

# Máquinas Eléctricas Aparamenta Eléctrica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

<http://oscarperpinan.github.io>

# Fundamentos de Electromagnetismo

Máquinas Eléctricas

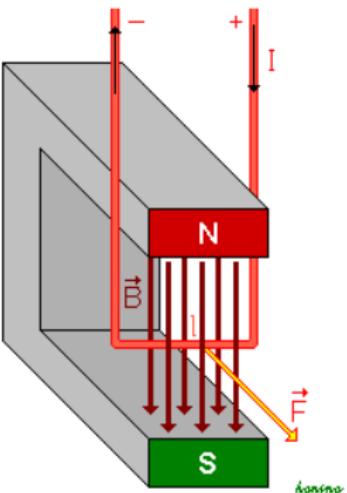
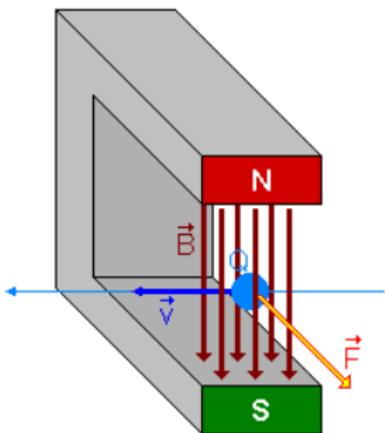
Aparmenta eléctrica

Recursos

# Fuerza Magnética

Un campo magnético ejerce una fuerza sobre una carga en movimiento (o corriente eléctrica en un conductor) \*.

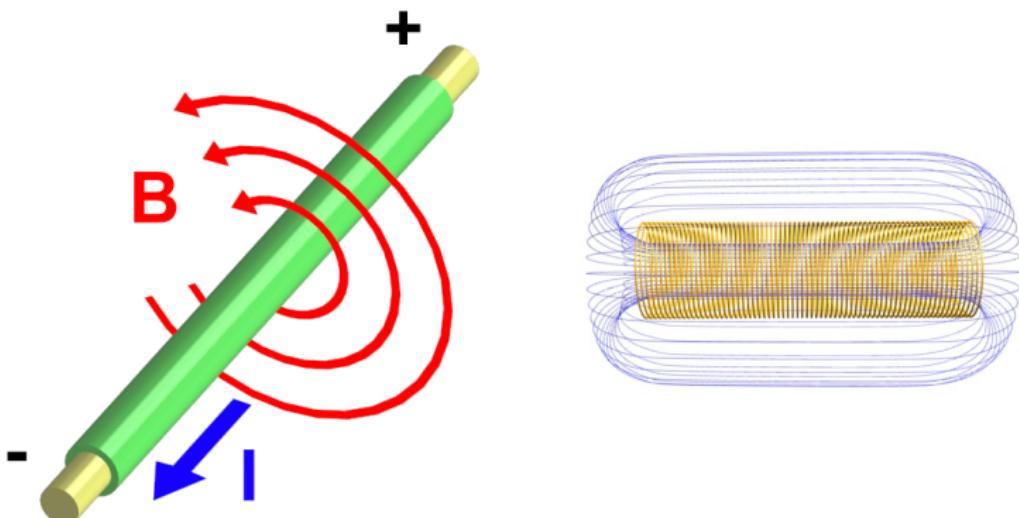
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



\*Fuerza de Lorentz

# Campo Magnético creado por un Conductor

Una corriente eléctrica crea un campo magnético en torno al conductor<sup>†</sup>.



<sup>†</sup>Ley de Biot-Savart (y Oersted). Ley de Ampere.

# Interacción entre Conductores

Dos conductores se repelen o atraen según el sentido de sus corrientes.

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

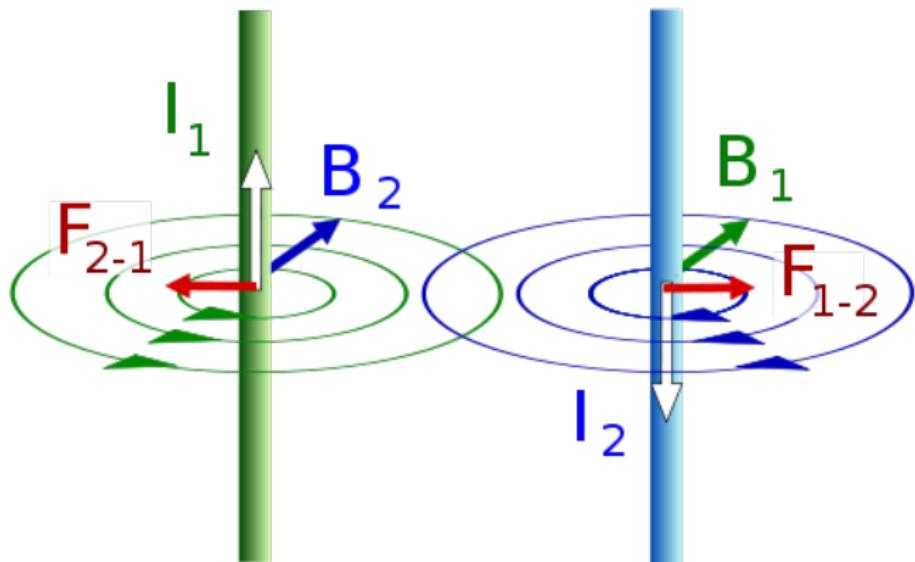
Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Recursos



Vídeo: Repulsión entre barras de Alta Tensión

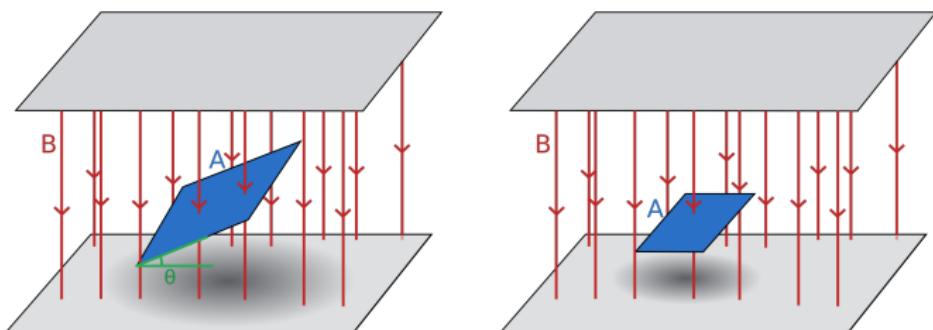
# Flujo Magnético

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

El flujo magnético es la cantidad de líneas de fuerza magnética que atraviesan una superficie.

Depende de la densidad de campo,  $B$ , el área de la superficie,  $A$ , y la posición relativa entre ambos,  $\theta$ .

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$



Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

# Ley de Faraday

- ▶ Cuando el **flujo magnético** que atraviesa una espira es **variable** aparece **tensión inducida**.

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d(B \cdot S \cdot \cos \theta)}{dt}$$

- ▶ El flujo es variable cuando:
  - ▶ La **espira está en movimiento** ( $\theta$ )
  - ▶ El **campo magnético  $B$  es variable**,
  - ▶ Ambas situaciones coinciden.
- ▶ La tensión inducida es directamente proporcional a la rapidez de la variación.

Fundamentos de Electromagnetismo

Máquinas Eléctricas

Aparmenta eléctrica

Recursos

# Fundamentos de Electromagnetismo

## Máquinas Eléctricas

### Introducción

Motor

Generador

Transformador

## Aparatología eléctrica

## Recursos

# Máquina Eléctrica

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Una máquina eléctrica realiza una conversión entre dos formas de energía, una de ellas eléctrica:

- ▶ **Motor:** transforma la energía eléctrica en energía mecánica.
- ▶ **Generador:** transforma la energía mecánica en energía eléctrica.
- ▶ **Transformador:** transforma las condiciones (tensión y corriente) de la energía eléctrica de entrada en otras diferentes de salida.

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Introducción

Motor

Generador

Transformador

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

# Partes de una Máquina

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

- ▶ **Estátor:** parte fija de forma cilíndrica.
- ▶ **Rótor:** parte giratoria situada en la cavidad del estátor.
- ▶ **Entrehierro:** espacio de aire que separa el estátor del rótor.



La transformación de energía eléctrica y mecánica se produce a través del campo magnético del entrehierro, lugar del acoplamiento energético entre estátor y rótor.

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Introducción

Motor

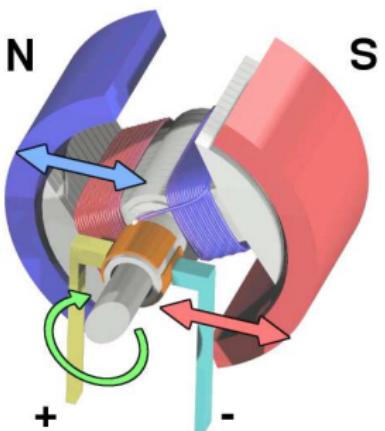
Generador

Transformador

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

# Inductor e Inducido



Al elemento que emite el campo magnético se le denomina **inductor** y aquel que es atravesado por este flujo es el **inducido**.

# Fundamentos de Electromagnetismo

## Máquinas Eléctricas

Introducción

**Motor**

Generador

Transformador

## Aparatología eléctrica

## Recursos

# Fundamento

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Introducción

Motor

Generador

Transformador

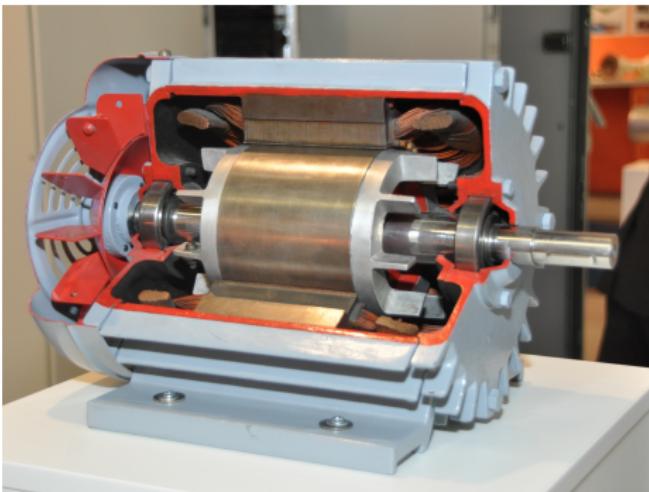
Aparamenta  
eléctrica

Recursos

- ▶ La energía eléctrica de **entrada** produce una **corriente eléctrica** que genera un **campo magnético variable**.
- ▶ Este campo puede **interactuar** con otro **campo magnético existente** o con **otro conductor**, y produce movimiento.
- ▶ Más habituales:
  - ▶ *Inducción*
  - ▶ *Corriente Continua*.

# Motor asíncrono o de inducción

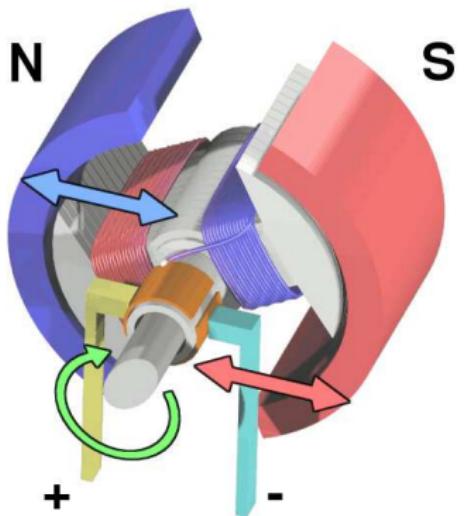
- ▶ **Estator-Inductor** alimentado por una **corriente trifásica alterna** (*campo giratorio*)
- ▶ **Rotor-Inducido** constituido por espiras cortocircuitadas (**jaula de ardilla**).
- ▶ Rotor gira a menor velocidad que el campo.



Vídeos: Motor de inducción artesanal (1) (2)

# Motor DC

- ▶ **Estator-Inductor** genera **campo constante** (imanes permanentes o alimentado por corriente DC).
- ▶ **Rotor-Inducido** alimentado con **corriente DC** a través de un colector de delgas, o sin escobillas.



Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagn-  
etismo

Máquinas  
Eléctricas

Introducción

Motor

Generador

Transformador

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

# Fundamentos de Electromagnetismo

## Máquinas Eléctricas

Introducción

Motor

**Generador**

Transformador

## Aparatología eléctrica

## Recursos

# Fundamento

- ▶ Existe un **campo magnético en el interior de la máquina** (p. ej. imanes permanentes)
- ▶ La **energía mecánica de entrada** aporta **movimiento a una bobina** en el seno del campo.
- ▶ La **interacción** entre el campo y las espiras de la bobina producen una **tensión inducida**.
- ▶ Más habituales:
  - ▶ *Síncrono*
  - ▶ *Asíncrono*
  - ▶ *Corriente Continua.*

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas  
Introducción  
Motor  
Generador  
Transformador

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

# Generador Síncrono o Alternador

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagn-  
etismo

Máquinas  
Eléctricas  
Introducción  
Motor  
Generador  
Transformador

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

- ▶ **Rotor-inductor** alimentado por **corriente continua** mediante anillos.
- ▶ **Estator-inducido** constituido por un **devanado trifásico**.
- ▶ Velocidad de giro constante, sincronizada con la frecuencia de red.
- ▶ Empleado en turbinas hidráulicas y térmicas.

# Generador Asíncrono

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

- ▶ **Estator** alimentado por una corriente trifásica (*campo giratorio*).
- ▶ **Rotor** constituido por espiras cortocircuitadas (**jaula de ardilla**).
- ▶ Si el rotor gira a mayor velocidad que el campo del estator, se induce corriente «de vuelta» en el estator.
- ▶ Empleado en turbinas eólicas.



Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas  
Introducción  
Motor  
Generador  
Transformador

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

# Generador DC

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas  
Introducción  
Motor  
Generador  
Transformador

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

- ▶ **Estator-Inductor** genera campo constante (alimentado por corriente DC o imanes permanentes).
- ▶ El movimiento aplicado en el **Rotor-Inducido** en el seno del campo produce una **tensión inducida**.
- ▶ El colector de delgas transforma alterna en continua.
- ▶ Empleado en máquinas eólicas de baja potencia.

# Fundamentos de Electromagnetismo

## Máquinas Eléctricas

Introducción

Motor

Generador

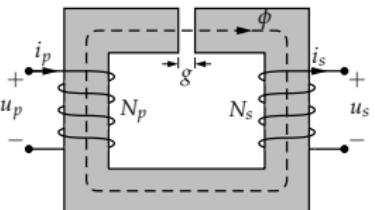
Transformador

## Aparatura eléctrica

## Recursos

# Fundamento

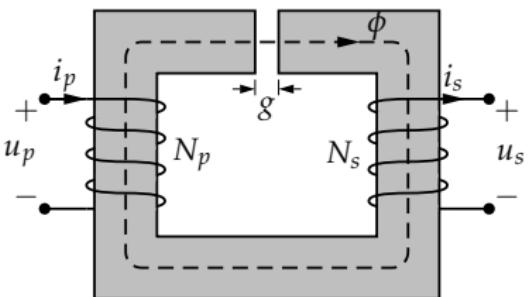
- ▶ La energía eléctrica de entrada alimenta una bobina con un número de espiras  $N_p$ .
- ▶ El campo magnético generado por esta bobina circula hasta una bobina de salida, con  $N_s$  espiras.
- ▶ El diferente número de espiras provoca valores de tensión y corriente diferente en la entrada y salida.



# Relación de Transformación

$$N_s \cdot I_s = N_p \cdot I_p$$

$$\frac{V_p}{N_p} = \frac{V_s}{N_s}$$



- ▶ Ejemplo: un transformador elevador sube tensión ( $V_s > V_p$ ) y reduce corriente ( $I_s < I_p$ ):  $N_p/N_s < 1$ , más vueltas en el secundario que en el primario.

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas  
Introducción  
Motor  
Generador  
Transformador

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

Fundamentos de Electromagnetismo

Máquinas Eléctricas

Aparmenta eléctrica

Recursos

Fundamentos de Electromagnetismo

Máquinas Eléctricas

Aparatología eléctrica

Sistema de Suministro Eléctrico

Definición y Funciones

Tipos de Dispositivos

Recursos

# Sistema de suministro eléctrico

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

Un sistema de suministro eléctrico tiene como objetivo producir, transportar y distribuir energía eléctrica a los lugares de consumo, con el mínimo coste posible en condiciones de fiabilidad, calidad y seguridad.

# Componentes del Sistema de Suministro Eléctrico

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

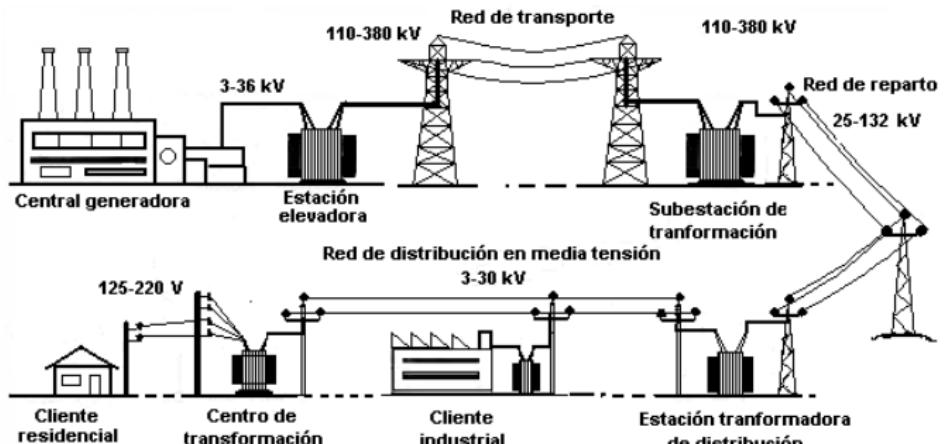
Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos



- ▶ Generadores
- ▶ Redes de transporte
- ▶ Redes de distribución
- ▶ Equipos de acondicionamiento, transformación y protección (y en algunos casos, almacenamiento)
- ▶ Puntos de consumo

# Fundamentos de Electromagnetismo

## Máquinas Eléctricas

### Aparatología eléctrica

Sistema de Suministro Eléctrico

Definición y Funciones

Tipos de Dispositivos

## Recursos

## Definición

Equipo, aparato o material previsto para ser conectado a un circuito eléctrico con el fin de asegurar una o varias de las siguientes funciones:

- ▶ **Protección**
- ▶ **Aislamiento**
- ▶ **Control y Conexión.**

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

# Protección

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

- ▶ Protección de los **elementos de los circuitos** (cables, aparamenta) contra las tensiones térmicas y mecánicas de las corrientes de cortocircuito.
- ▶ Protección de las **personas** en caso de producirse un defecto de aislamiento.
- ▶ Protección de los **dispositivos y aparatos suministrados** (ej. motores).

# Aislamiento

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

Separar de forma verificable un circuito, un aparato o un elemento de la planta del resto de un sistema que se encuentra en tensión, con el fin de que el personal pueda realizar con total seguridad trabajos en la parte aislada.

Modificar un sistema cargado para:

- ▶ Control funcional (condiciones normales de servicio, conmutación rutinaria).
- ▶ Comutación de emergencia (ej. seta de parada)
- ▶ Operaciones de mantenimiento del sistema de alimentación.

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones

Tipos de Dispositivos

Recursos

# Arco Eléctrico

- ▶ Descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial.



- ▶ Luminosidad muy intensa y un gran desprendimiento de calor (fenómeno destructivo)

Vídeo: [Apertura en Alta Tensión](#)

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

# Poder de corte y cierre

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

**Poder de corte:** intensidad de corriente que un dispositivo es capaz de cortar bajo una tensión de restablecimiento determinada.

**Poder de cierre:** intensidad de corriente que un aparato es capaz de establecer bajo una tensión dada.

Fundamentos de Electromagnetismo

Máquinas Eléctricas

Aparatología eléctrica

Sistema de Suministro Eléctrico

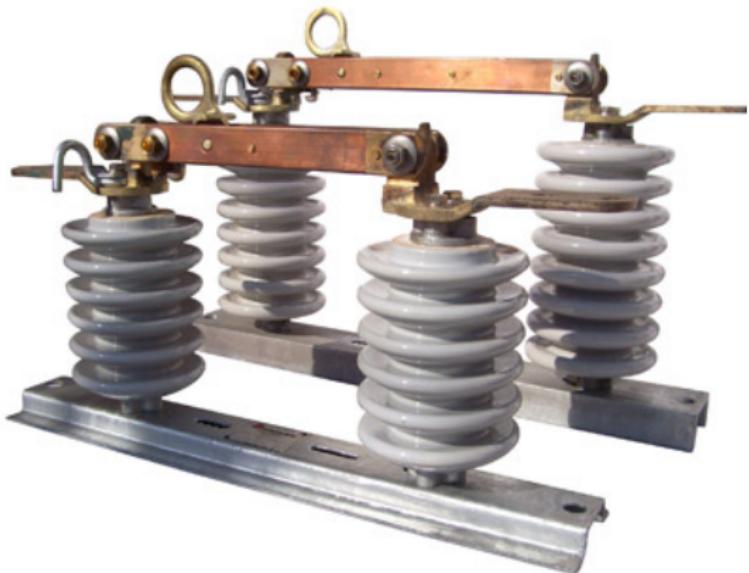
Definición y Funciones

Tipos de Dispositivos

Recursos

# Seccionador

- ▶ Dispositivo de dos posiciones (abierto/cerrado) enclavable y accionado manualmente que proporciona un aislamiento seguro de un circuito cuando está enclavado en la posición abierta.
- ▶ Un seccionador no está diseñado para abrir o cerrar el paso de la corriente.



Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

# Interruptor de carga

- Dispositivo no automático (**accionamiento manual**) de dos posiciones (abierto/cerrado).
- Se utiliza para cerrar y abrir circuitos cargados en condiciones normales de circuitos sin defectos (no ofrece protección)



Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

# Contactor

- ▶ Dispositivo de conmutación accionado por solenoide que por lo general se mantiene cerrado mediante una corriente (reducida).
- ▶ Se suelen controlar de forma remota por medio de pulsadores de activación/desactivación.



Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

# Fusible

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

- ▶ Se funde por Efecto Joule cuando la intensidad de corriente supera un umbral, por un cortocircuito o un exceso de carga.
- ▶ Es capaz de abrir un circuito en carga.



Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

# Interruptor magnetotérmico

- ▶ Dispositivo **automático** capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos.
- ▶ Se emplea para **proteger contra sobreintensidades** (*efecto magnético*) y **sobrecargas** (*efecto Joule*).



Vídeo: [Apertura de un PIA](#)

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

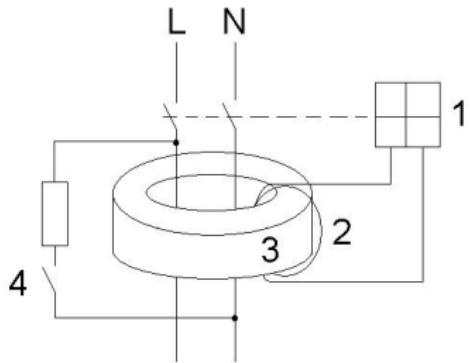
Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

# Interruptor diferencial

- ▶ Dispositivo **automático** con poder de corte ante una corriente diferencial residual (defecto de aislamiento).
- ▶ Se emplea para la **protección de las personas**.
- ▶ Para la detección emplea un transformador toroidal que abraza a todos los conductores.



Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagnetismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Sistema de Suministro  
Eléctrico

Definición y Funciones  
Tipos de Dispositivos

Recursos

Fundamentos de Electromagnetismo

Máquinas Eléctricas

Aparmenta eléctrica

Recursos

# Bibliografía

Máquinas  
Eléctricas  
Aparamenta  
Eléctrica

Oscar Perpiñán  
Lamigueiro

Fundamentos de  
Electromagn-  
etismo

Máquinas  
Eléctricas

Aparamenta  
eléctrica

Recursos

- **Fraile Mora, J.: *Máquinas Eléctricas*.** Ed. Mc. Graw Hill.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión
- Guía de diseño de instalaciones eléctricas (Schneider Electric)
- Equipos industriales
- Base de Precios PREOC