

UF2

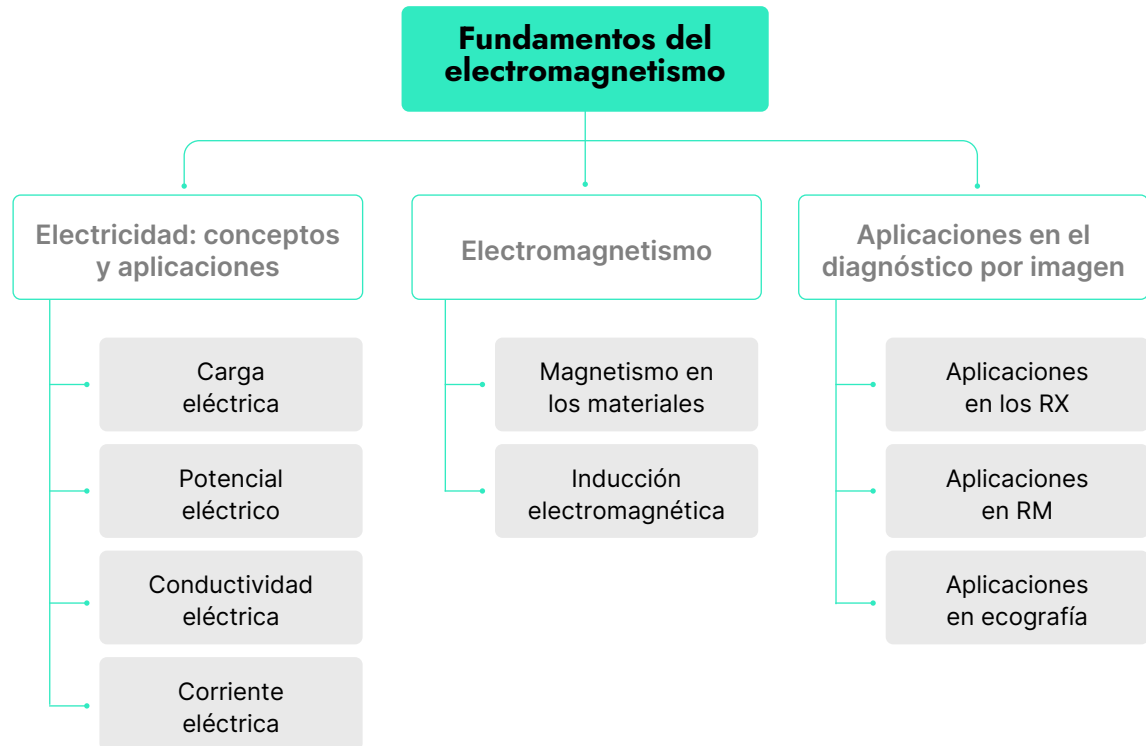
Fundamentos del electromagnetismo

Fundamentos físicos y equipos

ÍNDICE

Mapa conceptual	03
1. La electricidad. Conceptos y aplicaciones	04
1.1. La carga eléctrica	04
1.2. La corriente eléctrica	05
1.3. Potencial eléctrico.....	07
1.4. Conductividad eléctrica.....	07
2. El electromagnetismo	09
2.1. El magnetismo en los materiales	10
A. Magnetismo débil.....	10
B. Magnetismo intenso o ferromagnetismo.....	10
2.2. Inducción electromagnética, autoinducción e inducción mutua.....	11
A. Inducción electromagnética.....	11
B. Autoinducción.....	12
C. Inducción mutua	12
3. Aplicaciones del electromagnetismo en el diagnóstico por imagen... 14	
3.1. Aplicaciones del electromagnetismo en los equipos que usan rayos X	14
A. Transformadores.....	14
B. Rectificadores	15
3.2. Aplicaciones en los equipos de resonancia magnética y ecografía.....	16
A. Equipos de resonancia magnética	16
B. Equipos de ecografía	17

Mapa conceptual



01 La electricidad. Conceptos y aplicaciones

La electricidad proporciona una energía imprescindible en nuestras vidas, esencialmente a través de la corriente eléctrica, que supone el desplazamiento de los electrones a través de un conductor. El fenómeno eléctrico asocia una serie de conceptos que son importantes para entender su naturaleza y la de algunos procesos que se producen durante el funcionamiento de los equipos de diagnóstico por imagen y radioterapia.

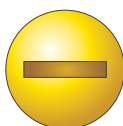
1.1. La carga eléctrica

DEFINICIÓN

La **carga** es una propiedad intrínseca de la materia y se manifiesta mediante fuerzas de atracción y repulsión.

Existen dos **clases de cargas eléctricas**: positivas y negativas. Las unidades mínimas en las que estas cargas pueden existir son el protón (+) y el electrón (-), con valores de carga de $1,6 \cdot 10^{-19}$ culombios (C) en ambos casos. Para alcanzar una carga de 1C se necesitan $6,25 \cdot 10^{18}$ electrones, es decir, unos seis trillones de electrones.

Carga de $1,6 \cdot 10^{-19}$ culombios (C)



$1C = 6,25 \cdot 10^{18}$ electrones

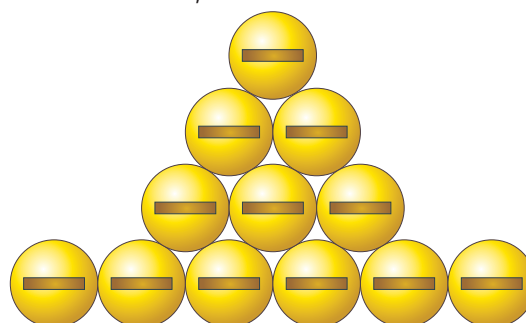


Fig. 1. Partículas con su carga individual y su relación con la unidad de medida (C).

Las cargas eléctricas ejercen fuerzas entre sí; se repelen si son del mismo signo y si son de signos opuestos se atraen. La magnitud de las fuerzas mutuas entre las cargas depende del valor individual de cada una de ellas, de la inversa al cuadrado de la distancia que las separa y del medio en el que están estas cargas. Un cuerpo cargado eléctricamente genera a su alrededor un campo eléctrico, que puede inducir carga a otro cuerpo próximo a él, de forma que la carga total de un sistema siempre se conserva.

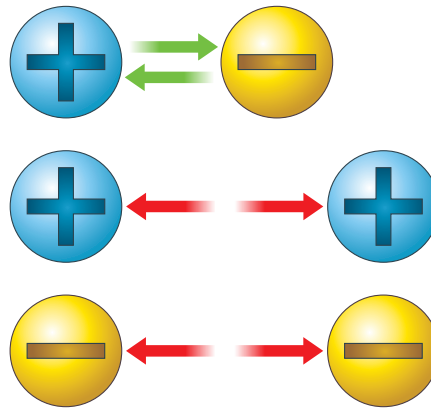


Fig. 2. Fuerzas atractivas y repulsivas entre las cargas.

1.2. La corriente eléctrica

DEFINICIÓN

La **corriente eléctrica** representa el flujo de cargas a través de un material.

Generalmente, son los electrones (-) de las capas exteriores de los átomos o moléculas los que se desplazan, puesto que los protones (+) están en el núcleo atómico. La cantidad de cargas que se movilizan por unidad de tiempo determina la intensidad de la corriente (I) y se expresa en amperios, siendo un amperio (A) igual a 1 culombio por segundo (C/s).

IMPORTANTE

La **intensidad de la corriente** (en miliamperios, mA) o la **corriente instantánea** (en miliamperios por segundo, mAs) serán factores muy importantes que debe controlar el técnico durante la generación de los rayos X en los equipos de diagnóstico por imagen.

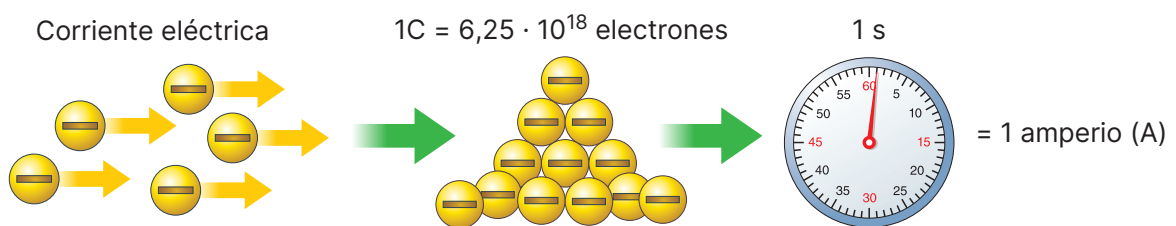


Fig. 3. Corriente eléctrica e intensidad de la corriente.

La corriente eléctrica puede clasificarse en dos categorías en función de si el sentido del flujo de electrones se mantiene de manera continua en un solo sentido o varía en función del tiempo; así se definen las corrientes continua y alterna.

Corriente continua o corriente directa (DC)

Es la corriente cuyo flujo de cargas no cambia de sentido con el tiempo. No debe identificarse necesariamente corriente continua con corriente constante.

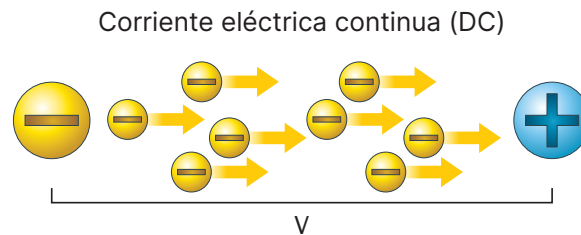


Fig. 4. Representación de la corriente continua o directa.

Corriente alterna (AC)

Es aquella en la cual el flujo de los electrones y la tensión varían cíclicamente. Esta corriente es la que generan las centrales eléctricas y se usa en los hogares. En ella, la polaridad, y por tanto el sentido del desplazamiento de los electrones, varía con el tiempo, con una frecuencia de 50-60 veces por segundo (50-60 Hz en función del país).

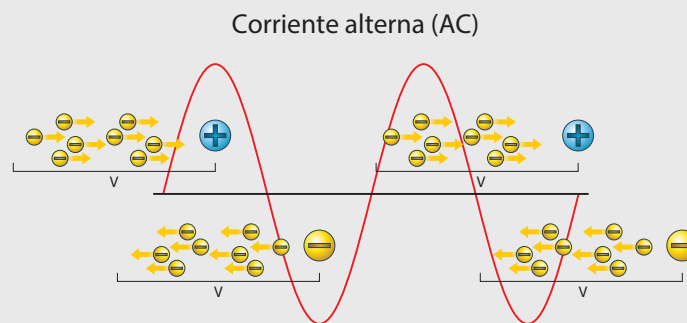


Fig. 5. Representación de la corriente alterna.

Esquema 1. Tipos de corriente eléctrica.

La corriente alterna es más eficiente para su transporte desde la planta de generación hasta el punto de uso y permite una transformación sencilla en corriente continua, por lo que es el sistema usado para la distribución de electricidad a grandes distancias. Los dispositivos que se conectan a la red y requieren corriente continua para su funcionamiento, como, por ejemplo, los tubos de rayos X, cuentan con rectificadores, que convierten la corriente alterna en continua, y transformadores, que elevan la tensión desde los 220 V de la red hasta los 120 kV que puede requerir una radiografía de tórax.

1.3. Potencial eléctrico

El **potencial eléctrico** hace referencia a la energía potencial que pueden adquirir las partículas cargadas al ser movilizadas entre dos puntos de referencia.

La diferencia de energía entre estos dos puntos se denomina diferencia de potencial, en ocasiones también voltaje o tensión, y se mide en voltios (V). El voltaje es otro de los parámetros fundamentales que debe controlar el técnico de imagen, pues del valor de este dependerá la energía de los propios rayos.

El potencial eléctrico se genera mediante fenómenos químicos, cuando se emplean baterías, o físicos, cuando se aprovecha la energía eléctrica procedente de la red.

1.4. Conductividad eléctrica

La **conductividad eléctrica** determina la facilidad que presentan los materiales para conducir la corriente.

Está determinada por la organización de los niveles energéticos orbitales dentro de un material. Se definen de la siguiente manera:

- » La banda de valencia, la última en la que los electrones permanecen ligados.
- » La banda de conducción, aquella en la que los electrones están libres y pueden moverse como parte de una corriente eléctrica.

La facilidad para conducir la corriente permite organizar los materiales en dieléctricos (aislantes), conductores, semiconductores y superconductores.

IMPORTANTE

El comportamiento de la corriente eléctrica en un circuito se describe mediante la ley de Ohm, que establece las relaciones entre el potencial eléctrico (voltaje), la corriente eléctrica y la resistencia.

Podría enunciarse así: «La intensidad de la corriente eléctrica que circula por un conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo».

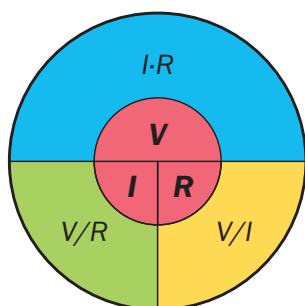


Fig. 6. Representación esquemática de la relación matemática entre las magnitudes representativas de la corriente eléctrica: voltaje (en voltios); intensidad (en amperios) y resistencia (en ohmios Ω).

1 CASO PRÁCTICO



¿POR QUÉ UNOS MATERIALES SON BUENOS CONDUCTORES DE LA CORRIENTE Y OTROS NO?

La capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica se puede explicar mediante lo que se denomina la «teoría de bandas». Esta teoría tiene una representación gráfica que muestra muy bien su idea fundamental. ¿Podrías reproducir esta representación con una breve explicación?

SOLUCIÓN

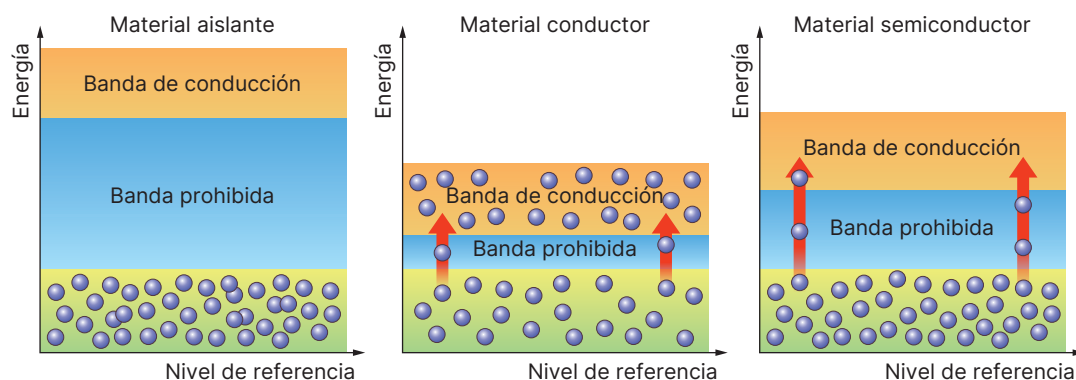


Fig. 7. Representación gráfica de la «teoría de bandas».

Esta teoría tiene en cuenta la estructura química de los materiales y la forma en la que combinan sus orbitales dando lugar a la creación de nuevos niveles de energía. Ante un potencial eléctrico, los electrones de los metales podrán (o no) pasar estos niveles energéticos mayores, siempre que estos sean accesibles (con nivel de energía muy próximo) y estén desocupados o semillenos.

02 El electromagnetismo

El **magnetismo** es un fenómeno físico esencialmente cuántico, que se manifiesta mediante un campo magnético, y que se origina:

- » Mediante **corrientes eléctricas**, cuyos campos magnéticos tendrán una orientación dependiente de la geometría del conductor. Este es el caso de los electroimanes, como los que se emplean en los equipos de resonancia magnética y que permiten alcanzar altas intensidades de campo (generalmente entre 1 y 3 teslas, T).

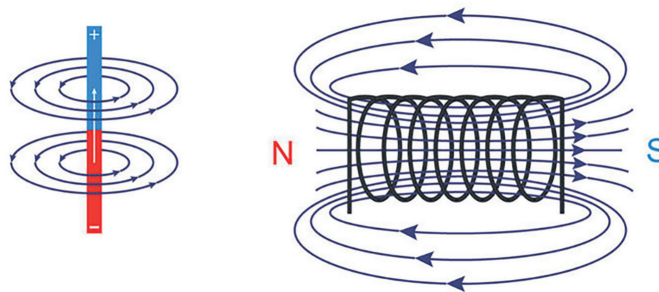


Fig. 8. Representación de la forma del campo magnético inducido por conductores con diferentes formas (lineal y bobina).

- » Por las **interacciones electrostáticas** asociadas a la orientación de los espines de los electrones que, al actuar como diminutos imanes y dependiendo del alineamiento de los momentos magnéticos, pueden producir efectos perceptibles; este es el caso de lo que denominamos materiales ferromagnéticos o imanes.

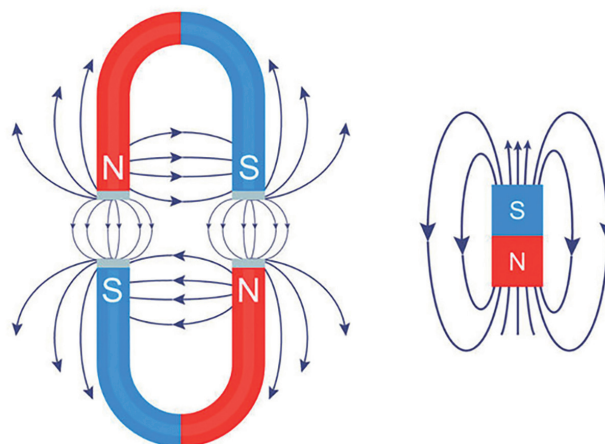


Fig. 9. Representación de la forma del campo magnético inducido por imanes de herradura y barra.

Los **campos magnéticos** se expresan físicamente mediante líneas de campo o líneas de inducción magnética en dirección N-S. Las líneas de inducción magnética son análogas a las líneas de campo eléctrico; la diferencia reside en que las líneas de campo eléctrico comienzan en el polo positivo y terminan en el negativo, mientras que las líneas de campo

magnético no tienen principio ni fin, sino que se cierran sobre sí mismas formando un circuito continuo. La magnitud del campo será mayor cuanto más próximas estén las líneas unas de otras. La unidad en el Sistema Internacional para el campo magnético es el tesla (T).

2.1. El magnetismo en los materiales

Los electrones presentes en los diferentes materiales se comportan como pequeños circuitos oscilantes que generan momentos dipolares magnéticos. El momento magnético de cada átomo resulta del conjunto de momentos asociados a sus electrones.

La alineación de estos dipolos con el campo magnético externo tiende a incrementar el campo magnético y a producir un efecto macroscópico, es decir, que se hace evidente a nuestra escala.

La forma en la que se disponen estos dipolos proporciona a los diferentes materiales un comportamiento magnético característico que permite clasificarlos en diferentes categorías.

A. Magnetismo débil

El **magnetismo débil** es siempre inducido por un campo magnético externo, más frecuente en la naturaleza, pero menos patente. Es el que se produce en los materiales paramagnéticos y diamagnéticos.

Materiales paramagnéticos	Materiales diamagnéticos
» Exhiben una pequeña tendencia a imanarse (susceptibilidad magnética positiva) en presencia de campos magnéticos externos. El efecto magnético desaparece cuando cesa el campo magnético aplicado. El valor de su efecto magnético es muy pequeño.	» Son aquellos materiales que al verse afectados por un campo magnético externo sufren ligeros desequilibrios en sus electrones orbitales creando pequeños dipolos que se oponen al campo aplicado, de forma que se produce una cancelación global del efecto magnético.

Esquema 2. Tipo de magnetismo débil que se producen según los materiales.

B. Magnetismo intenso o ferromagnetismo

En el caso del **magnetismo intenso**, el ordenamiento de los espines no se debe a ningún campo magnético externo, sino al campo electrostático, consecuencia de la interacción de los electrones con los protones y de los electrones entre sí mismos. Esta interacción es muy intensa y permanente, por lo que este grupo incluye a los materiales que se consideran tradicionalmente imanes.

2.2. Inducción electromagnética, autoinducción e inducción mutua

La **interacción electromagnética** se constata observando cómo una carga eléctrica en movimiento genera un campo eléctrico variable, que a su vez genera un campo magnético variable, que a su vez induce un campo magnético variable, que a su vez produce un campo eléctrico variable en un encadenamiento de fenómenos que afectan electromagnéticamente a los materiales.

Los fenómenos de inducción, autoinducción e inducción mutua constituyen el fundamento de generadores, motores eléctricos y transformadores. Se pueden describir como inducción electromagnética, autoinducción e inducción mutua.

A. Inducción electromagnética

La **inducción electromagnética** es el fenómeno que origina la producción de un voltaje en un cuerpo que está sometido a la acción de un campo magnético variable. Cuando ese cuerpo es un material conductor, se produce lo que se denomina una corriente eléctrica inducida.

Siempre que el flujo magnético varíe se originará una corriente inducida en el circuito; además, la cantidad de corriente que se genera está relacionada con la rapidez con la que varía el campo magnético, y la dirección de esta corriente será opuesta a la acción que la induce.

Estos fenómenos fueron descubiertos por Michael Faraday y Heinrich Lenz entre los años 1830 y 1835.

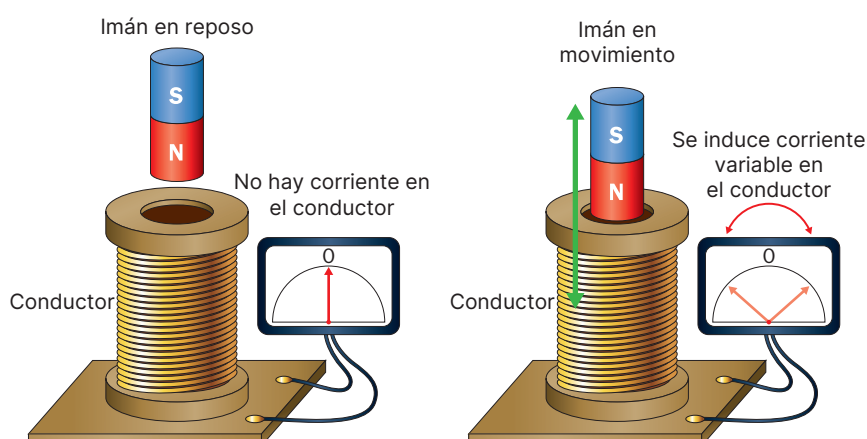


Fig. 10. Inducción de corriente al exponer al conductor a un campo magnético variable.

Si se produjese un movimiento de rotación en la espira próxima al imán estático, se generaría un flujo de corriente en el conductor que también variaría de acuerdo con la orientación de la espira con respecto al campo magnético. Esto es lo que se conoce como efecto generador y se produce a causa del movimiento de un conductor respecto de un campo magnético estacionario.

B. Autoinducción

La **autoinducción** es el fenómeno por el cual una corriente principal que atraviesa una bobina genera a su vez otra corriente, denominada corriente inducida, que se opone al paso de la corriente principal; es decir, es una influencia del sistema sobre sí mismo a través de campos electromagnéticos variables. La autoinducción depende de los factores geométricos de la bobina.

C. Inducción mutua

La **inducción mutua** entre dos conductores se produce cuando se genera un campo magnético variable en el primero de los conductores que induce una corriente en el segundo. De la misma forma, atendiendo a la ley de Lenz, la corriente inducida va en sentido contrario a la original e inducirá, a su vez, otra fuerza electromotriz sobre el primer conductor, de manera que cada conductor induce electricidad en el otro.

2 CASO PRÁCTICO



LA CORRIENTE ELÉCTRICA Y SU USO

¿Qué formas de generar corriente conoces? ¿Cómo llega la corriente a nuestros hogares desde los lugares en los que se genera?

SOLUCIÓN

En general, la generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía (química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, solar, entre otras), en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

La generación eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador eléctrico; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función de la forma en que se accionan.

La corriente que se utiliza en los hogares procede de centrales termoeléctricas (solares, geotérmicas y nucleares), hidroeléctricas, eólicas y fotovoltaicas.

Desde las plantas de producción se suministra a la red eléctrica y desde la red llega a los hogares.

03 Aplicaciones del electromagnetismo en el diagnóstico por imagen

3.1. Aplicaciones del electromagnetismo en los equipos que usan rayos X

Los **rayos X** se generan haciendo colisionar electrones, emitidos por emisión termoiónica desde un filamento (o cátodo) contra un elemento denominado blanco o diana, que se comporta como ánodo de un circuito. Para que estos electrones generen rayos X en su interacción con el ánodo se necesita que alcancen altas velocidades (próximas a la velocidad de la luz), por ello se requiere que el diseño de los equipos y de los propios tubos cuente con ciertos elementos y componentes:

A. Transformadores

La corriente de la red eléctrica tiene un voltaje de 220 V, pero el rango de energía que necesita un tubo de rayos puede alcanzar los 140 kV. Para ello, los equipos incorporan transformadores y autotransformadores que permiten aumentar o disminuir la tensión hasta el valor operativo necesario.

En su diseño básico, los transformadores emplean un núcleo de hierro que confina el campo magnético y dos devanados (o bobinas primaria y secundaria), enrollados a ambos lados del núcleo. Si se aplica una corriente variable en la bobina primaria se inducirá una corriente variable en la bobina secundaria, de una tensión que dependerá del número de vueltas de cada devanado. El transformador funciona bajo el principio de inducción mutua, por lo que para su funcionamiento se necesita corriente alterna. En la Figura 11, el devanado primario tiene más espiras que el secundario, por lo que, en este caso, se produce una disminución en el voltaje que sale del transformador.

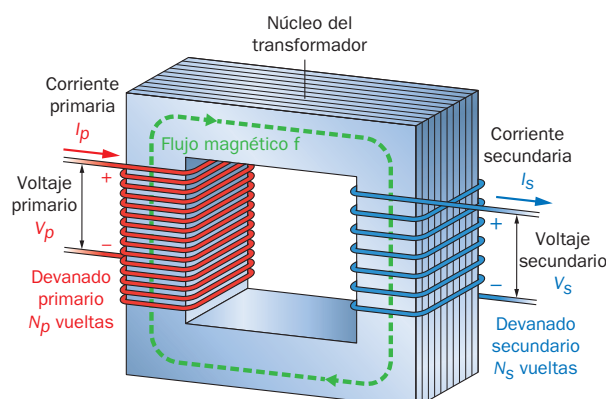


Fig. 11. Esquema de funcionamiento de un transformador monofásico reductor.

B. Rectificadores

En un tubo de rayos X es imprescindible que los electrones se desplacen con velocidades cercanas a la de la luz a lo largo de un determinado trayecto, desde su origen en el filamento (cátodo) hasta su punto de colisión en el ánodo. Para que el desplazamiento de los electrones sea eficiente se requiere de un dispositivo que rectifique la corriente alterna que proporciona la red y la convierta en corriente continua (o al menos, lo más continua posible), que permita que los electrones no vean interferido el sentido de su desplazamiento hacia el ánodo.

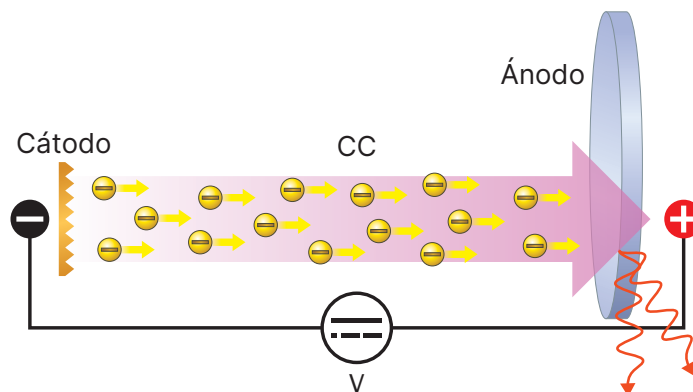


Fig. 12. Esquema simplificado del funcionamiento de un tubo de rayos X.

La rectificación se lleva a cabo mediante unos dispositivos que se incorporan en los circuitos de los equipos llamados diodos. En los tubos de rayos X, la corriente además de continua debe ser muy estable, por lo que para evitar las pérdidas de tensión se usan generadores trifásicos. Estos producen tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud que presentan cierta diferencia de fase entre ellas, en torno a 120° , y están dadas en un orden determinado; al rectificar una corriente alterna trifásica se puede conseguir una corriente prácticamente continua con un voltaje casi constante.

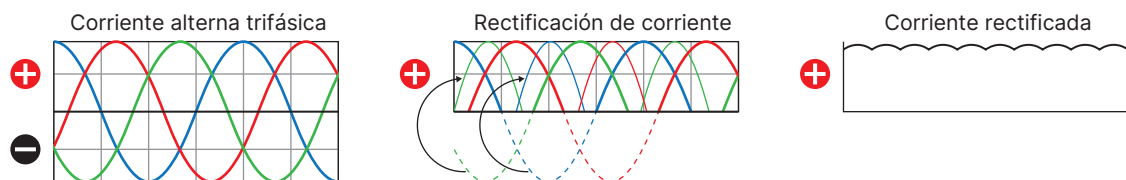


Fig. 13. Fases de rectificación de corriente alterna a corriente continua.

El rizado es la pequeña componente de corriente alterna que queda tras rectificar una señal a corriente continua. Las mejoras de los diodos han contribuido a minimizar las oscilaciones de voltaje hasta prácticamente cero.

Gran parte de las modalidades de diagnóstico por imagen emplean los rayos X como medio para la obtención de imágenes: los equipos de radiología convencional, de tomografía computarizada (TC), los mamógrafos, los equipos de radiología intervencionista o el DXA, entre otros, necesitan fotones de alta energía (kV) para interactuar con los tejidos.

3.2. Aplicaciones en los equipos de resonancia magnética y ecografía

Dentro del diagnóstico por imagen existen equipos que no usan radiación ionizante para la generación de imágenes. Estos equipos también cuentan con generadores y transformadores de corriente, pero además presentan algunos aspectos singulares que aprovechan el fenómeno electromagnético con distintos fines.

A. Equipos de resonancia magnética

En los equipos de resonancia magnética se emplean electroimanes en los que el campo magnético de alta intensidad (en medicina, generalmente hasta 3 T) se genera mediante el flujo de la corriente a través de un conductor o superconductor dispuesto en forma de bobina. La principal ventaja de un electroimán es que la intensidad del campo puede controlarse mediante la intensidad de la corriente que circula por el conductor.

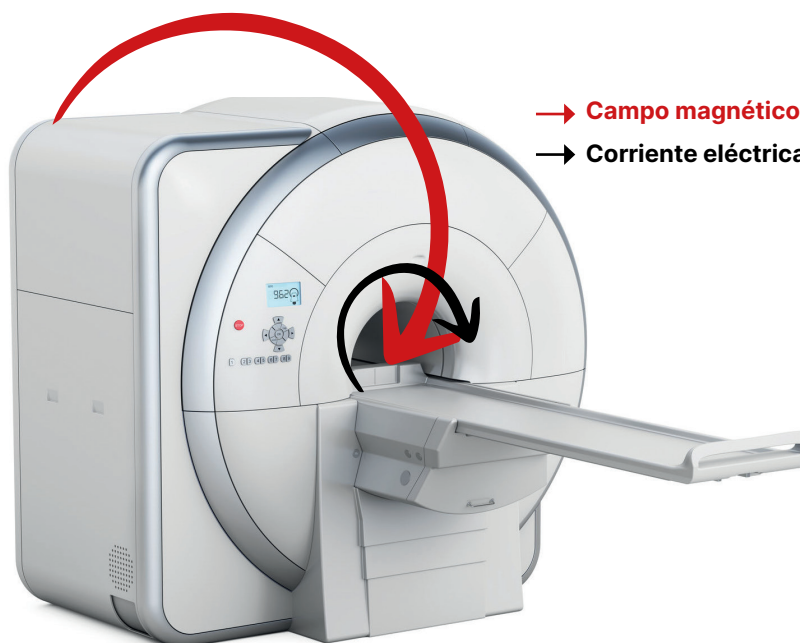


Fig. 14. Representación del sentido de la corriente en la bobina del electroimán (amarillo) y dirección del campo magnético principal (en rojo).

La magnitud del campo magnético de los equipos de resonancia magnética (en T) está determinada por la constante de permeabilidad del campo magnético en el vacío (μ_0), por el número de espiras o vueltas que conforman la bobina conductora (n) y por la intensidad de la corriente (I); lo que puede expresarse mediante la ley de Ampere como:

$$B = \mu_0 \cdot I \cdot n$$

Otro dispositivo de uso común en resonancia magnética, que además es una fuente de radiación electromagnética de baja energía, son las antenas.

Antes se comentó que los rayos X, que constituyen una de las radiaciones del sector ionizante del espectro, se obtienen haciendo colisionar electrones contra un blanco metálico (ánodo); pues bien, para generar radiación electromagnética del rango de la radiofrecuencia (de baja energía) se aceleran electrones en un conductor, de manera que estos oscilen a determinadas frecuencias, siendo la frecuencia de las ondas emitidas correspondiente a la frecuencia de oscilación de los electrones.

Las antenas de radiofrecuencia empleadas en resonancia tienen la finalidad de excitar los momentos magnéticos de hidrógeno en la región a explorar y recibir la señal reemitida por los tejidos en la fase de relajación.

B. Equipos de ecografía

Las sondas de los ecógrafos se comportan como transductores, es decir, que para generar la señal que permite crear la imagen transforman una forma de energía en otra.

En el caso de los ecógrafos, las sondas son transductores electromecánicos, capaces de convertir una corriente eléctrica (voltaje) en un impulso mecánico (presión o vibración) y viceversa. Esta conversión se consigue porque los cabezales de las sondas incorporan materiales piezoeléctricos.

Estos materiales oscilan a altas frecuencias cuando se los expone a un campo eléctrico y son capaces de generar corriente cuando se los somete a vibración mecánica.

Las capacidades piezoeléctricas de estos materiales están determinadas por la estructura molecular de los cristales y la disposición espacial de sus iones.



VÍDEOLAB

Para consultar el siguiente video sobre las posibilidades de la resonancia magnética, escanea el código QR o [pulsa aquí](#).



3 CASO PRÁCTICO



ESQUEMATIZA

Dibuja de forma esquemática un transformador amplificador y uno reductor, y pon ejemplos de dispositivos en los cuales se podría encontrar cada uno de ellos.

SOLUCIÓN

Transformadores reductores y amplificadores:

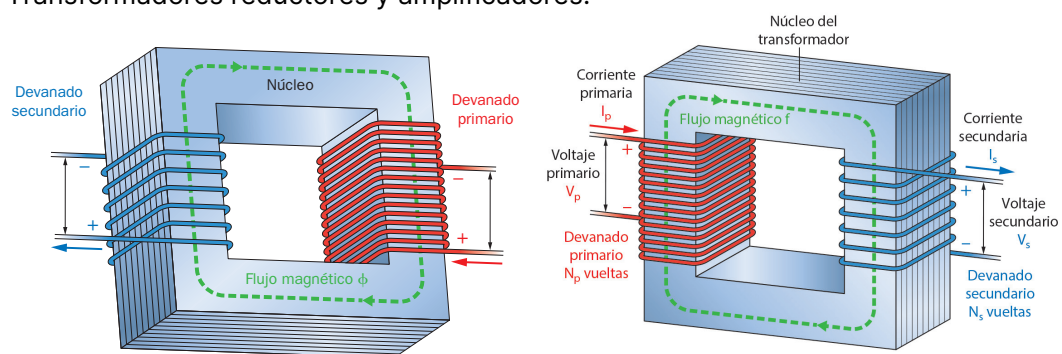


Fig. 15. Representación gráfica de transformadores reductores y amplificadores.

Un transformador reductor es el que se emplea en los pequeños electrodomésticos, mientras que el transformador amplificador se usa, por ejemplo, en los tubos de rayos X.

X T A R T
FP SALUD