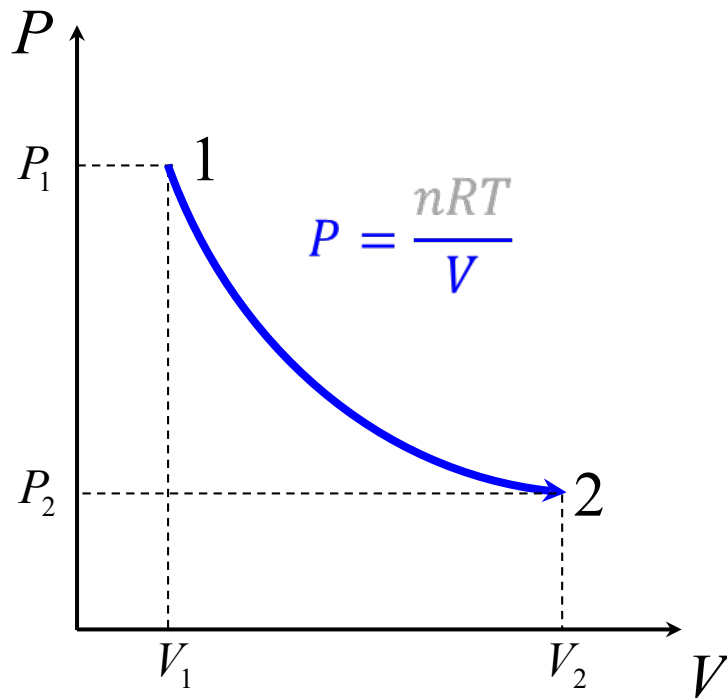
$$W = -\int_{V_1}^{V_2} P dV = 0$$

$$Q_V = C_V (T_2 - T_1)$$

$$\Delta U = Q + W = C_V (T_2 - T_1)$$

6. DIAGRAMAS PV PARA GASES IDEALES

PROCESO ISOTERMO (T constante)



PV constante

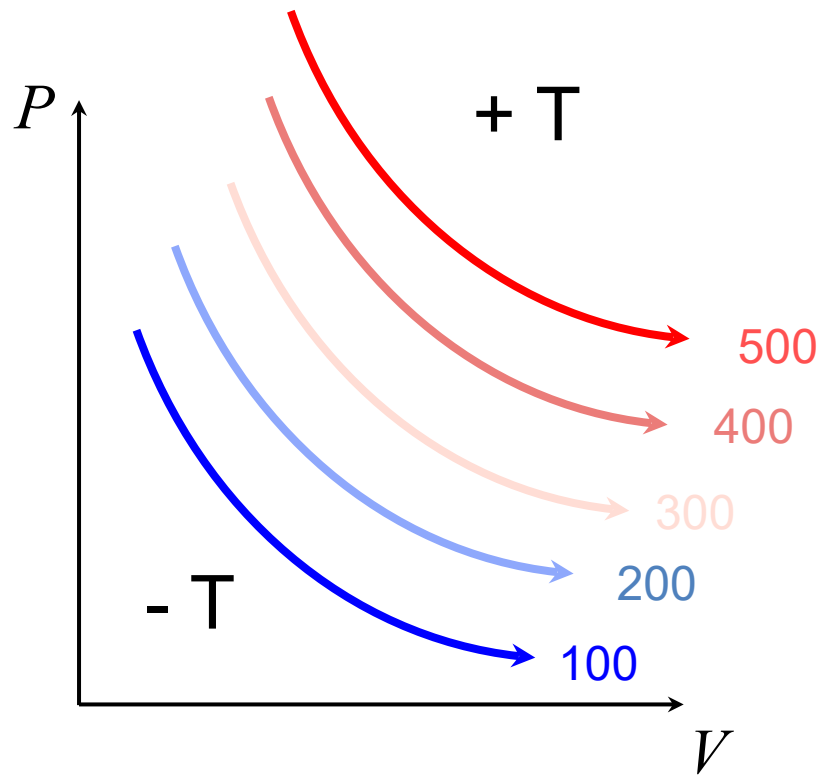
$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q = -W$$

$$W = -\int_{V_1}^{V_2} P dV = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

6. DIAGRAMAS PV PARA GASES IDEALES

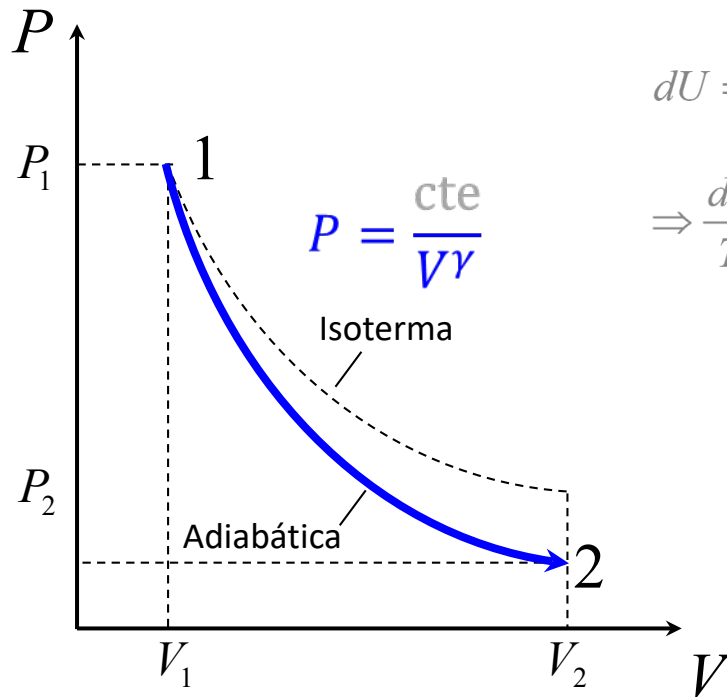
CURVAS ISOTERMAS



6. DIAGRAMAS PV PARA GASES IDEALES

PROCESO ADIABÁTICO ($Q = 0$)

$$\Delta Q = 0 \Rightarrow \Delta U = W = C_V(T_2 - T_1)$$



$$dU = dQ + dW \Rightarrow C_V dT = -PdV \Rightarrow C_V dT = -\frac{nRT}{V} dV$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{T} = -\frac{nR}{C_V} \frac{dV}{V} = -(\gamma - 1) \frac{dV}{V} \quad \text{donde} \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

$$\Rightarrow TV^{\gamma-1} = \text{cte} \Rightarrow T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$W = C_V \Delta T = C_V \left(\frac{P_2 V_2}{nR} - \frac{P_1 V_1}{nR} \right) = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma - 1}$$

BLOQUE	UNIDAD		TEMA
I INTERACCIÓN ELECTRO- MAGNÉTICA	A	Interacción eléctrica	1. Interacción eléctrica 2. Campo eléctrico en la materia 3. Corriente eléctrica
	B	Interacción magnética	4. Interacción magnética
	C	Electro-magnetismo	5. Inducción electromagnética 6. Corriente alterna
II ONDAS	D	Ondas	7. Ondas
III TERMO- DINÁMICA	E	Antecedentes	8. Introducción a la Termodinámica
	F	Principios de la Termodinámica	9. Primer principio de la termodinámica 10. Segundo principio de la termodinámica

10. SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA



ÍNDICE

1. Máquinas Térmicas. Refrigeradores. Bombas de calor
2. Segundo Principio de la Termodinámica
3. La Máquina de Carnot
4. Ciclos Comunes

El primer principio, la conservación de la energía, no distingue qué procesos ocurren espontáneamente.

El segundo principio de la termodinámica establece qué procesos ocurren en la naturaleza.

Ejemplo de procesos que conservan la energía, pero sólo se observan en un sentido:

- Dados dos objetos en contacto, nunca se enfría el más frío para calentar al más caliente.
- Al desplazarse un objeto con rozamiento calienta el suelo, pero el suelo nunca se enfría para acelerarlo.

1. MÁQUINAS TÉRMICAS. REFRIGERADORES. BOMBAS

Máquina térmica: dispositivo que toma calor de una fuente y en un proceso cíclico transforma en trabajo una fracción de ese calor.

Características de las Máquinas Térmicas:

- Realizan procesos cíclicos
- Contienen una sustancia de trabajo
- Reciben calor, Q_c , de una fuente a alta temperatura T_c
- Transforman una fracción del calor recibido en trabajo
- Ceden una fracción de calor, Q_f , a un sumidero a baja temperatura T_f

Refrigerador: dispositivo que toma calor de un foco frío y lo cede a un foco caliente a costa de cierto trabajo .

Bomba de calor: dispositivo para calentar un foco que funciona como un refrigerador.

1. MÁQUINAS TÉRMICAS

Por el 1^{er} principio, en un proceso cíclico:

$$\Delta U = 0 = Q + W \Rightarrow W = -Q$$

Trabajo realizado por la máquina:

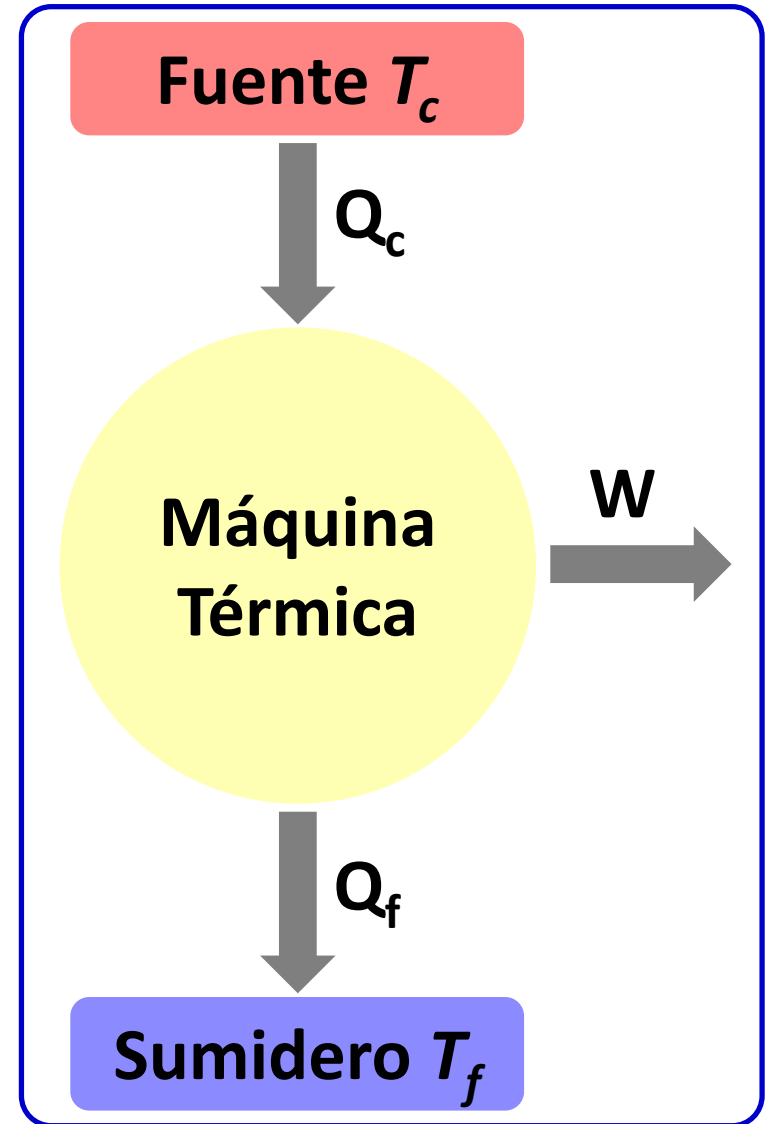
$$W = Q_c - Q_f$$

Calor absorbido Calor cedido

Rendimiento de la Máquina Térmica

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_c} = \frac{|Q_c| - |Q_f|}{|Q_c|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|}$$

Valores típicos de rendimiento: 20-50 %



1. REFRIGERADORES

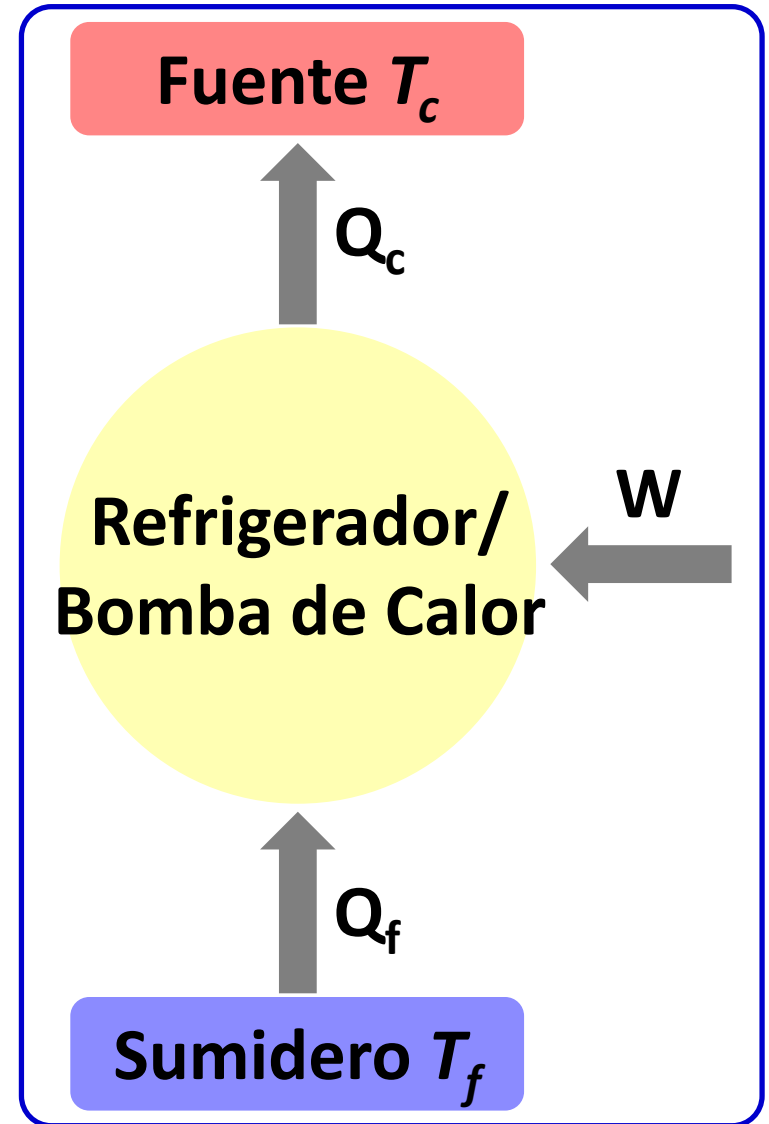
Un **refrigerador** extrae calor de un foco frío y lo cede a un foco caliente.

Dado que esta dirección de transferencia no es natural, se debe emplear cierta cantidad de trabajo.

Eficiencia: cociente entre el calor extraído Q_f y el trabajo consumido W :

$$\eta_R = \frac{|Q_f|}{W} = \frac{|Q_f|}{|Q_c| - |Q_f|}$$

Valores típicos de η : 5-6



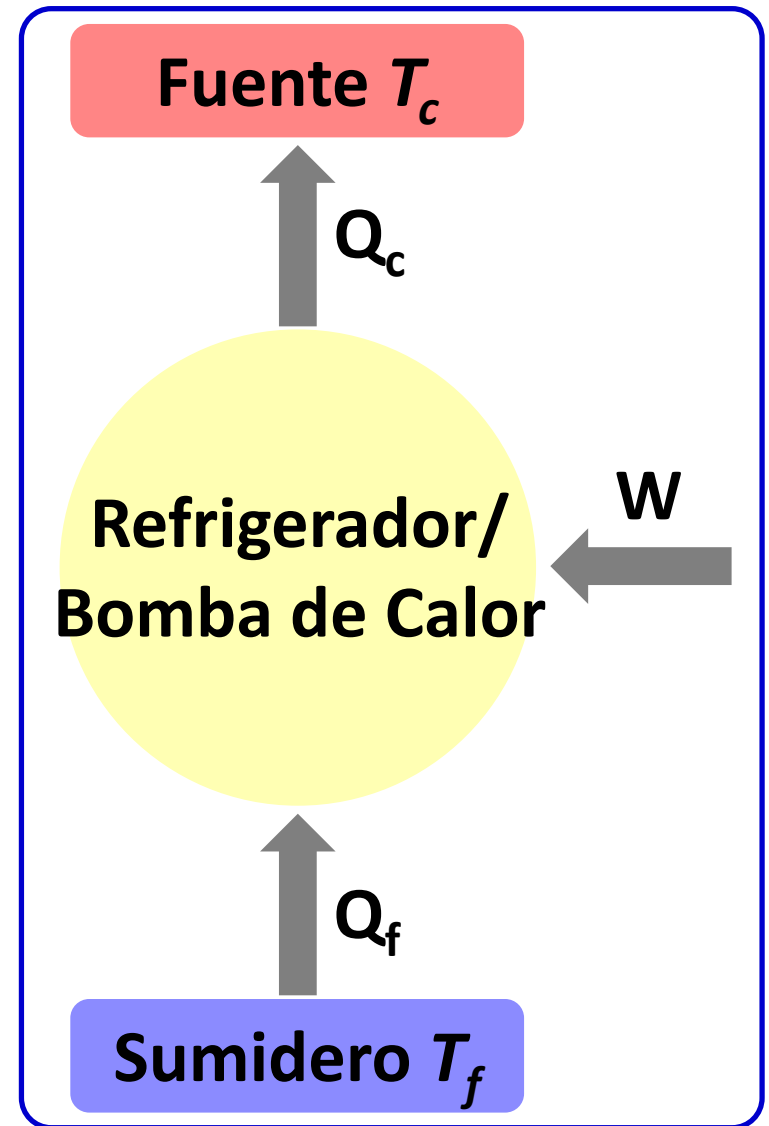
1. BOMBAS DE CALOR

La **bomba de calor** al igual que el refrigerador extrae calor de un foco frío y lo cede a un foco caliente a costa de un trabajo, pero el propósito es diferente:

- *Refrigerador*: extraer energía de un espacio frío (p ej frigorífico)
- *Bomba de calor*: aportar energía a un espacio caliente (p ej una casa)

Eficiencia: cociente entre el calor suministrado Q_c y el trabajo consumido W :

$$\eta_{BC} = \frac{|Q_c|}{W} = \frac{|Q_c|}{|Q_c| - |Q_f|} = 1 + \eta_R$$



2. SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA.

ENUNCIADO DE KELVIN-PLANCK

Una máquina térmica no puede, funcionando cíclicamente, absorber calor de un foco y transformarlo íntegramente en trabajo.

De otra forma:

Una máquina térmica requiere dos focos (absorbe Q de uno y cede al otro la energía que no se puede convertir en trabajo)

El rendimiento de cualquier máquina térmica ha de ser inferior a 1 (o al 100%) $\mathcal{E} < 1$

ENUNCIADO DE CLAUSIUS

No es posible un dispositivo que opere cíclicamente y cuyo único efecto sea transferir calor desde un objeto a otro de mayor temperatura.

De otra forma, la energía no se transfiere espontáneamente por calor de un objeto frío a otro más caliente, es necesario realizar un trabajo.

3. LA MÁQUINA DE CARNOT

Teorema de Carnot

Ninguna máquina térmica funcionando entre dos focos térmicos puede tener un rendimiento mayor que el de una máquina reversible operando entre esos mismos focos.

La razón por la que el proceso ha de ser reversible es que el trabajo neto realizado es máximo en este tipo de procesos.

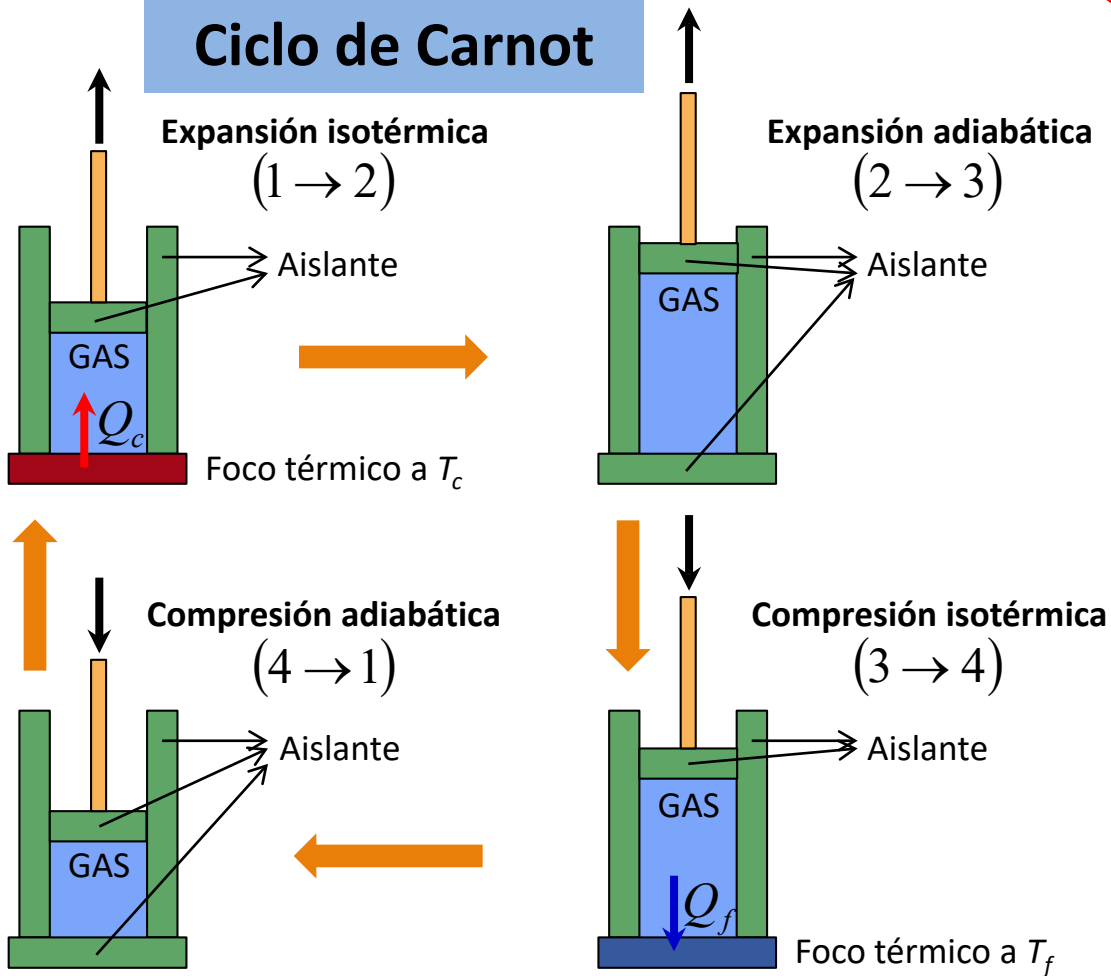
Condiciones
necesarias para
que un proceso
sea reversible

1. No haya fuerzas disipativas (rozamiento).
2. Transferencia de calor entre sistemas a igual temperatura (o diferencia infinitesimal de temperaturas) .
3. Procesos cuasiestáticos (el sistema ha de estar siempre en estados de equilibrio o infinitesimalmente cerca ellos).

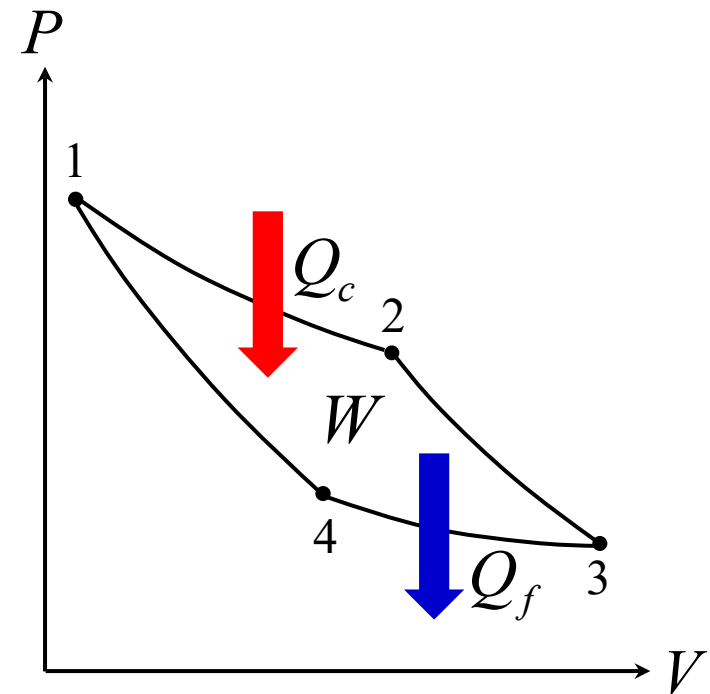
3. LA MÁQUINA DE CARNOT

Los procesos reales son irreversibles. Los procesos reversibles ideales se estudian porque dan el valor máximo posible para el rendimiento. Al completar un ciclo reversible, todo (sustancia de trabajo y resto del universo) vuelve a su situación inicial.

Ciclo de Carnot



Ciclo de Carnot



3. LA MÁQUINA DE CARNOT

EXPANSIÓN ISOTÉRMICA (1 → 2)

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1 = T_2 = T_c \\ P_1 V_1 = P_2 V_2 \\ \Delta U_{12} = 0 \\ Q_c = -W \end{array} \right\} \Rightarrow W_{12} = -nRT_c \ln \frac{V_2}{V_1} < 0$$

T es constante
 $W_{12} < 0$, el trabajo lo realiza el gas
 $Q_c > 0$, el calor es absorbido por el gas

EXPANSIÓN ADIABÁTICA (2 → 3)

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2 V_2^\gamma = P_3 V_3^\gamma \\ T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1} \\ T_2 = T_c, T_3 = T_f \\ \Delta U_{23} = W_{23} \end{array} \right\} \Rightarrow W_{23} = C_V (T_3 - T_2)$$

$Q = 0$
 $W_{23} < 0$, el trabajo lo realiza el gas
 $(T_3 > T_2)$

COMPRESIÓN ISOTÉRMICA (3 → 4)

$$\left\{ \begin{array}{l} T_3 = T_4 = T_f \\ P_3 V_3 = P_4 V_4 \\ \Delta U_{34} = 0 \\ Q_f = -W \end{array} \right\} \Rightarrow W_{34} = -nRT_f \ln \frac{V_4}{V_3} > 0$$

T es constante
 $W_{34} > 0$, trabajo realizado sobre el gas
 $Q_f < 0$, el calor es cedido por el gas

COMPRESIÓN ADIABÁTICA (4 → 1)

$$\left\{ \begin{array}{l} P_4 V_4^\gamma = P_1 V_1^\gamma \\ T_4 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1} \\ T_4 = T_f, T_1 = T_c \\ \Delta U_{41} = W_{41} \end{array} \right\} \Rightarrow W_{41} = C_V (T_1 - T_4)$$

$Q = 0$
 $W_{41} > 0$, trabajo realizado sobre el gas
 $(T_1 > T_4)$

3. LA MÁQUINA DE CARNOT

Trabajo neto realizado durante un ciclo:

$$W_{\text{neto}} = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41} = -nRT_c \ln \frac{V_2}{V_1} - nRT_c \ln \frac{V_4}{V_3} < 0$$

El gas realiza un trabajo neto puesto que es negativo.

Rendimiento del ciclo:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_c} = \frac{|Q_c| - |Q_f|}{|Q_c|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|} = 1 - \frac{\left| nRT_f \ln \frac{V_4}{V_3} \right|}{\left| nRT_c \ln \frac{V_2}{V_1} \right|} = 1 - \frac{nRT_f \ln \frac{V_3}{V_4}}{nRT_c \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\begin{cases} Q_c = nRT_c \ln \frac{V_2}{V_1} \\ Q_f = nRT_f \ln \frac{V_4}{V_3} \end{cases}$$

Además: $\begin{cases} T_c V_2^{\gamma-1} = T_f V_3^{\gamma-1} \\ T_f V_4^{\gamma-1} = T_c V_1^{\gamma-1} \end{cases} \Rightarrow \frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \varepsilon = 1 - \frac{T_f}{T_c}$

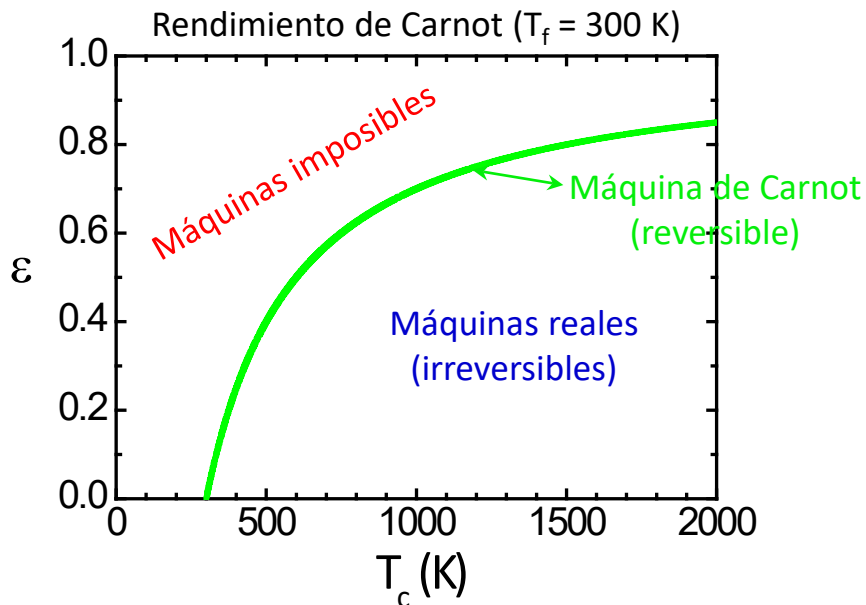
El rendimiento de una máquina de Carnot es independiente de la sustancia de trabajo y depende solamente de la temperatura de los dos focos.

3. LA MÁQUINA DE CARNOT

Cualquier máquina reversible (máquina de Carnot) entre las mismas dos temperaturas, T_c y T_f , tendrá siempre el mismo rendimiento.

$$\varepsilon = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

Calidad de la energía



La energía en forma de trabajo es más valiosa que la energía en forma de calor: el 100% del trabajo se puede convertir en calor, pero es imposible convertir el 100% del calor en trabajo (en un proceso cíclico).

Cuanto mayor sea la temperatura del foco caliente en una máquina de Carnot, mayor será el rendimiento

3. LA MÁQUINA DE CARNOT

Ciclo de Carnot inverso:

El ciclo de Carnot se puede invertir al ser un proceso reversible. En ese caso se convierte en un refrigerador o bomba de calor de Carnot. La eficiencias son:

$$\text{Modo refrigerador: } \eta_R = \frac{|Q_f|}{|Q_c| - |Q_f|} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{1}{\frac{T_c}{T_f} - 1}$$

$$\text{Modo bomba de calor: } \eta_{BC} = \frac{|Q_c|}{|Q_c| - |Q_f|} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{1}{1 - \frac{T_f}{T_c}}$$

El refrigerador de Carnot tiene la eficiencia más alta posible.

3. LA MÁQUINA DE CARNOT

Escala termodinámica de temperaturas

Una máquina de Carnot sirve para definir la *relación entre dos temperaturas*.

- 
1. Elegir un punto fijo (pto. Triple $T_3 = 273.16$ K para que coincida con la escala del gas ideal).
 2. Máquina que opere entre las dos temperaturas T_3 y T_{sistema} .
 3. Medir los calores cedido (Q_c) y absorbido (Q_f) por los focos
 4. La *temperatura termodinámica* es:

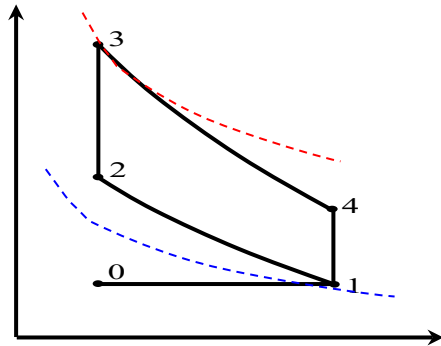
$$\frac{T_{\text{sistema}}}{T_3} = \frac{Q_{\text{sistema}}}{Q_3}$$

Es una *escala absoluta de temperaturas*: 0 K = ausencia de movimiento térmico.

4. CICLOS COMUNES

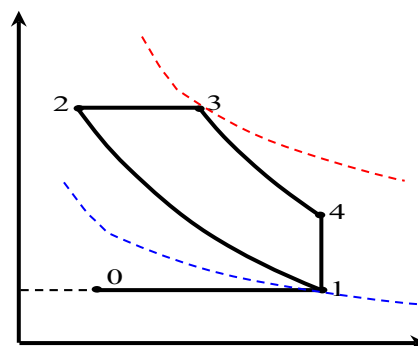
Ciclo Otto

2 isócoras + 2 adiab.
motor de gasolina



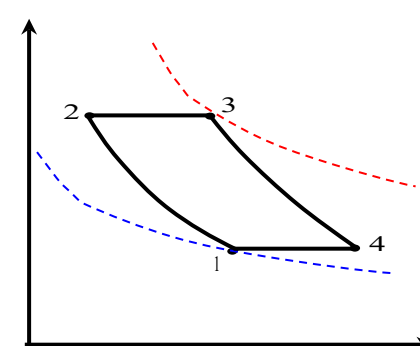
Ciclo Diesel

isócora + isób. + 2 adiab.
motor de gasóleo



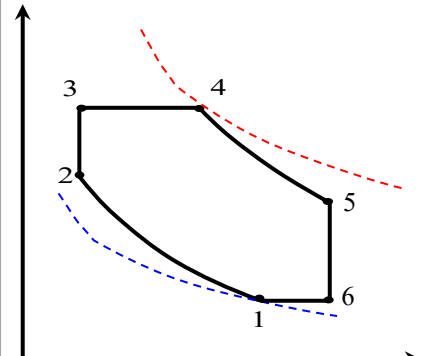
Ciclo Brayton

2 isóbaras + 2 adiab.
turbina de gas



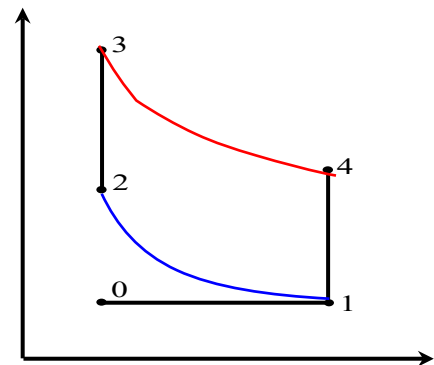
Ciclo Atkinson

2 isóc. + 2 isób. + 2 adiab.
motor híbrido



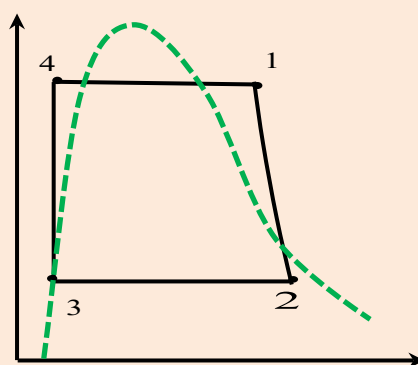
Ciclo Stirling

2 isócoras + 2 isotermas
motor Stirling



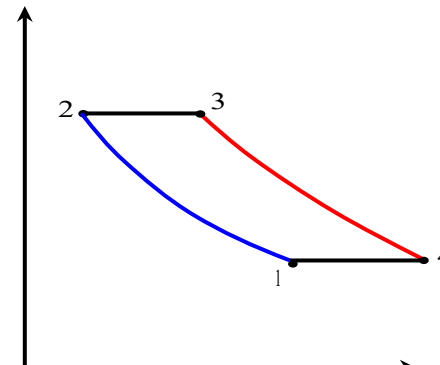
Ciclo Rankine

2 isób. + 2 adiab.
centrales térmicas



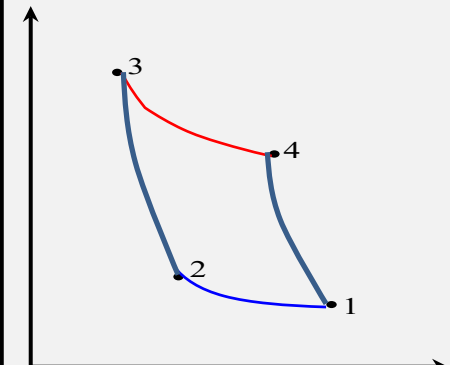
Ciclo Ericsson

2 isóbaras + 2 isotermas
motor comb. externa



Ciclo Carnot

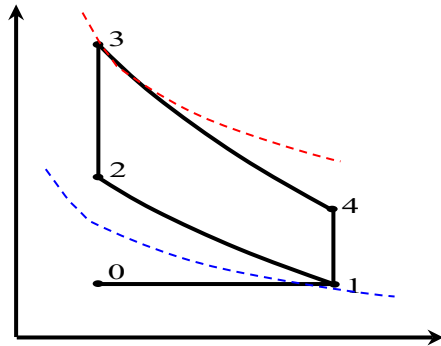
2 adiab. + 2 isotermas
motor ideal



4. CICLOS COMUNES

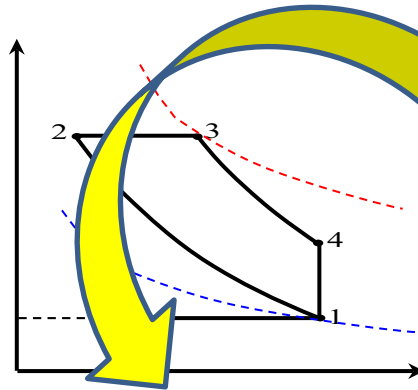
Ciclo Otto

2 isócoras + 2 adiab.
motor de gasolina



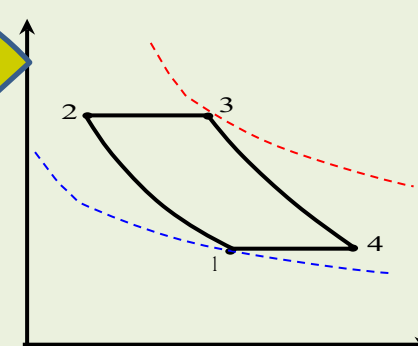
Ciclo Diesel

isócora + isób. + 2 adiab.
motor de gasóleo



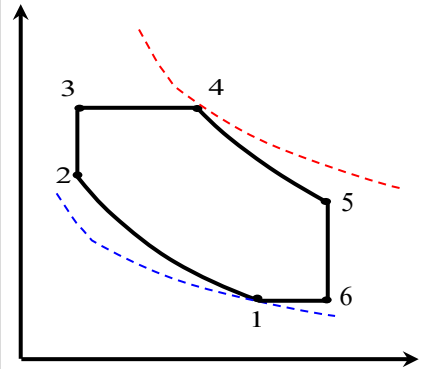
Ciclo Brayton

2 isóbaras + 2 adiab.
turbina de gas



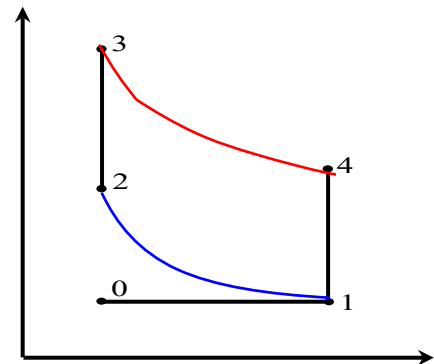
Ciclo Atkinson

2 isóc. + 2 isób. + 2 adiab.
motor híbrido



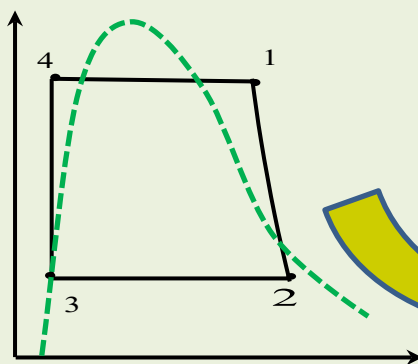
Ciclo Stirling

2 isócoras + 2 isotermas
motor Stirling



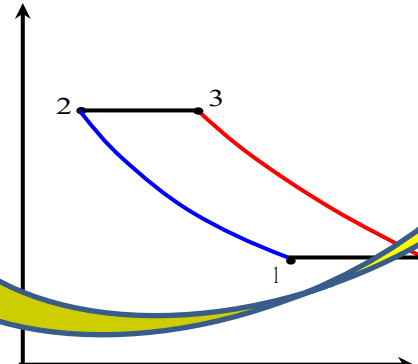
Ciclo Rankine

2 isób. + 2 adiab.
centrales térmicas



Ciclo Ericsson

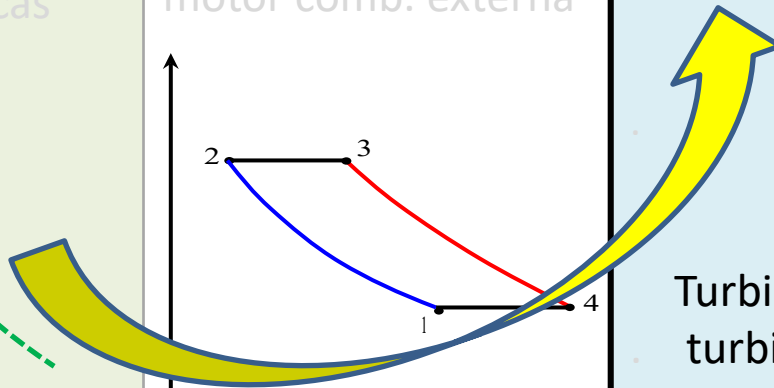
2 isóbaras + 2 isotermas
motor comb. externa



Ciclo Combinado

Brayton +
Rankine

Turbina de gas +
turbina vapor



4. CICLOS COMUNES

Ciclo de Otto: Es un modelo idealizado de máquina de combustión interna al que se aproxima el funcionamiento de los motores de gasolina.

Para cada ciclo el pistón se mueve arriba y abajo dos veces (motor de 4 tiempos).

Ciclo de 6 pasos

Fase 0 → 1: **Admisión** de gases y combustible.

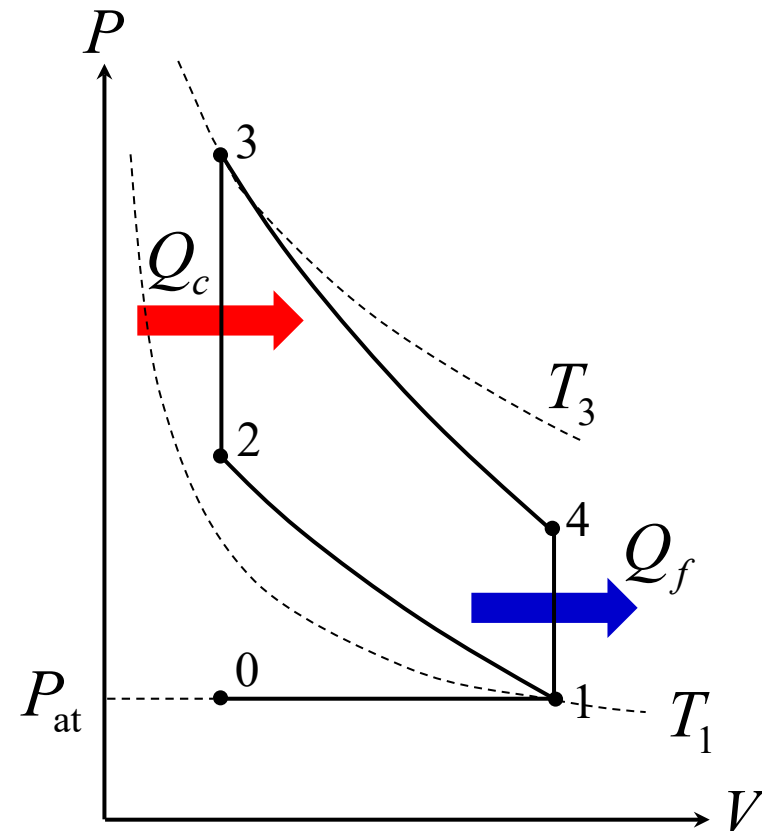
Fase 1 → 2: **Compresión** adiabática.

Fase 2 → 3: Combustión isócara.

Fase 3 → 4: Expansión adiabática (**potencia**).

Fase 4 → 1: Proceso isócoro.

Fase 1 → 0: Expulsión de gases residuales (**escape**).



4. CICLOS COMUNES

Ejercicio

Determinar el rendimiento del ciclo de Otto y expresar el resultado en función del cociente de volúmenes o factor de compresión $r=V_1/V_2$.

$$\varepsilon = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|} \Rightarrow \varepsilon = 1 - \frac{|C_V(T_1 - T_4)|}{|C_V(T_3 - T_2)|} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\begin{cases} Q_f = Q_{41} = C_V(T_1 - T_4) \\ Q_c = Q_{23} = C_V(T_3 - T_2) \end{cases}$$

$$\begin{array}{l} \text{Procesos adiabáticos} \\ TV^{\gamma-1} = \text{cte} \Rightarrow \end{array} \begin{cases} T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \frac{V_1^{\gamma-1}}{V_2^{\gamma-1}} = T_1 r^{\gamma-1} \\ T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1} \Rightarrow T_3 = T_4 \frac{V_4^{\gamma-1}}{V_3^{\gamma-1}} = T_4 r^{\gamma-1} \end{cases}$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_4 r^{\gamma-1} - T_1 r^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} = 1 - \frac{T_4}{T_3} < \varepsilon_{\text{Carnot}}$$

4. CICLOS COMUNES

Ciclo Diesel: Es un modelo idealizado de máquina de combustión interna al que se aproxima el funcionamiento de los motores diesel.

Para cada ciclo el pistón se mueve arriba y abajo dos veces (motor de 4 tiempos).

Ciclo de 6 pasos

Fase 0 → 1: **Admisión** de gases.

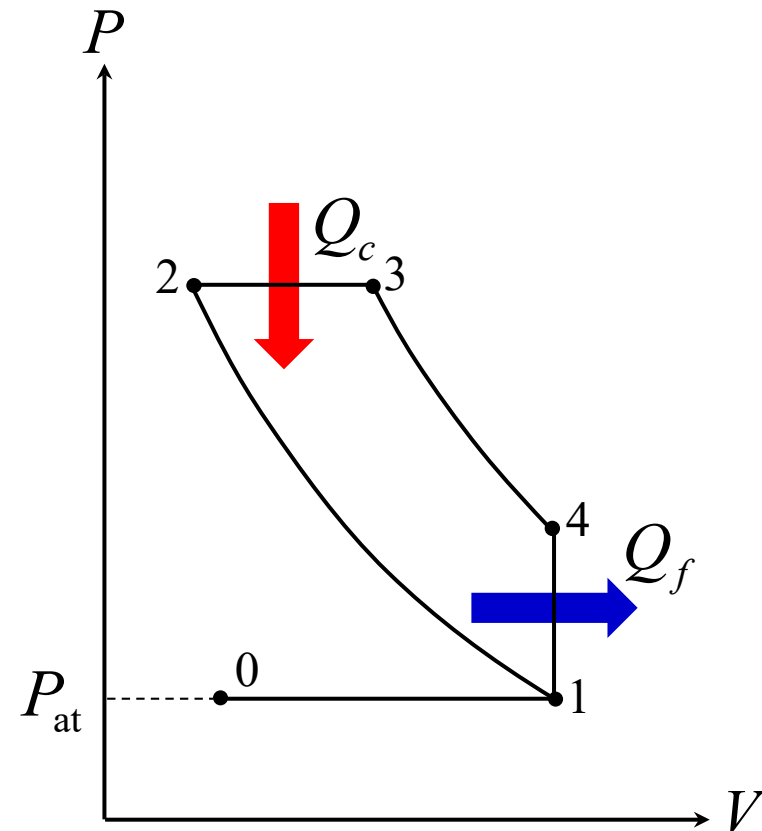
Fase 1 → 2: **Compresión** adiabática.

Fase 2 → 3: Expansión isóbara (**combustión**).

Fase 3 → 4: Expansión adiabática (**potencia**).

Fase 4 → 1: Proceso isócoro.

Fase 1 → 0: Expulsión de gases residuales (**escape**).



4. CICLOS COMUNES

Ciclo Rankine Es un modelo idealizado de máquina de combustión externa al que se aproxima el funcionamiento de las centrales térmicas.

Ciclo de 4 pasos

Fase 1 → 2: Expansión adiabática

Fase 2 → 3: Refrigeración isóbara

Fase 3 → 4: Compresión adiabática

Fase 4 → 1: Calentamiento isóbaro

