

Table of Contents

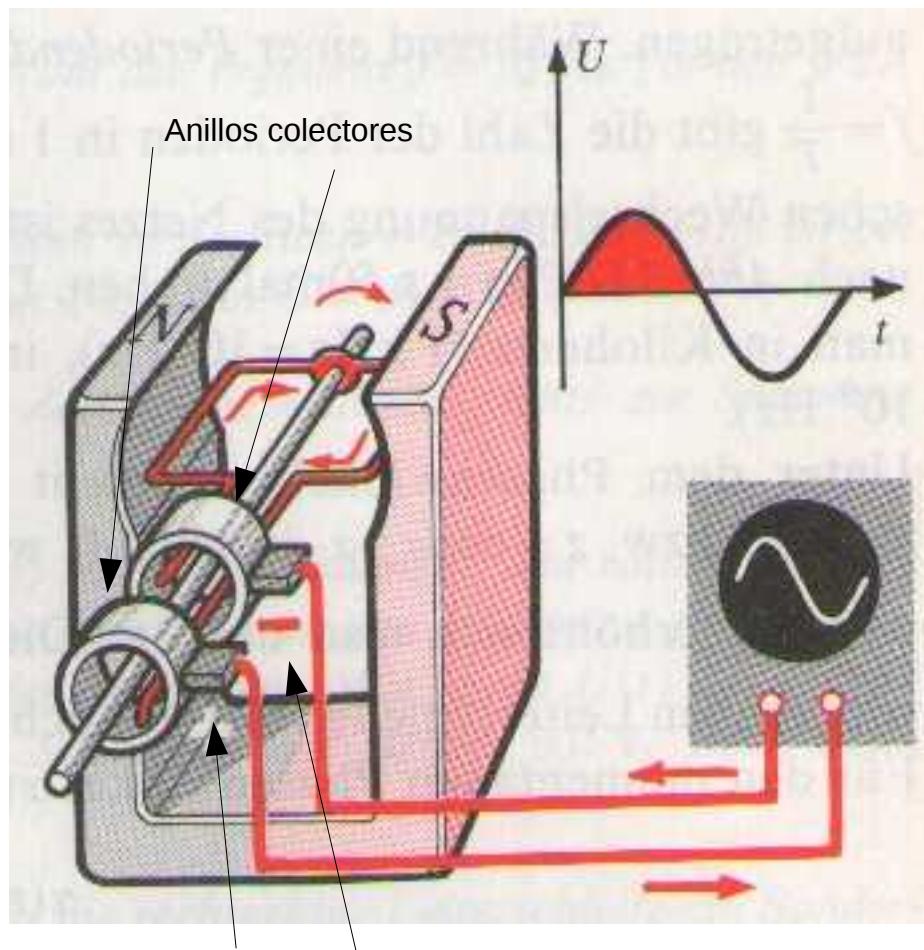
1.1 Corriente alterna monofásica.....	2
1.1.1 Esquema de principio de un generador de corriente continua.....	4
1.1.2 Inducción de corriente al mover un conductor dentro de un campo magnético.....	6
1.1.3 Fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente que se encuentra dentro de un campo magnético.....	8
1.1.4 Motor asíncrono.....	9
1.1.5 Ejercicios.....	11
1.2 Corriente alterna monofásica representación matemática.....	13
1.2.1 Grados y radianes.....	14
1.2.2 Ciclo y frecuencia.....	16
1.2.3 Velocidad angular ω	16
1.2.4 Seno y coseno.....	18
2 Corriente alterna (ca, AC), teoría básica.....	22
3 Formas de onda en CA.....	28
4 Medición en CA.....	33
5 Cálculos simples en circuitos de CA.....	38
6 Fase en CA.....	40

1.1 Corriente alterna monofásica

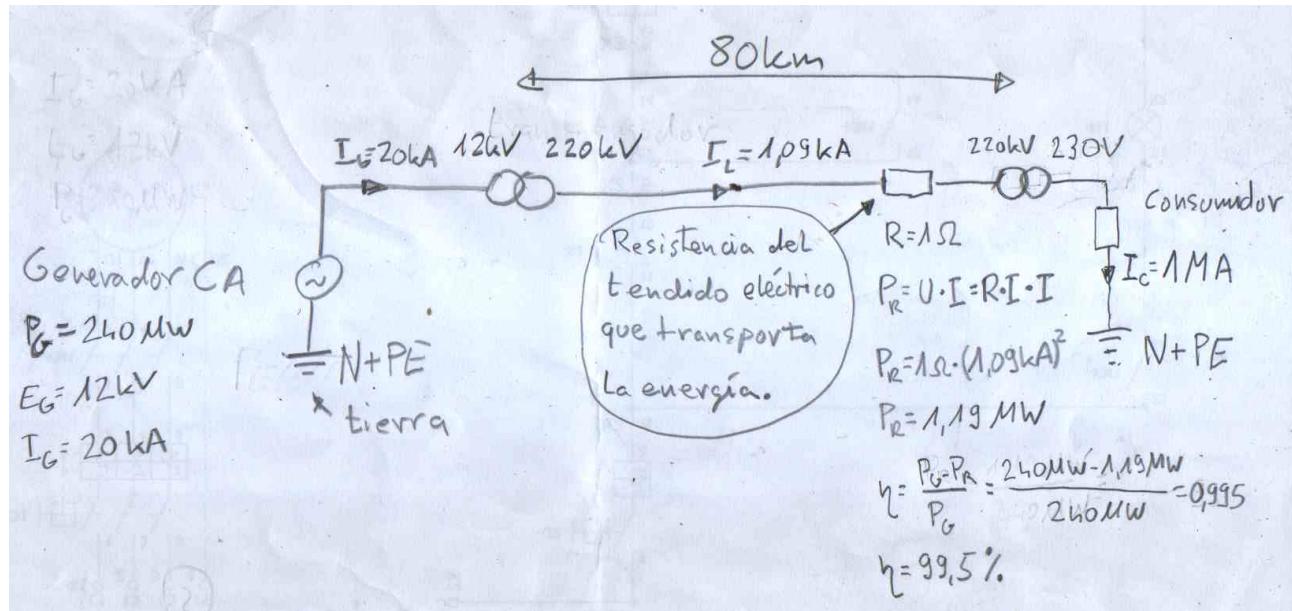
A diferencia de la corriente continua, la corriente alterna cambia de dirección. Esto significa que no existe un polo negativo y otro positivo.

Los generadores de corriente alterna están compuestos de una parte fija, llamada estator, y una parte móvil, llamada rotor. En el modelo de generador de la imagen, el rotor gira dentro del campo magnético creado por el estator. Esto causa un movimiento de electrones en la bobina del rotor, produciendo una tensión en los extremos de la bobina. Visto desde la bobina, lo que gira es el campo magnético. Los cambios de flujo magnético que experimenta la bobina al girar inducen una tensión que cambia de polaridad en los contactos de la bobina.

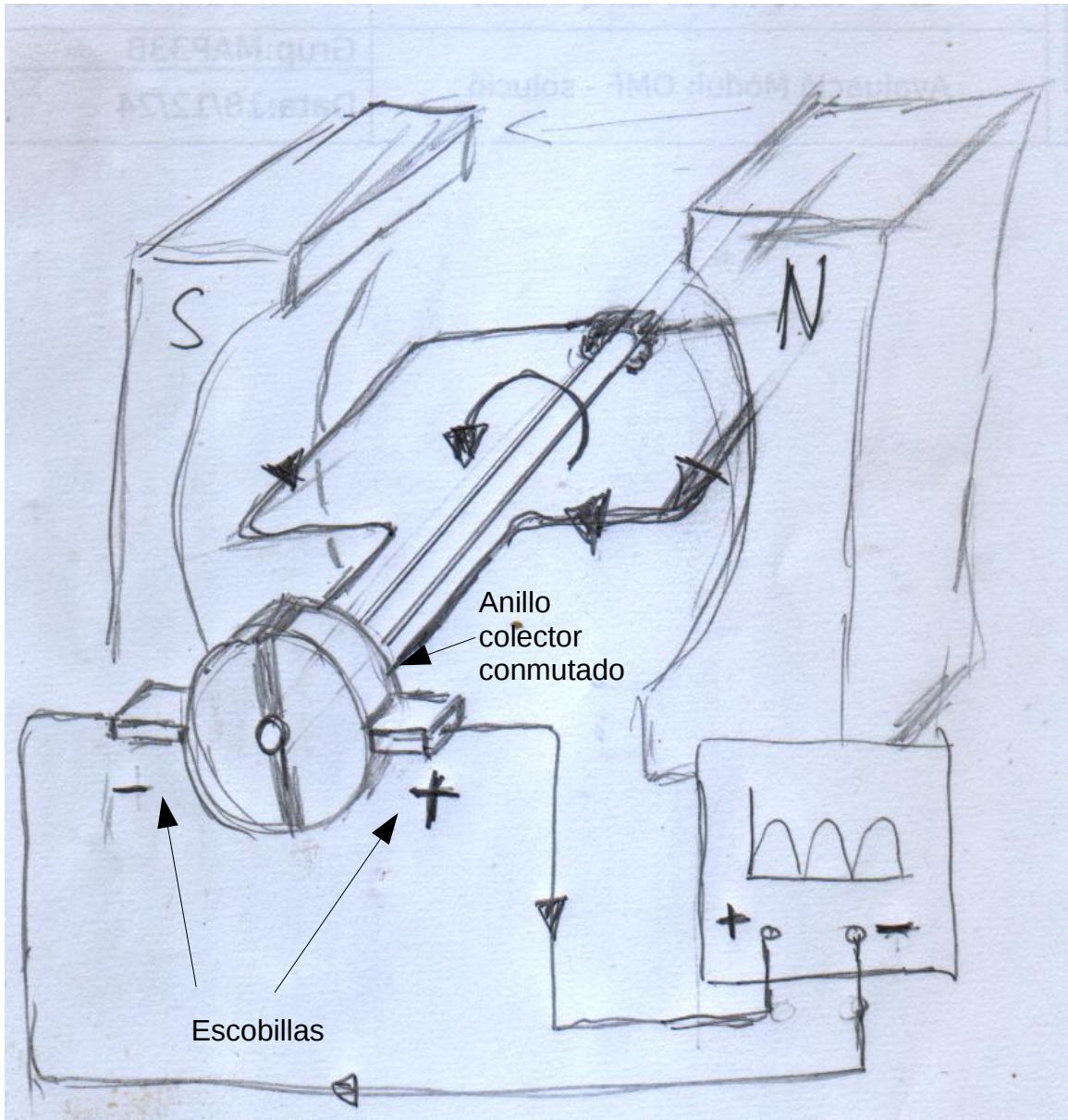
En los generadores de las centrales eléctricas, uno de los contactos se conecta a tierra. De esta manera, la tensión generada es relativa a la tierra. El otro conductor se llama fase, es el que presenta tensión respecto a tierra y un peligro por descarga eléctrica. Gracias a la toma de tierra en la central eléctrica, basta con llevar el cable de fase al consumidor. El consumidor se conecta al contacto de fase de la red de suministro eléctrico. Para que circule la corriente, basta con conectarlo a tierra. La conexión a tierra normalmente no se hace en cada vivienda, sino en una central de transformación a baja tensión, cercana a los puntos de consumo, donde un cable, llamado neutro, es conectado a tierra y llega a los puntos de consumo.



Respecto a la CC, la CA tiene la ventaja, de que es posible variar su tensión e intensidad, mediante transformadores. Las pérdidas de energía en el tendido eléctrico son proporcionales al cuadrado de la intensidad que circula por la red. Por eso, la energía eléctrica se transporta a alta tensión y baja intensidad.



1.1.1 Esquema de principio de un generador de corriente continua.



En CC, la corriente no cambia de dirección, siempre fluye de positivo a negativo. El polo negativo se define como libre de potencial, su tensión es 0 V y frecuentemente se identifica como GND (ground o tierra). Por eso, la onda generada en CC sólo adquiere valores positivos.

En vehículos con batería, el negativo se conecta a la carrocería metálica. Se simplifica así el cableado, pues basta con conectar el contacto negativo de un consumidor a la carrocería para conducir la corriente de vuelta a la batería.

Al utilizar el sentido convencional de la corriente, se supone que las cargas que se mueven son positivas. En el exterior del generador fluyen del polo positivo (exceso de carga positiva), al

negativo (falta de carga positiva), transformando energía eléctrica en otro tipo de energía (p. ej. calor en una resistencia).

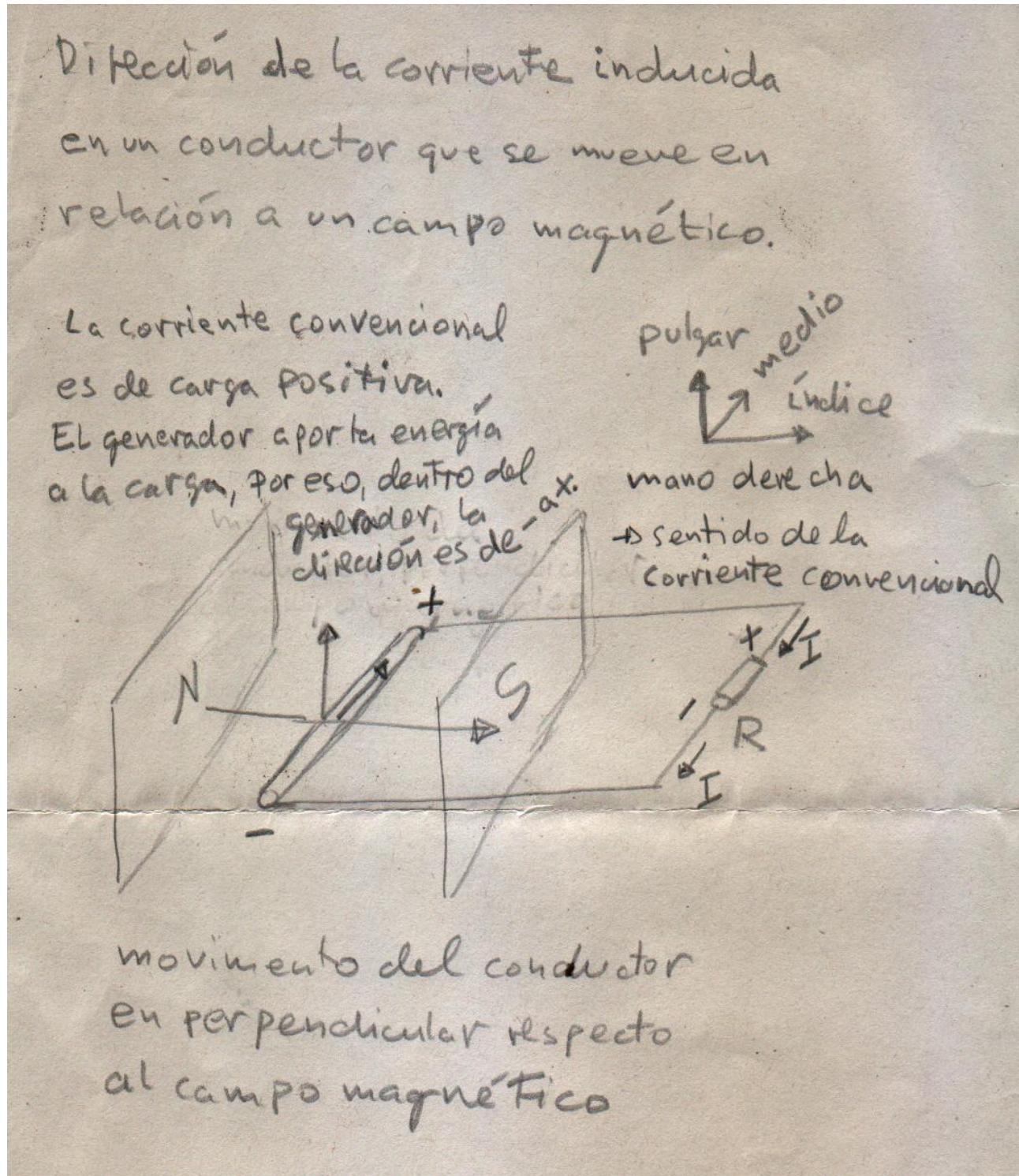
En el interior del generador, se transforma energía mecánica, la que hace girar el eje del generador, en eléctrica. Esto causa un exceso de carga en el polo positivo y falta de carga en el negativo.

Working Principle of DC Generator | [Electric Machine #1]

<https://youtu.be/mq2zjmS8UMI?si=i1nyNiI63VuvXXWC>

1.1.2 Inducción de corriente al mover un conductor dentro de un campo magnético

La regla de la mano derecha muestra la dirección de la corriente en sentido convencional, inducida en un conductor que se mueve en un campo magnético. El movimiento del conductor debe ser perpendicular a las líneas de campo magnético para inducir una corriente.



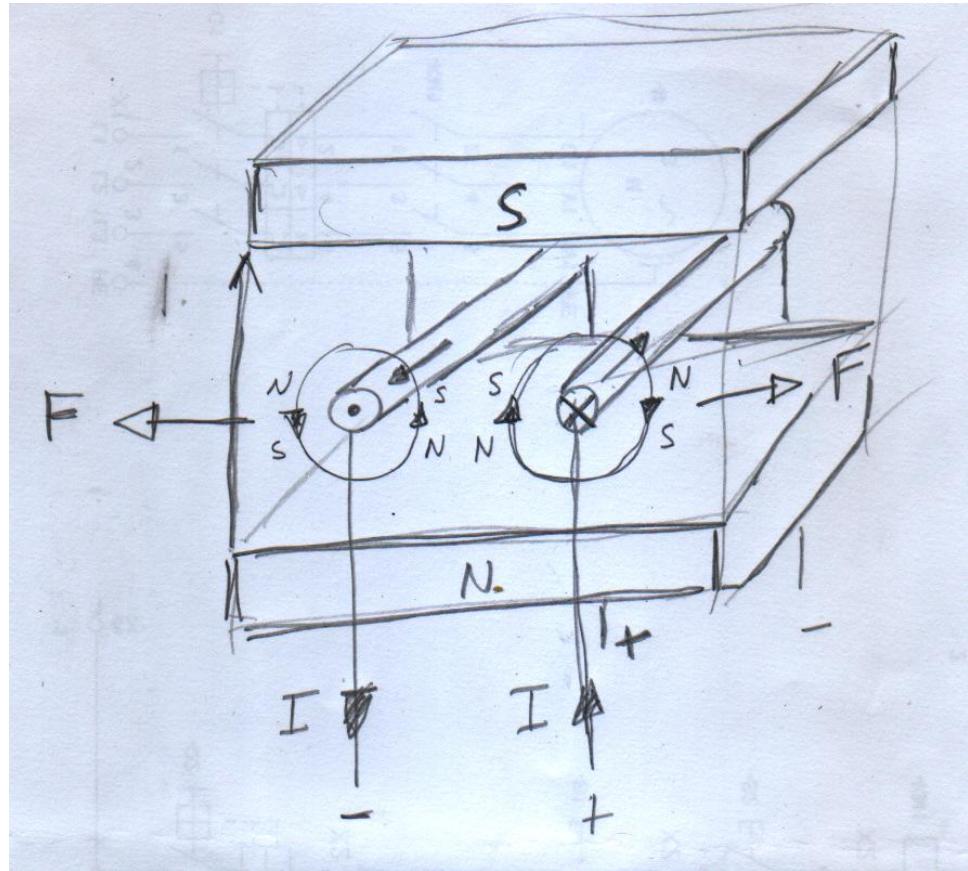
En la imagen, el conductor se mueve de abajo hacia arriba, cortando perpendicularmente el campo magnético que señala de derecha (norte) a izquierda (sur).

El pulgar debe señalar en la dirección en la que se mueve el conductor, el índice en la dirección del campo magnético (de N a S) y el dedo medio señala en la dirección de la corriente (sentido convencional, carga positiva).

Fuera del generador, la corriente fluye del polo positivo al negativo, transformando energía eléctrica en calor, en caso de ser la carga una resistencia.

Dentro del generador, la carga recibe energía, al transformarse energía mecánica en eléctrica, por eso, la dirección de la corriente en el interior del generador es de negativo a positivo.

1.1.3 Fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente que se encuentra dentro de un campo magnético



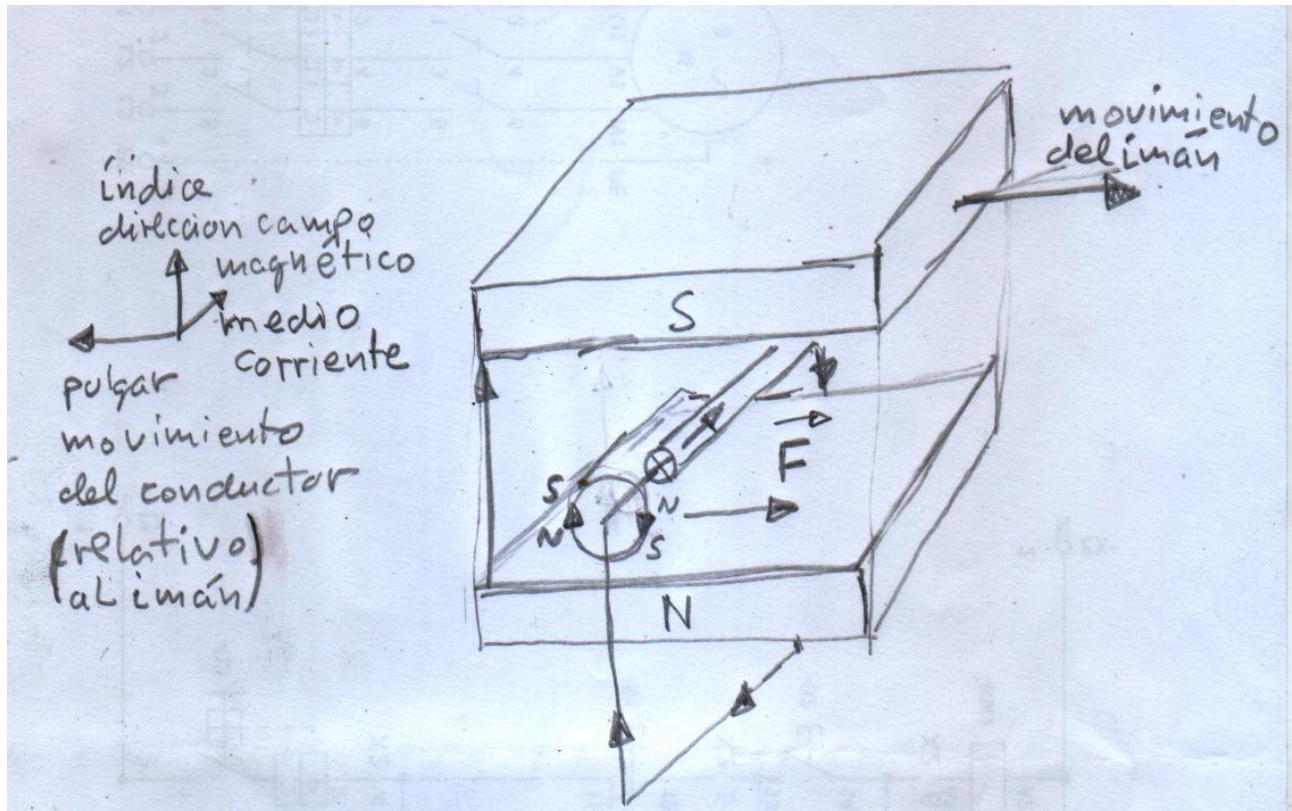
En este caso interacúan dos campos magnéticos, el del imán, que señala de abajo hacia arriba, y el del conductor. El resultado es una fuerza sobre el conductor. La dirección de esta fuerza depende del sentido en la que la corriente circula por el conductor.

Con la regla de la mano derecha se puede obtener la dirección de la fuerza, de la siguiente manera. El dedo pulgar señala en dirección de la corriente, el índice en la del campo magnético del imán y el medio muestra el sentido de la fuerza.

En este tipo de esquema, un punto indica la dirección de la corriente hacia el observador, mientras que una cruz indica la dirección de la corriente contraria.

[Force on a Current Carrying Wire in a Magnetic field](#)
<https://youtu.be/F1PWnu01IQg?si=X3N0eeuh78XcHOFO>

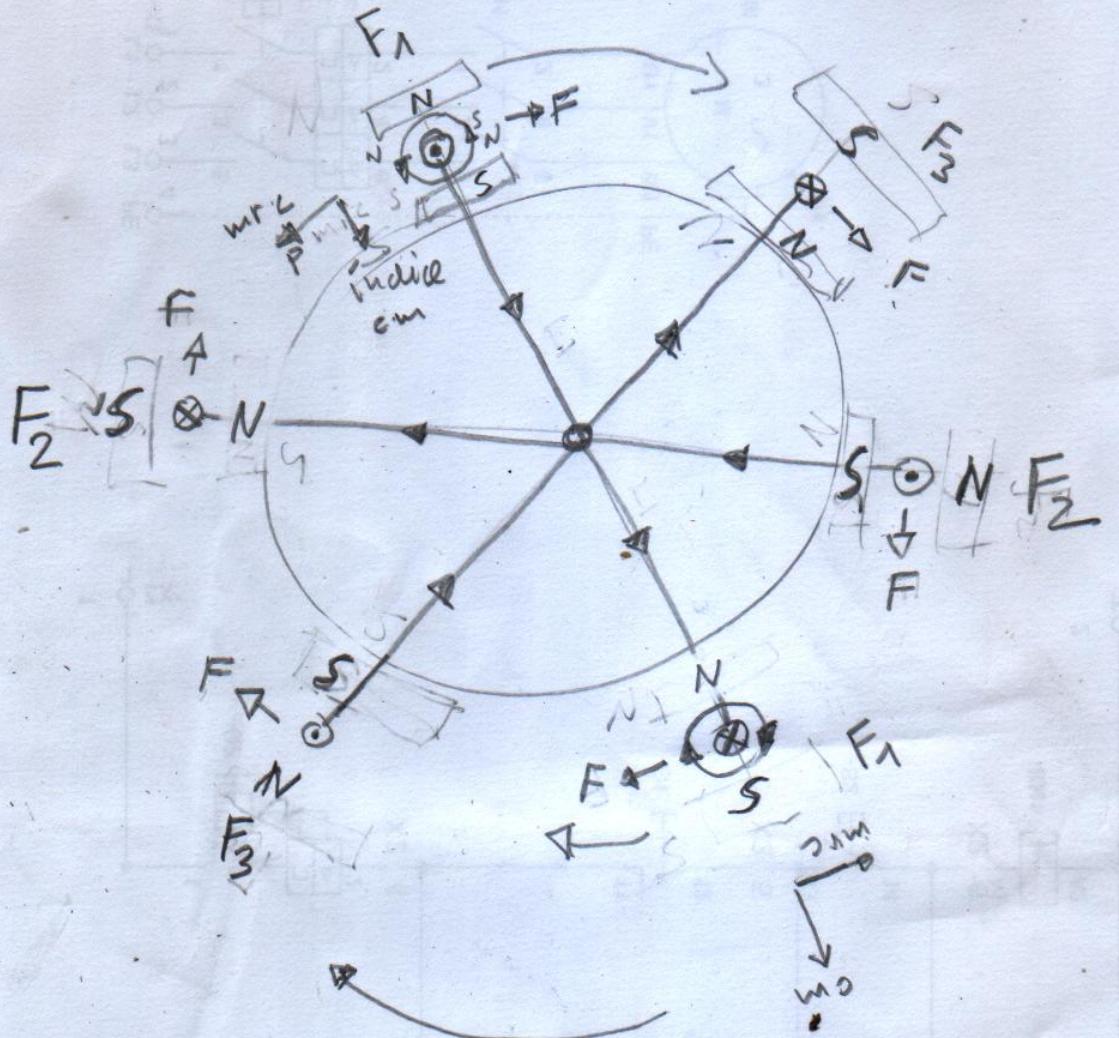
1.1.4 Motor asíncrono



Un campo magnético, causado por un imán, se desplaza hacia la derecha. Un tramo de una espira se encuentra dentro del campo magnético. La variación del campo magnético induce una corriente en la espira. Según la regla de la mano derecha del apartado anterior, esta corriente causa una fuerza hacia la derecha sobre el conductor.

El conductor tiende a seguir el movimiento del imán.

Principio de funcionamiento de un motor eléctrico asincrónico



dirección de giro del campo magnético del stator

1.1.5 Ejercicios

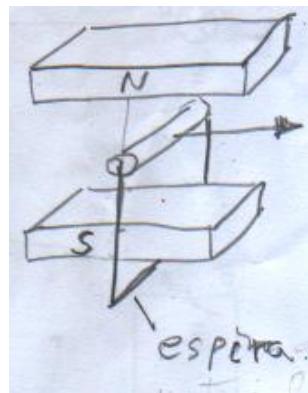
Ejercicio 1.1.5-1

En la página 3 aparece un esquema que muestra el transporte de energía eléctrica con una línea de alta tensión de 220 kV.

- ¿En caso de que el transporte de la electricidad se hiciera a 110 kV, qué corriente circularía por la línea de transporte?
- ¿Qué potencia se perdería en la resistencia de la línea?
- ¿Cuál sería el rendimiento del transporte?

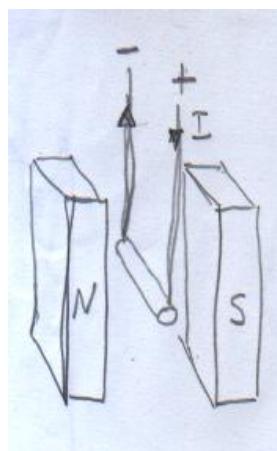
Ejercicio 1.1.5-2

¿En la espira de la imagen, en qué sentido fluye la corriente inducida (corriente convencional, carga positiva)?



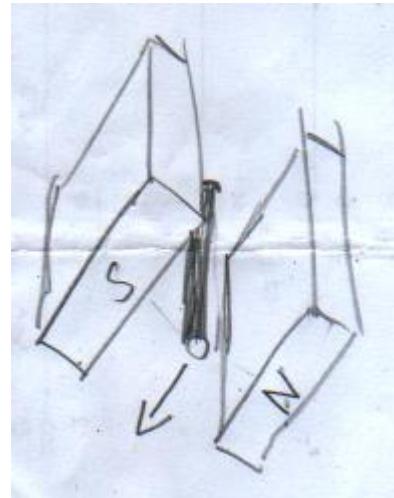
Ejercicio 1.1.5-3

¿En qué sentido actúa la fuerza causada por la corriente que circula dentro del campo magnético?



Ejercicio 1.1.5-4

¿Cuál es el polo positivo del conductor que muestra la imagen?



1.2 Corriente alterna monofásica representación matemática

La corriente alterna de red tiene forma sinusoidal. Esto significa, que en el gráfico de la corriente, en función del tiempo, la curva de corriente se describe matemáticamente con la siguiente fórmula:

$$i(t) = \hat{I} \cdot \sin(\omega t)$$

\hat{I} es el valor máximo, cresta o pico

ω es la velocidad angular en radianes entre segundo $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$

t es el tiempo en segundos

La tensión que se mide en una toma de corriente doméstica de la red de suministro es de unos 230 V. Este valor de tensión no es el valor pico, sino el valor eficaz. La relación entre el valor pico y el valor eficaz en ondas sinusoidales es:

$$\text{Valor pico} = \frac{\text{Valor eficaz}}{0,707}$$

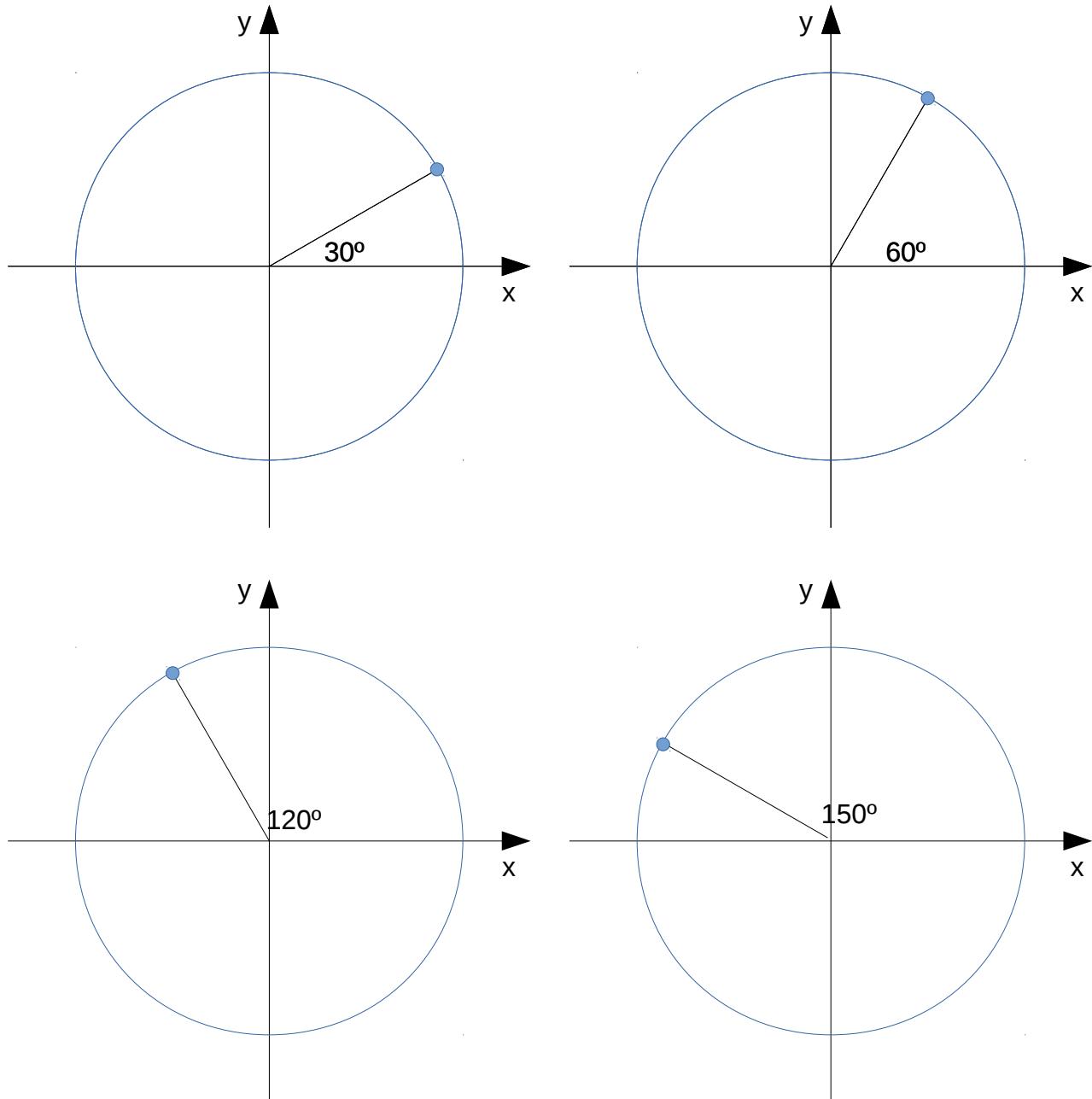
Por lo tanto, el valor pico de la tensión de red es de unos 325 V.

La función que describe la tensión de la red es:

$$e(t) = 325 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$$

1.2.1 Grados y radianes

Si se observa un punto, girando en contra del sentido de las agujas del reloj, sobre un círculo, se puede determinar su posición, indicando el radio del círculo y el ángulo entre el eje horizontal y el radio entre el origen y el punto.



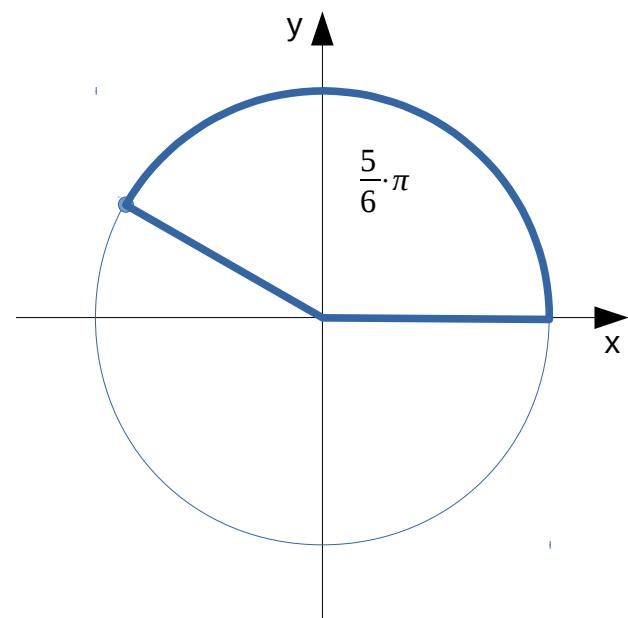
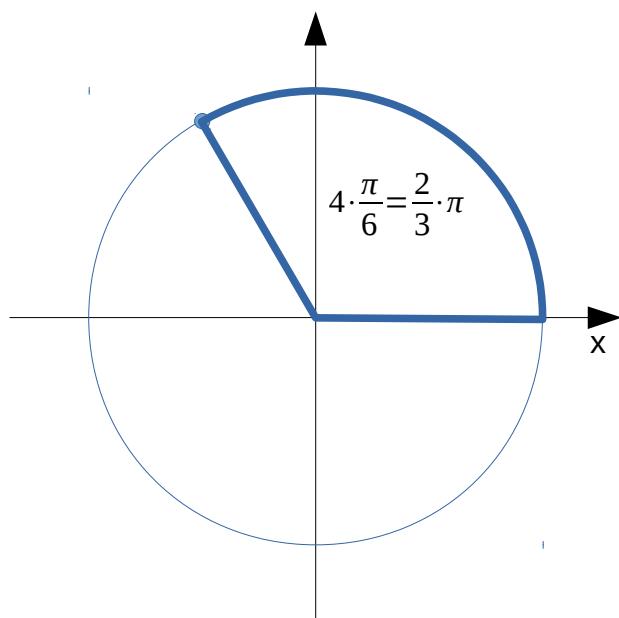
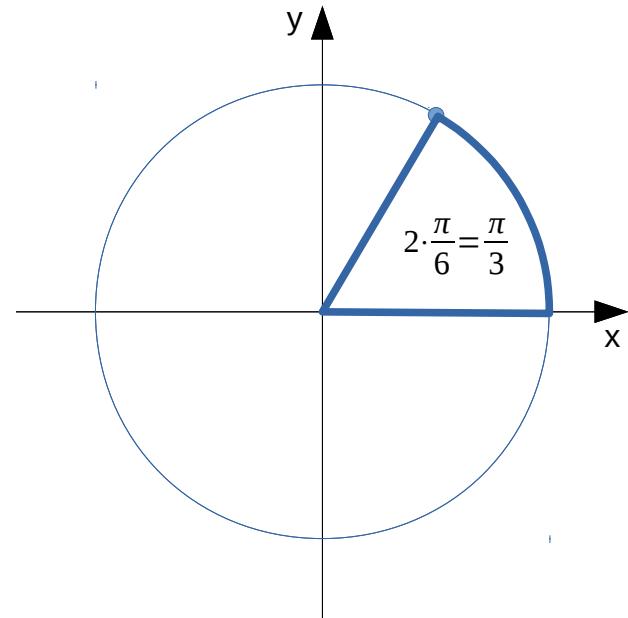
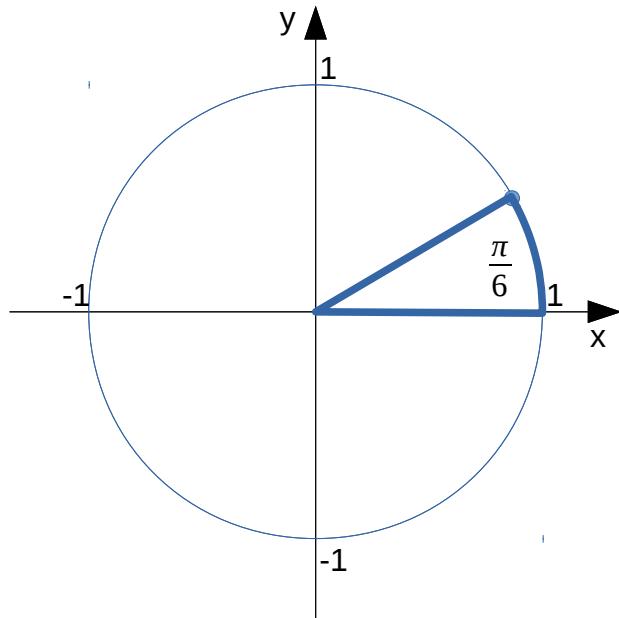
Al giro completo del punto alrededor del círculo le corresponden 360° .

El ángulo también se puede expresar en la distancia que el punto recorre sobre la línea del círculo.

Esta medida se llama radián, tomando la medida del radio como 1.

El perímetro de un círculo $P=2\cdot\pi\cdot r$, corresponde a 360° . Por tanto, las fracciones del círculo en

radianes, se calculan $\frac{\alpha}{360^\circ}\cdot 2\cdot\pi$.



1.2.2 Ciclo y frecuencia

Cada giro completo que hace el punto se llama un ciclo.

El tiempo que el punto necesita para hacer un giro completo se llama periodo T .

Si el punto necesita 3 segundos en hacer un giro, $T=3\text{ s}$, mientras que si necesita 0,5 segundos, su periodo es $T=0,5\text{ s}$.

La frecuencia f es el número de giros por segundo que hace el punto. La relación entre la

frecuencia y el periodo es $f=\frac{1}{T}$. La unidad de la frecuencia es el hercio Hz .

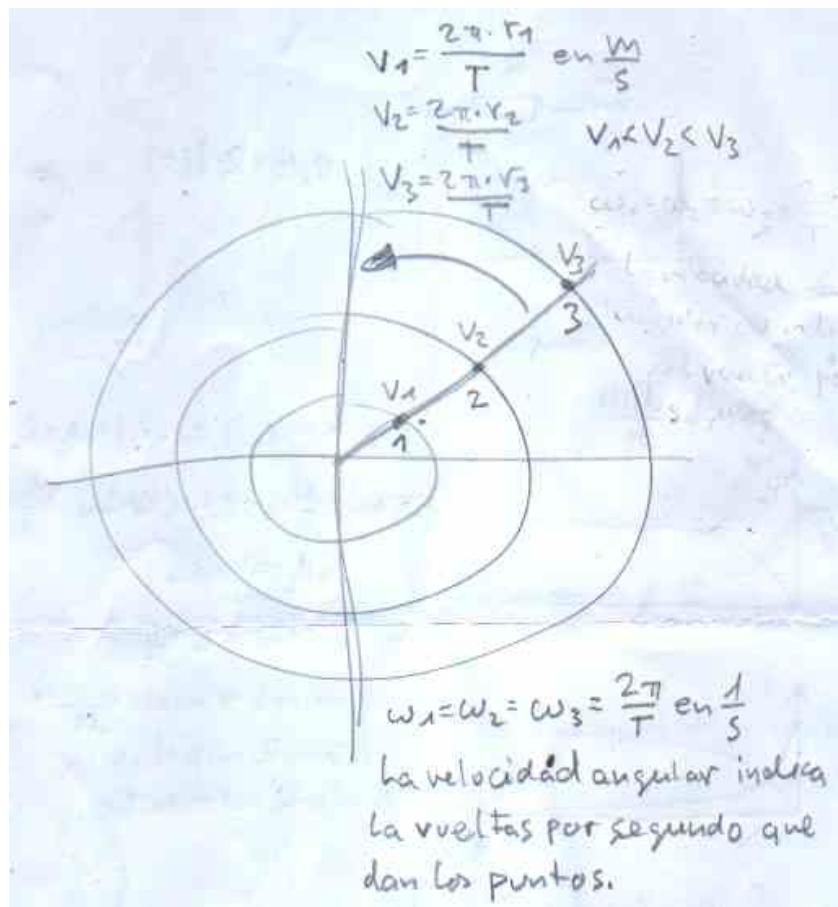
1.2.3 Velocidad angular ω

La velocidad está definida como la distancia dividida entre el tiempo necesario en recorrerla.

$$v = \frac{d}{t}$$

d distancia en m

t tiempo en s



En el caso del círculo, el tiempo necesario para un giro completo es el periodo T , por tanto la velocidad (angular) ω es:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{o} \quad \omega = 2\pi f$$

Para $T=3\text{s}$, la velocidad angular es $\omega = \frac{2\pi}{3\text{s}} = \frac{2}{3}\pi \cdot \frac{1}{\text{s}} = 2,093 \frac{1}{\text{s}}$

Para $T=0,5\text{s}$, la velocidad angular es $\omega = \frac{2\pi}{0,5\text{s}} = 4\pi \cdot \frac{1}{\text{s}} = 12,56 \frac{1}{\text{s}}$

Conociendo la velocidad angular ω , se puede obtener la posición del punto, su ángulo, pasado el tiempo t :

$$\alpha = \omega \cdot t$$

Para $t=3\text{s}$, a la velocidad $\omega = \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{1}{\text{s}}$, el ángulo en radians es: $\alpha = \omega \cdot t = \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{1}{\text{s}} \cdot 3\text{s} = 2\pi$.

En 3s el punto ha dado un giro completo.

A la velocidad de $\omega = 4\pi \cdot \frac{1}{\text{s}}$, el ángulo en radians es: $\alpha = \omega \cdot t = 4\pi \cdot \frac{1}{\text{s}} \cdot 3\text{s} = 12\pi$, el punto ha hecho 6 giros completos.

Ejercicio 1.2.3-1:

a) Calcula la posición del punto a una velocidad angular $\omega = 4\pi \cdot \frac{1}{\text{s}}$, pasados $2,25\text{s}$.

b) Calcula la posición del punto a una velocidad angular $\omega = \frac{2}{3}\pi \cdot \frac{1}{\text{s}}$, pasados 17s .

Ejercicio 1.2.3-2:

a) ¿Qué velocidad angular corresponde a la frecuencia de 50 Hz ?

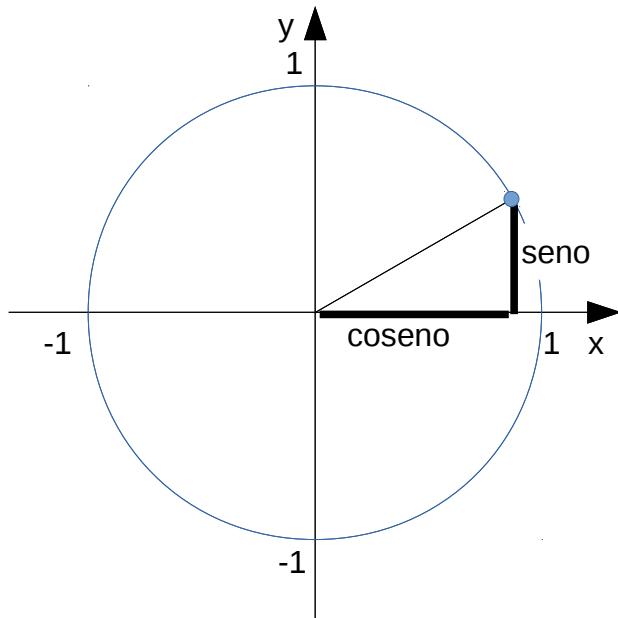
b) ¿Qué frecuencia y que periodo corresponden a una velocidad angular de $\omega_1 = 4\pi \cdot \frac{1}{\text{s}}$?

c) ¿Qué frecuencia y que periodo corresponden a una velocidad angular de $\omega_2 = \frac{2}{3}\pi \cdot \frac{1}{\text{s}}$?

d) Si las frecuencias coinciden con la velocidad de giro del rotor de un motor, a cuantas RPM está girando el motor en los casos a), b) y c)?

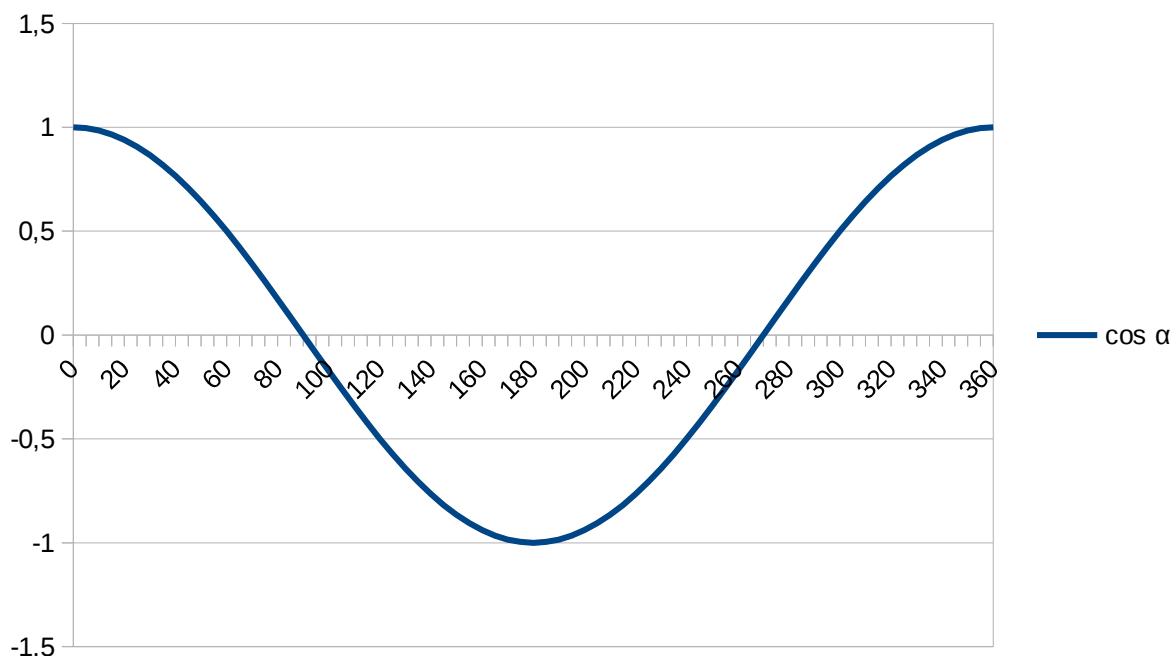
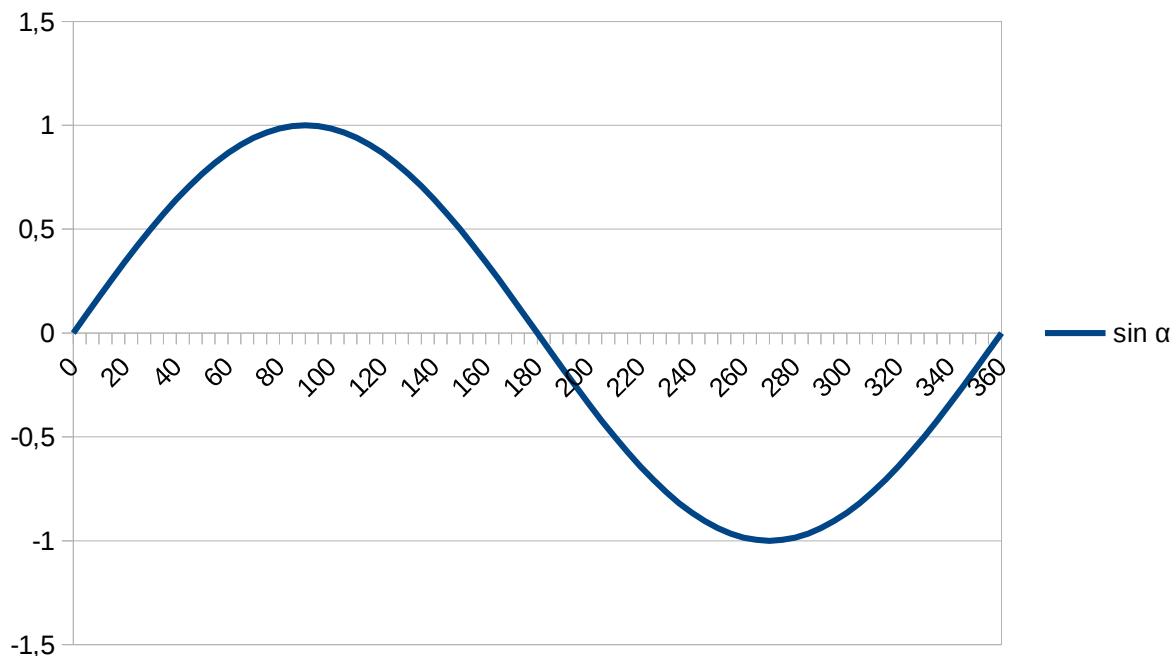
1.2.4 Seno y coseno

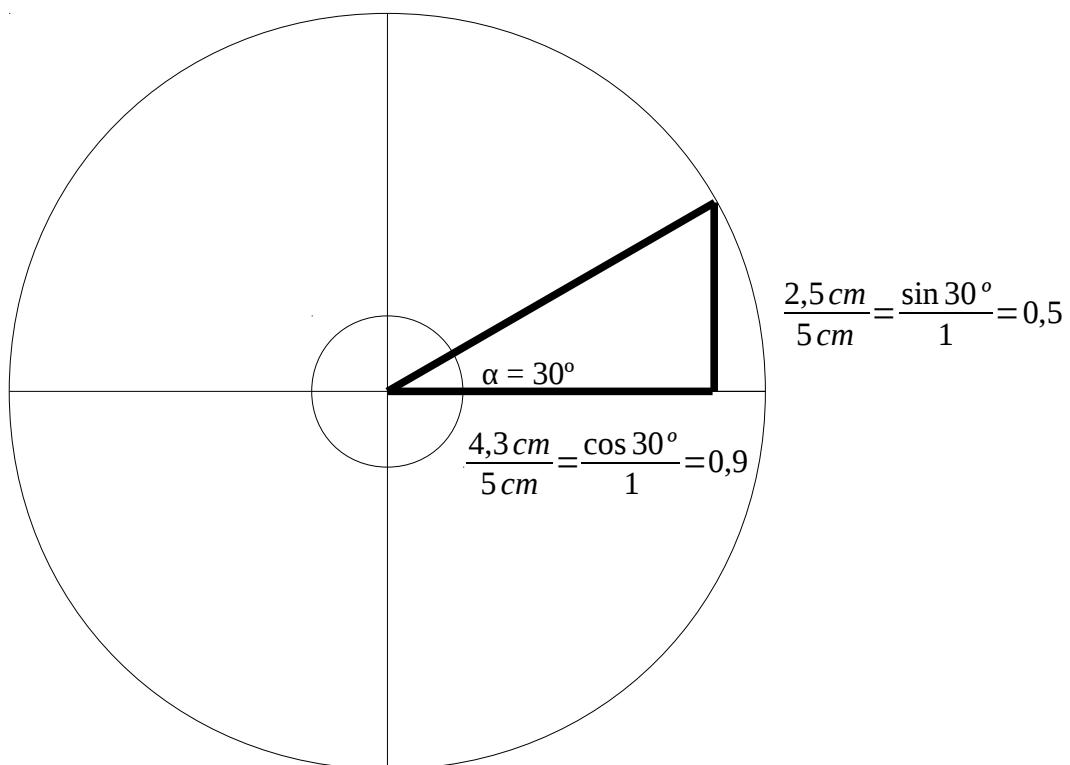
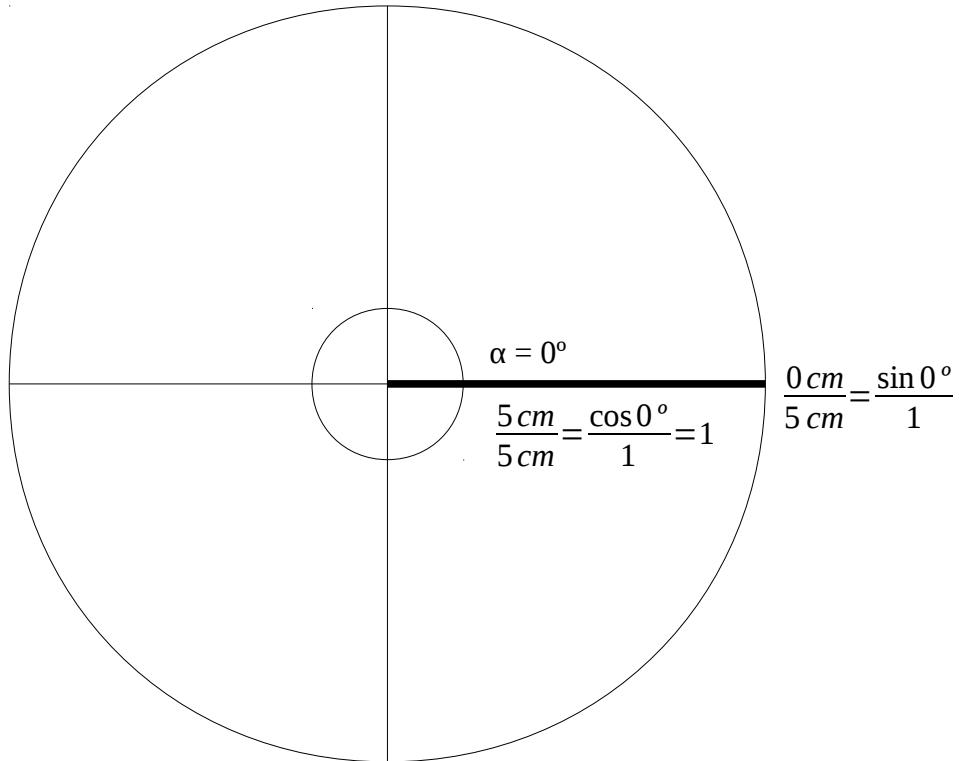
La coordenada horizontal, x, del punto que gira sobre el círculo se llama coseno, la vertical, y, se llama seno.

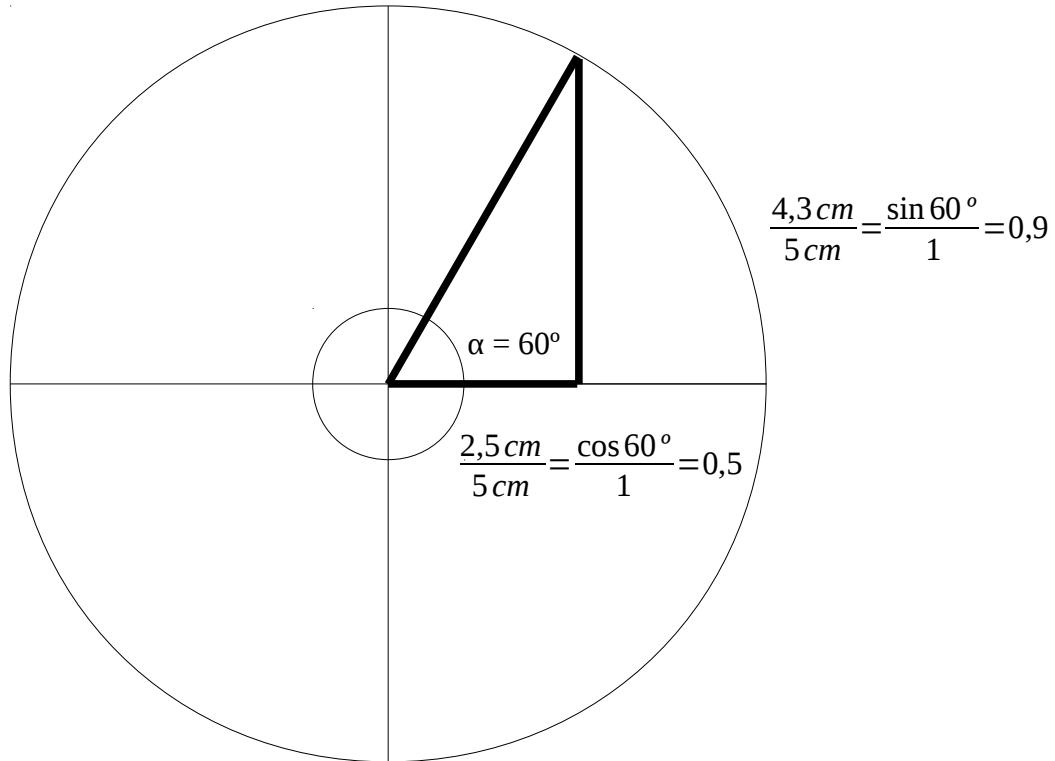


La siguiente tabla indica los valores de seno y coseno para un ciclo.

α	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°
α	0	$\frac{\pi}{6}$	$2 \cdot \frac{\pi}{6}$	$3 \cdot \frac{\pi}{6}$	$4 \cdot \frac{\pi}{6}$	$5 \cdot \frac{\pi}{6}$	$6 \cdot \frac{\pi}{6}$	$7 \cdot \frac{\pi}{6}$	$8 \cdot \frac{\pi}{6}$	$9 \cdot \frac{\pi}{6}$	$10 \cdot \frac{\pi}{6}$	$11 \cdot \frac{\pi}{6}$	$12 \cdot \frac{\pi}{6}$
$\sin \alpha$	0	0,5	0,9	1	0,9	0,5	0	-0,5	-0,9	-1	-0,9	-0,5	0
$\cos \alpha$	1	0,9	0,5	0	-0,5	-0,9	-1	-0,9	-0,5	0	0,5	0,9	1



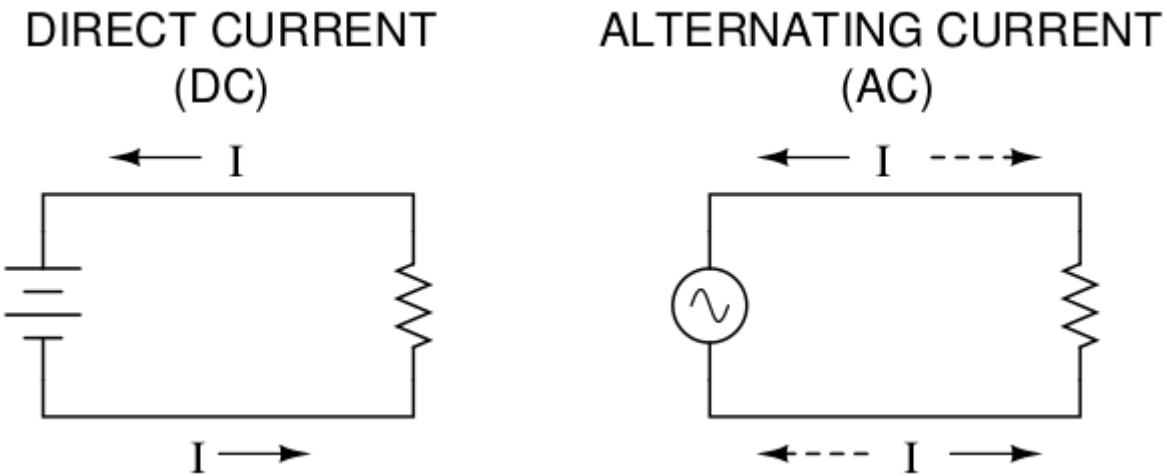




2 Corriente alterna (ca, AC), teoría básica

La mayoría de los estudiantes de electricidad comienzan su estudio con lo que se conoce como corriente continua (CC), que es la electricidad que fluye en una dirección constante, o que posee un voltaje con polaridad constante.

La CC es el tipo de electricidad producida por una batería, con un terminal positivo y otro negativo definidos. Por muy útil y fácil de entender que sea la corriente continua, no es el único "tipo" de electricidad que se utiliza. Ciertas fuentes de electricidad (en particular, los generadores electromecánicos rotativos) producen tensiones de polaridad alterna, invirtiendo los polos positivo y negativo a lo largo del tiempo. Ya sea como tensión que cambia de polaridad o como corriente que cambia de dirección. Este "tipo" de electricidad se conoce como corriente alterna (CA).



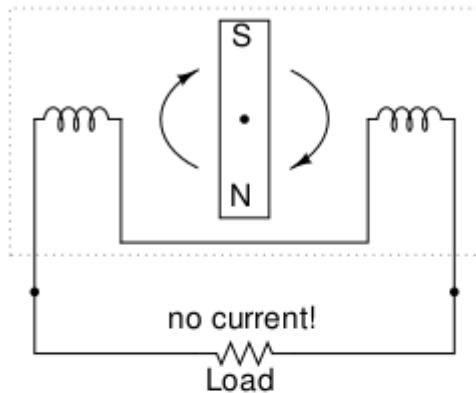
El símbolo de la batería se utiliza como símbolo genérico para cualquier fuente de tensión continua, el círculo con la línea ondulada en su interior es el símbolo genérico de cualquier fuente de tensión alterna.

En aplicaciones donde la electricidad se utiliza para disipar energía en forma de calor, la polaridad o el sentido de la corriente son irrelevantes, siempre que haya suficiente tensión y corriente en la carga para producir el calor deseado (dissipación de potencia). Sin embargo, con CA es posible construir generadores eléctricos, motores y redes de distribución mucho más eficientes que los de corriente continua. Para explicar en detalle las razones, son necesarios conocimientos básicos sobre la corriente alterna.

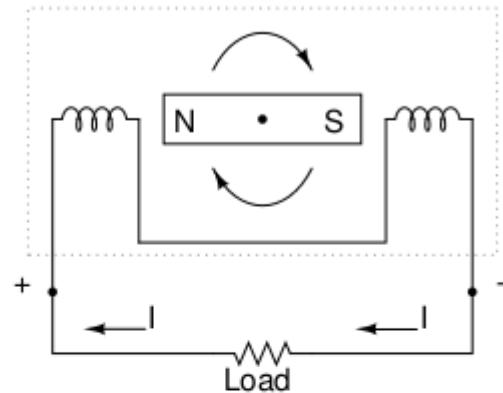
Una máquina, en la que un campo magnético gira, actuando sobre bobinas fijas, genera una corriente alterna en las bobinas, a causa de la inducción electromagnética.

Este es el principio de funcionamiento de un generador de CA, también conocido como alternador:

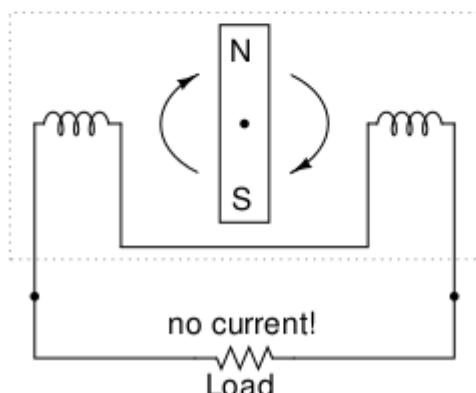
Step #1



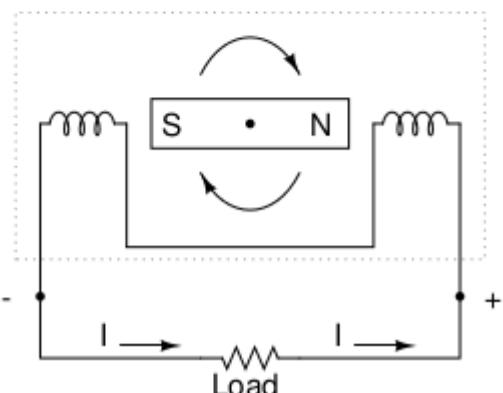
Step #2



Step #3



Step #4



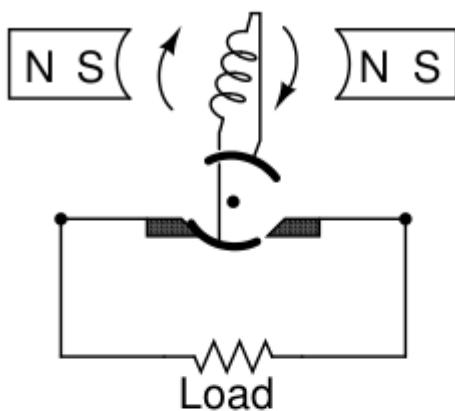
La polaridad de la tensión en las bobinas se invierte, al pasar los polos opuestos del imán giratorio. Al conectar una carga, la inversión de la polaridad de la tensión creará una inversión del sentido de la corriente en el circuito. Cuanto más rápido gire el eje del alternador, más rápido girará el imán, generando una tensión y corriente alternas que cambian de dirección más a menudo en un tiempo determinado. Es decir, aumenta la frecuencia de cambio de polaridad de la tensión y la corriente.

Power Plant Generator Working

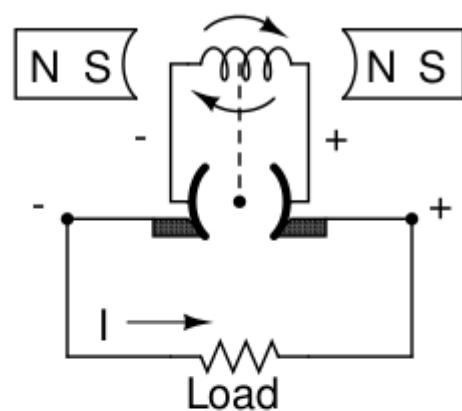
https://youtu.be/n0RMqn6cTBE?si=v1u6cmyTMJ_dw2-e

Aunque los generadores de corriente continua funcionan según el mismo principio de inducción electromagnética, su construcción no es tan sencilla como los de corriente alterna. En un generador de CC, la bobina se monta en el eje giratorio, mientras que el imán, en este caso fijo, se monta alrededor de la bobina móvil. Las conexiones eléctricas a la bobina giratoria se realiza mediante "escobillas" de carbono fijas, en contacto con el eje giratorio. Todo esto es necesario para conmutar la polaridad de salida, de modo que el circuito externo reciba una corriente que no cambie su polaridad.

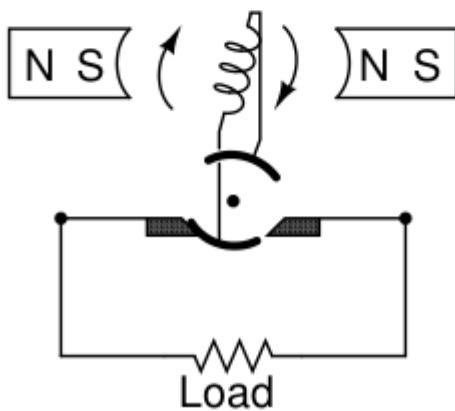
Step #1



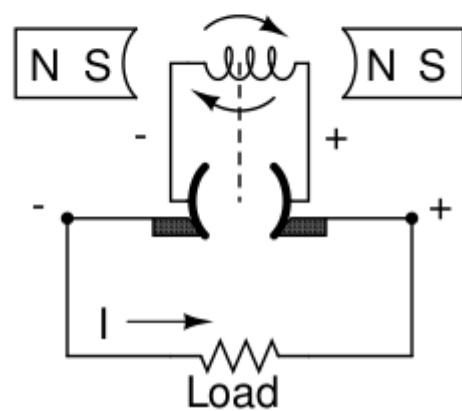
Step #2



Step #3



Step #4



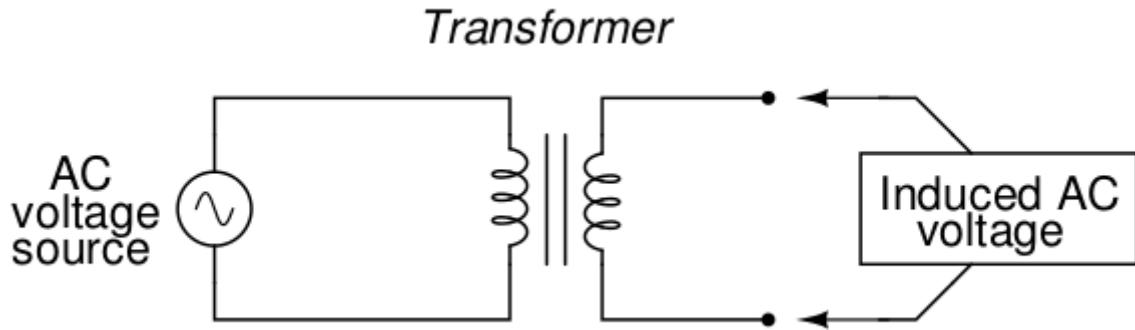
Este generador producirá dos impulsos de tensión por revolución del eje. Ambos impulsos tienen la misma dirección (polaridad). Para que un generador de CC produzca una tensión constante, en lugar de breves impulsos de tensión una vez cada 1/2 revolución, hay múltiples conjuntos de bobinas que hacen contacto intermitente con las escobillas. El diagrama anterior es una simplificación de un generador real.

Las interrupciones de contacto que se producen el eje y las escobillas causan chispas y calor, especialmente si el eje del generador gira a gran velocidad. Esto es especialmente peligroso en atmósferas inflamables o explosivas. Un generador de CA no necesita escobillas ni conmutadores para funcionar, evitándose los problemas de los generadores de corriente continua.

Las ventajas de la CA sobre la CC en el diseño de los generadores también se aplican a los motores eléctricos. Mientras que los motores de CC requieren el uso de escobillas para establecer contacto eléctrico con las bobinas en móviles, los motores de CA no las necesitan. De hecho, los diseños de los motores de CA y CC son muy similares a los de los generadores (idénticos a efectos de este tutorial). El motor de CA funciona con un campo magnético que invierte su polaridad continuamente, generado por unas bobinas fijas (stator). Este campo magnético variante provoca un momento de fuerza en el imán de polaridad fija sujeto al eje rotativo (rotor).

El motor de CC recibe la corriente de alimentación a través de las escobillas. El eje del rotor dispone de contactos, sobre los que presionan las escobillas, que invierten la dirección de la corriente en el bobinado del rotor cada 180° de giro. El rotor gira dentro de un campo magnético creado por unos imanes exteriores fijos (stator).

Los generadores y motores de CA suelen ser más sencillos que los generadores de CC. Esta relativa simplicidad se traduce en una mayor fiabilidad y menor coste de fabricación. Además de las ventajas mencionadas en motores y generadores, existe el efecto conocido como inducción mutua. Si se unen dos bobinas unidas por un núcleo conductor del campo magnético, la energía eléctrica se puede transmitir de una a otra, siempre que se produzca un campo magnético cambiante. Este es el caso si se aplica CA a una de las bobinas (primaria), la energía eléctrica será transmitida a la otra bobina (secundaria). Este dispositivo se conoce como transformador.



La posibilidad de aumentar o disminuir la tensión con facilidad, da a la CA una ventaja en el ámbito de la distribución de energía. Es más eficiente transportar energía eléctrica a largas distancias a alta tensión y baja corriente, ya que se reduce el diámetro de los cables conductores y las pérdidas de potencia resistiva. Para el uso industrial, comercial o de consumo, la tensión se reduce y la corriente aumenta. La tecnología de los transformadores ha hecho posible la distribución de energía eléctrica a larga distancia.

Sin la capacidad de subir y bajar el voltaje de forma eficiente, sería prohibitivo construir sistemas de energía para un uso que no sea a corta distancia (unos pocos kilómetros como máximo). Los transformadores, sólo funcionan con CA, no con CC. Como el fenómeno de la inductancia mutua se basa en campos magnéticos cambiantes, y la corriente continua sólo puede producir campos magnéticos estables, los transformadores no funcionan con corriente continua. Por supuesto, la corriente continua puede interrumpirse (pulsarse) a través del devanado primario de un transformador para crear un campo magnético cambiante (como se hace en los sistemas de encendido de automóviles para producir alto voltaje mediante una bujía a partir de una batería de CC de bajo voltaje), pero la CC pulsada no es muy diferente de la CA. Esta es la razón principal por la que la CA tiene una aplicación tan extendida en el transporte de la energía eléctrica.

Generator disassembly procedure

https://youtu.be/tTkFp4fScKE?si=Rim5G21rWW_R82x7

Generator Stator and Rotor Repairs

<https://youtu.be/hnne3Sm-5jU?si=46hH1atBrYZJBidx>

Resumen

- CC significa "corriente continua", es decir, tensión (corriente) que mantiene la misma polaridad (dirección) a lo largo del tiempo.
- CA significa "corriente alterna", es decir, tensión (corriente) que cambia de polaridad (dirección).
- Los generadores electromecánicos de CA, conocidos como alternadores, son de construcción más sencilla que los generadores electromecánicos de CC.
- El diseño de los motores de CA y CC sigue muy de cerca los principios de diseño de los generadores respectivos.
- Un transformador está constituido por un par de bobinas mutuamente inductivas utilizadas para transportar corriente alterna de una bobina a la otra. El número de espiras de cada bobina se ajusta para crear un aumento o disminución de la tensión de la bobina alimentada (primaria) a la bobina no alimentada (secundaria).
- Tensión secundaria = Tensión primaria (espiras secundarias / espiras primarias)
- Corriente secundaria = Corriente primaria (espiras primarias / espiras secundarias)

3 Formas de onda en CA

Cuando un alternador produce tensión alterna, la tensión cambia de polaridad con el tiempo, pero lo hace de una manera muy particular. Representada gráficamente a lo largo del tiempo, la "onda" trazada por esta tensión se conoce como onda sinusoidal.

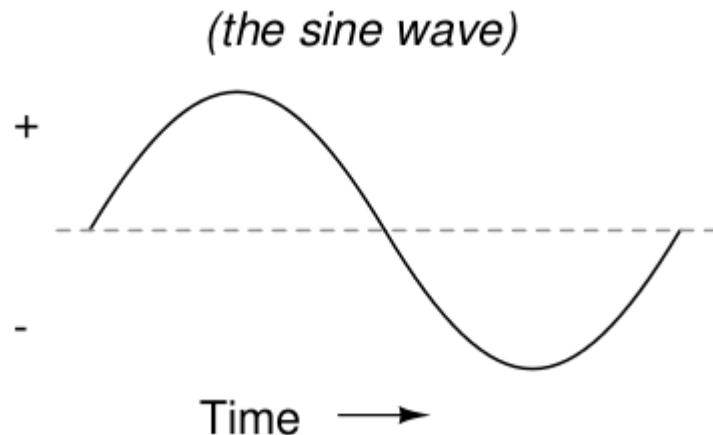


Table 1.1: Trigonometric “sine” function.

Angle ($^{\circ}$)	$\sin(\text{angle})$	wave	Angle ($^{\circ}$)	$\sin(\text{angle})$	wave
0	0.0000	zero	180	0.0000	zero
15	0.2588	+	195	-0.2588	-
30	0.5000	+	210	-0.5000	-
45	0.7071	+	225	-0.7071	-
60	0.8660	+	240	-0.8660	-
75	0.9659	+	255	-0.9659	-
90	1.0000	+peak	270	-1.0000	-peak
105	0.9659	+	285	-0.9659	-
120	0.8660	+	300	-0.8660	-
135	0.7071	+	315	-0.7071	-
150	0.5000	+	330	-0.5000	-
165	0.2588	+	345	-0.2588	-
180	0.0000	zero	360	0.0000	zero

En el gráfico de tensión de un alternador, el cambio de una polaridad ocurre de forma gradual.

El valor de tensión cambia más rápidamente en el punto cero, el cruce del gráfico con el eje horizontal del tiempo, proporcional al ángulo, y más lentamente en su punto máximo, su pico. En la tabla de valores se muestra la correspondencia entre el ángulo de giro, que es proporcional al tiempo transcurrido, y el valor de la tensión generada.

$$\alpha = \omega \cdot t \cdot \frac{360^\circ}{2\pi}$$

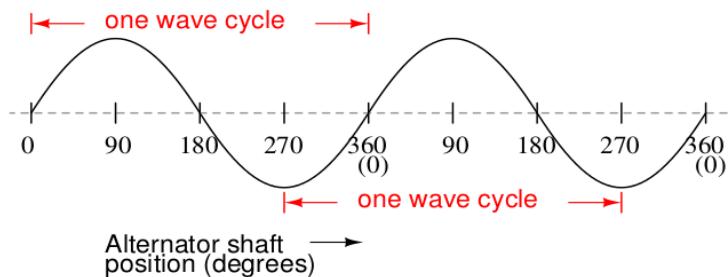
α ángulo en grados

ω velocidad angular en radianes entre segundo $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$

t tiempo en segundos

La razón por la que un alternador genera CA sinusoidal se debe a las leyes físicas que determinan el efecto del movimiento rotativo de un campo magnético sobre una bobina. La tensión producida en las bobinas estacionarias por el movimiento del imán giratorio, es proporcional a la velocidad de variación del flujo magnético en la bobina (Ley de Faraday de la inducción electromagnética). Esta velocidad es mayor cuando los polos del imán están más cerca de las bobinas, y menor cuando los polos del imán están más alejados de las bobinas. Matemáticamente, la velocidad de cambio del flujo magnético producida por un imán giratorio sigue una función sinusoidal, por lo que la tensión producida por las bobinas sigue esa misma función.

La evolución de la tensión producida por una bobina de un alternador desde cualquier punto del gráfico de la onda sinusoidal hasta el punto en que la forma de la onda empieza a repetirse, se llama un ciclo. Una manera sencilla de identificar un ciclo es observar la distancia entre picos de tensión de la misma polaridad. Los grados en el eje horizontal del gráfico corresponden a la posición angular del eje del alternador.



El eje horizontal de este gráfico puede indicar el paso del tiempo o la posición del eje en grados, ya que existe una relación proporcional entre ángulo recorrido y tiempo, si la velocidad de giro es constante. El periodo T de una onda se mide en segundos y corresponde al tiempo necesario para realizar un ciclo (un giro completo del rotor). El periodo de una onda en grados es siempre 360, sin embargo el periodo correspondiente depende de la velocidad de giro.

El número de ciclos que una onda realiza en un segundo, se denomina frecuencia. La unidad moderna de frecuencia es el hercio (abreviado Hz). En los Estados Unidos de América, la frecuencia estándar de la red eléctrica es de 60 Hz, lo que significa que la tensión alterna oscila a un ritmo de 60 ciclos cada segundo. En Europa, donde la frecuencia del sistema eléctrico es de 50 Hz, la tensión alterna sólo completa 50 ciclos por segundo. El transmisor de una emisora de radio que emite a una frecuencia de 100 MHz genera una tensión alterna que oscila a un ritmo de 100 millones de ciclos por segundo.

El periodo y la frecuencia son matemáticamente recíprocos. Si una onda tiene un periodo de 10 segundos, su frecuencia será de 0,1 Hz, es decir, 1/10 de ciclo por segundo.

$$f = \frac{1}{T}$$

f frecuencia en Hz

T periodo de un ciclo en s

Los alternadores electromecánicos y muchos otros fenómenos físicos producen ondas sinusoidales, pero este no es el único tipo de onda alterna que existe. Las siguientes imágenes muestran algunos tipos de onda que se producen habitualmente en circuitos electrónicos.

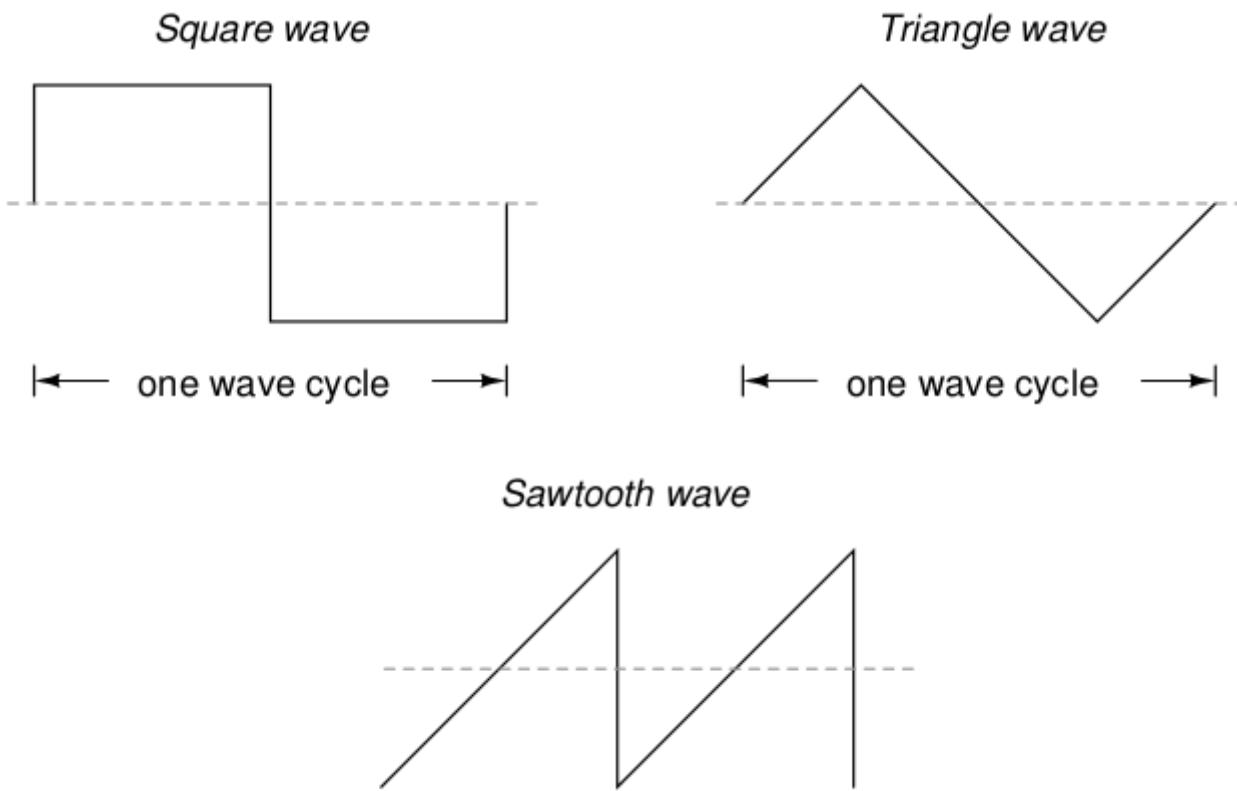


Figure 1.13: Some common waveshapes (waveforms).

Estas formas de onda no son, ni mucho menos, las únicas que existen. Son simplemente algunas de las más comunes. Algunas formas de onda son tan complejas que desafían la clasificación como un "tipo" particular. En general, cualquier forma de onda que se asemeje a una onda sinusoidal perfecta se denomina onda sinusoidal, y aquellas que no se asemejan se denominan ondas no sinusoidales. Dado que la forma de onda de una tensión o corriente alterna es crucial para su efecto en un circuito, es necesario determinar la forma de la onda y tener en cuenta que hay formas muy diversas.

Resumen

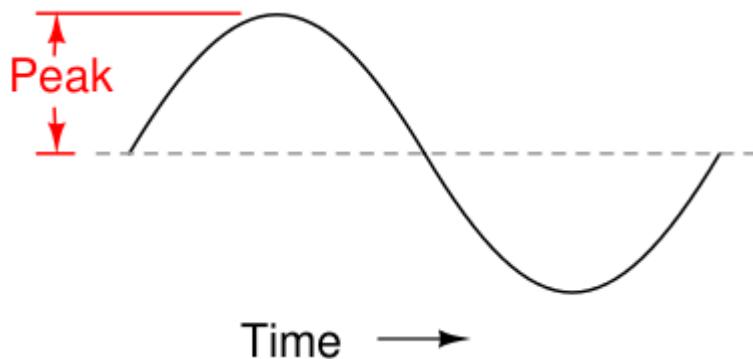
- El gráfico de la CA producida por un alternador es el de una onda sinusoidal.
- El ciclo de una onda es una evolución completa de su forma hasta el punto en que comienza a repetirse.
- El periodo T de una onda es el tiempo que tarda en completar un ciclo.
- La frecuencia es el número de ciclos que completa una onda en un tiempo determinado. Suele medirse en hercios (Hz). 1 Hz equivale a un ciclo de onda completo por segundo.
- Frecuencia = $1/(\text{periodo en segundos})$

4 Medición en CA

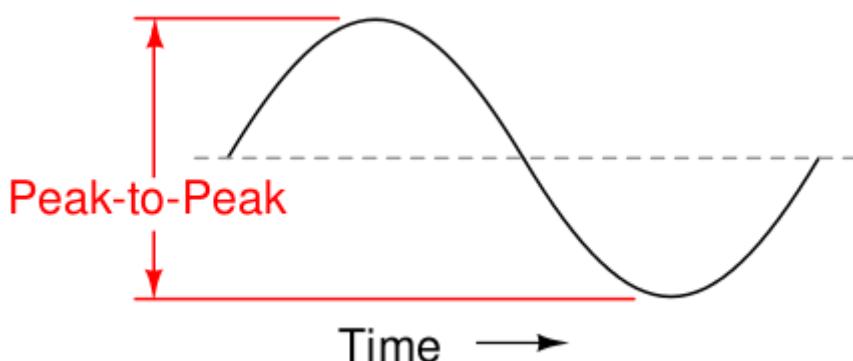
La tensión alterna invierte su polaridad y que la corriente alterna su dirección. Además, la CA puede presentarse en una variedad de formas de onda. La velocidad de alternancia, es decir, el tiempo que tarda en evolucionar una onda antes de repetirse, es el periodo, y se expresa en ciclos por unidad de tiempo, o "frecuencia".

Sin embargo, se presenta un problema a la hora de medir valores en CA, pues están variando continuamente. En CC, tensión y corriente son estables, manteniendo su valor a lo largo del tiempo. Esto permite expresar su valor fácilmente. ¿Pero, cómo se puede dar una medida de algo que cambia continuamente?

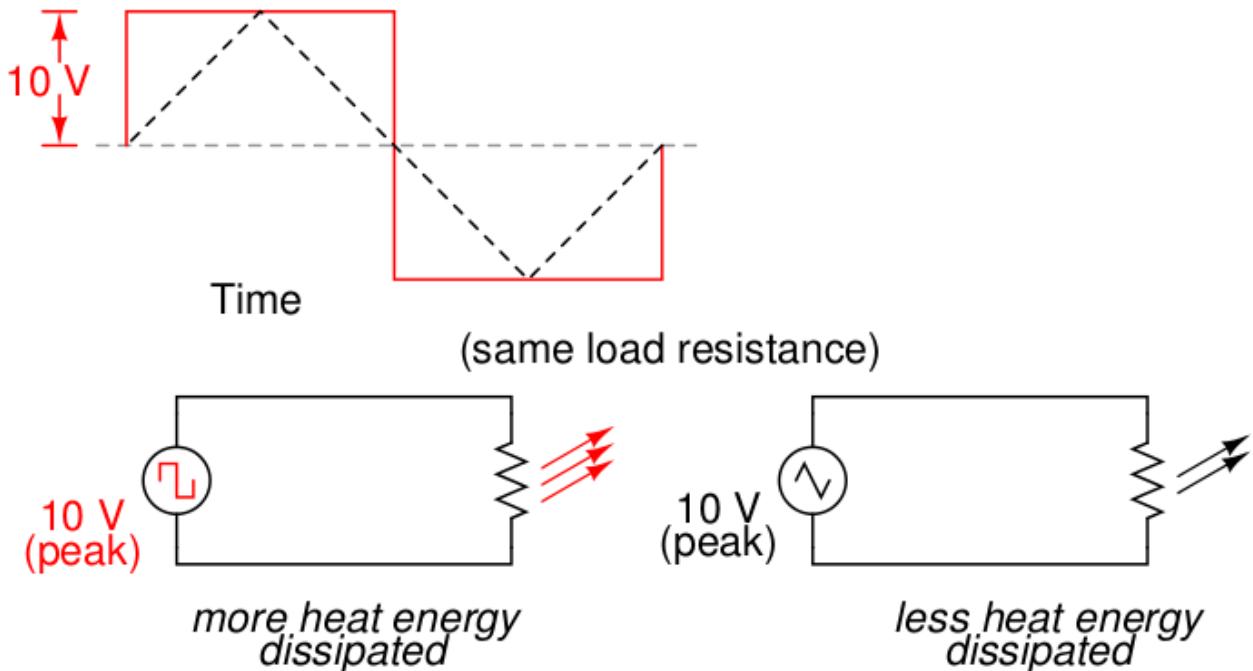
Una forma de expresar una magnitud en CA es indicar el valor máximo alcanza la onda (valor pico).



Otra forma de indicar una magnitud es medir la altura total entre picos opuestos. Esto se conoce como **valor pico a pico** de una forma de onda de CA.

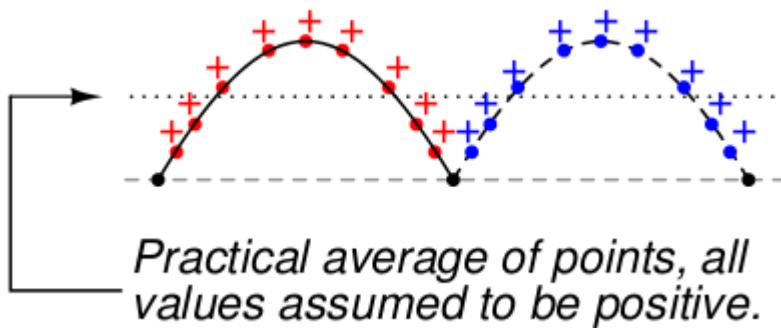


Desgraciadamente, cualquiera de estas expresiones de la amplitud de la onda puede inducir a error cuando se comparan dos tipos diferentes de ondas. Por ejemplo, una onda cuadrada con un pico de 10 voltios mantiene la tensión durante un mayor tiempo que una onda triangular de la misma amplitud. El efecto de estos dos tipos de onda serían bastante diferentes si se conectase una resistencia y se midiese la potencia disipada.



Una forma más acertada de expresar la amplitud de diferentes formas de onda es calcular un valor medio. Esta medida de amplitud se conoce como valor medio de la forma de onda. Si se calcula el valor medio considerando todos los puntos de la onda, es decir, teniendo en cuenta su signo, positivo o negativo, el valor medio de la mayoría de las ondas es cero, porque los puntos positivos y negativos se anulan a lo largo de un ciclo completo (ondas simétricas respecto al eje del tiempo).

Para evitar la compensación de valores positivos y negativos, que resulta en un valor medio de cero, lo que se hace es calcular el valor medio, considerando únicamente el valor absoluto de la onda, es decir, tratando los valores negativos como positivos.



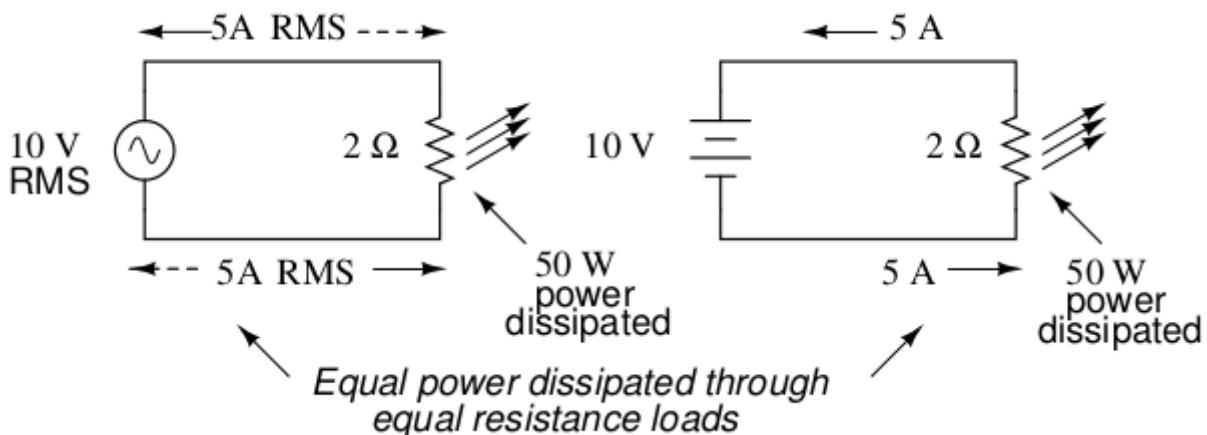
Un dispositivo de medición insensible a la polaridad, es decir, diseñado para responder por igual a los valores positivos y negativos de una tensión o corriente alterna, muestra el valor medio práctico de la forma de onda, porque la inercia de la aguja contra la tensión del muelle promedia de forma natural la fuerza producida por las variaciones de tensión o corriente.

Por el contrario, los movimientos de los medidores sensibles a la polaridad vibran inútilmente si se exponen a una tensión o corriente alterna de onda simétrica respecto al valor cero, ya que sus agujas oscilan alrededor del valor cero.

Otro método para obtener un valor para la amplitud de la forma de onda se basa en la capacidad de la forma de onda para realizar un trabajo útil cuando se aplica a una resistencia.

Lamentablemente, una medición de CA basada en el trabajo realizado por una forma de onda difiere del valor promedio práctico de esa forma de onda, porque la potencia disipada por una carga (trabajo realizado por unidad de tiempo $P = \frac{W}{t}$) no es directamente proporcional al valor de tensión o corriente aplicada sobre ella. Más bien, la potencia es proporcional al cuadrado de la tensión o la corriente aplicada a una resistencia ($P = \frac{E^2}{R}$ y $P = I^2 \cdot R$).

La idea que se utiliza para asignar una medida "equivalente en CC" a cualquier tensión o corriente alterna es buscar un valor de tensión o corriente continua que produciría la misma cantidad de calor (potencia disipada) en una resistencia, que la tensión o corriente alterna.



En los dos circuitos anteriores, tenemos la misma resistencia de carga (2Ω) disipando la misma potencia en forma de calor (50 vatios), uno alimentado por CA y el otro por CC. Dado que la fuente de tensión alterna de la imagen anterior es equivalente (en términos de potencia suministrada a una carga) a una fuente de tensión continua de 10 voltios, la llamaríamos fuente de CA de "10 voltios". Más concretamente, indicaríamos que su valor de tensión es de 10 voltios RMS. El calificativo "RMS" significa Root Mean Square, el algoritmo utilizado para obtener el valor equivalente de CC

a partir de los puntos de una onda, consiste en elevar al cuadrado todos los puntos positivos y negativos de la onda, calcular la media de estos valores (cuadrados) y sacar la raíz cuadrada de esa media para obtener el valor final. La traducción al español de valor RMS es valor eficaz. Los valores eficaces de tensión y corriente equivalen a los de CC a la hora de calcular la potencia eléctrica transformada en una resistencia.

Los valores eficaces son la mejor manera de relacionar los valores de CA con los de CC, cuando se trata de mediciones de potencia eléctrica. Por ejemplo, a la hora de determinar la sección adecuada del cable, lo mejor es utilizar la medición de la corriente RMS, ya que el calentamiento del cable está relacionado con la disipación de potencia causada por la corriente, debido a la resistencia del cable.

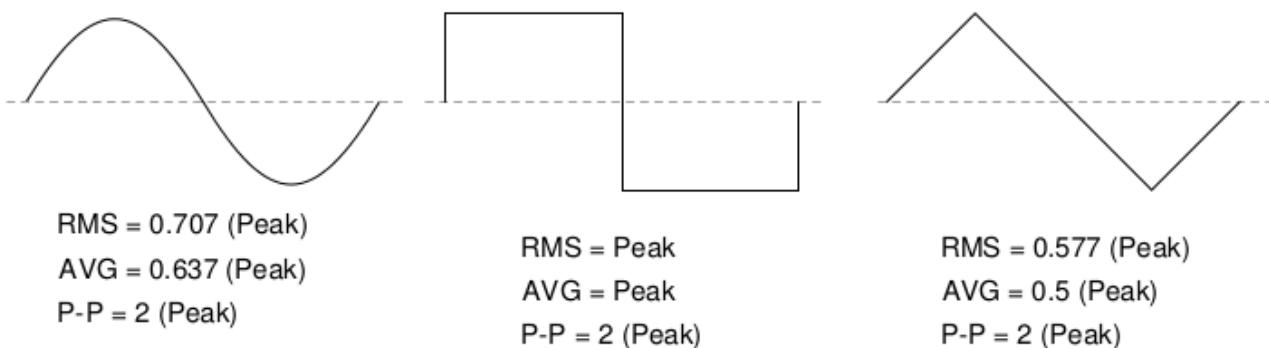
Hay casos en los que la medición del valor pico pueden ser más adecuada, por ejemplo al clasificar aislantes en aplicaciones de CA de alta tensión. En este caso interesan los picos de tensión, porque son los que pueden causar la ineficacia del material aislante.

Para las mediciones de pico y pico a pico, es conveniente utilizar un osciloscopio, ya que permite visualizar las crestas de la onda con un alto grado de precisión.

Los polímetros habitualmente utilizados, indican los valores de tensión y corriente eficaces.

Algunos fabricantes de instrumentos han diseñado métodos ingeniosos para determinar el valor eficaz de cualquier forma de onda. Uno de estos fabricantes produce medidores "True-RMS" con un diminuto elemento calefactor resistivo, alimentado por una tensión proporcional a la tensión medida. El efecto de calentamiento de la resistencia se mide térmicamente para dar un valor eficaz sin cálculos matemáticos de ningún tipo. La precisión de este tipo de medición es independiente de la forma de onda.

Para las formas de onda "puras", existen coeficientes de conversión sencillos para calcular las equivalencias entre valores pico, pico a pico, medio práctico o eficaz.

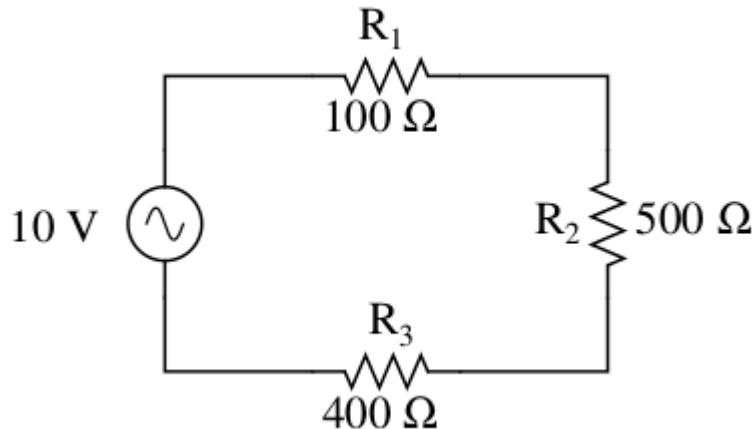


Resumen

- La amplitud de una onda de CA es su altura representada en un gráfico a lo largo del tiempo. La medida de amplitud se puede expresar en forma de pico, pico a pico, valor medio práctico o RMS.
- La amplitud de pico es la altura de una onda de CA medida desde el valor cero hasta el punto positivo más alto o el punto negativo más bajo en un gráfico. También se conoce como amplitud de cresta.
- La amplitud pico a pico es la altura total de una onda de CA medida desde el pico máximo positivo hasta el pico máximo negativo de un gráfico. A menudo se abrevia como "P-P".
- La amplitud media es la "media" matemática de todos los puntos de una forma de onda durante el periodo de un ciclo. Técnicamente, la amplitud media de cualquier forma de onda con porciones de igual área por encima y por debajo de la línea "cero" de un gráfico es cero. Sin embargo, como medida práctica de amplitud, el valor medio de una forma de onda suele calcularse como la media matemática de los valores absolutos de todos los puntos (tomando todos los valores negativos y considerándolos positivos). Para una onda sinusoidal, el valor medio así calculado es aproximadamente 0,637 de su valor máximo.
- "RMS" significa Root Mean Square (en español valor eficaz) y es una forma de expresar una cantidad de voltaje o corriente alterna en términos funcionalmente equivalentes a la corriente continua. Por ejemplo, 10 voltios CA RMS es la cantidad de tensión que produciría la misma disipación de calor en una resistencia de un valor determinado que una fuente de alimentación de 10 voltios CC. Para una onda sinusoidal, el valor eficaz es aproximadamente 0,707 de su valor de cresta.

5 Cálculos simples en circuitos de CA

Las mediciones y los cálculos de circuitos de CA pueden ser muy complicados cuando incluyen inductancias (bobinas) y capacitancias (condensadores). Sin embargo, en circuitos sencillos, compuestos únicamente por fuentes de alimentación y resistencias, se aplican las mismas leyes y reglas que en los circuitos de CC.



$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 = 1 k\Omega$$

$$I_{total} = \frac{E}{R_{total}} = \frac{10 V}{1 k\Omega} = 10 mA$$

$$E_{R1} = R_1 \cdot I_{total} = 100 \Omega \cdot 10 mA = 1 V$$

$$E_{R2} = R_2 \cdot I_{total} = 500 \Omega \cdot 10 mA = 5 V$$

$$E_{R3} = R_3 \cdot I_{total} = 400 \Omega \cdot 10 mA = 4 V$$

Las resistencias en serie siguen sumándose, la resistencia total (equivalente) de resistencias conectadas en paralelo sigue disminuyendo, y las Leyes de Kirchhoff y de Ohm siguen aplicándose igual que en los circuitos de CC. En realidad estas reglas y leyes siempre son aplicables, sólo que en circuitos de CA con bobinas y condensadores, es necesario expresar la tensión, la corriente y la oposición a la corriente (resistencia) en un lenguaje matemático más complejo. Sin embargo, con circuitos puramente resistivos, la complejidad de la CA no tienen consecuencias prácticas, por lo que podemos tratar los valores como si se tratara de simples magnitudes de CC.

Dado que todas estas relaciones matemáticas siguen siendo válidas, se puede utilizar el método de "tabla" para organizar los valores de los circuitos, al igual que con la corriente continua.

	R_1	R_2	R_3	Total	
E	1	5	4	10	Volts
I	10m	10m	10m	10m	Amps
R	100	500	400	1k	Ohms

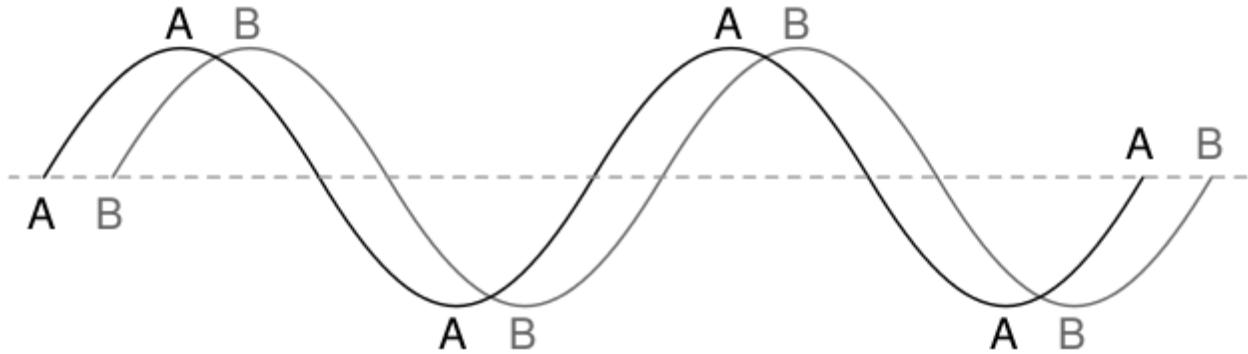
Aquí hay que hacer una advertencia importante, todas las mediciones de tensión y corriente alterna deben expresarse en los mismos términos (pico, pico a pico, valor medio práctico o valor eficaz). Si la tensión de la fuente se expresa en voltios pico de CA, todas las corrientes y tensiones calculadas posteriormente se expresarán en unidades de pico. Si la tensión de la fuente se indica en valor eficaz de CA, todas las corrientes y tensiones se calculan también en unidades eficaces de CA. Esto es válido para cualquier cálculo basado en las leyes de Ohm, Kirchhoff, etc. A menos que se indique lo contrario, todos los valores de tensión y corriente en circuitos de CA se asumen como eficaces en lugar de pico, valor medio práctico o pico a pico. En algunas áreas de la electrónica, se hacen mediciones de pico, pero en la mayoría de las aplicaciones, especialmente en la electrónica industrial, se supone que son valores eficaces (RMS).

Resumen

- Las reglas y leyes conocidas de los circuitos de CC son aplicables en los de CA. Sin embargo, con circuitos más complejos (bobinas y condensadores), es necesario representar las magnitudes de CA en formas más complejas.
- El método de la "tabla" para organizar los valores del circuito sigue siendo válido para los circuitos de CA.

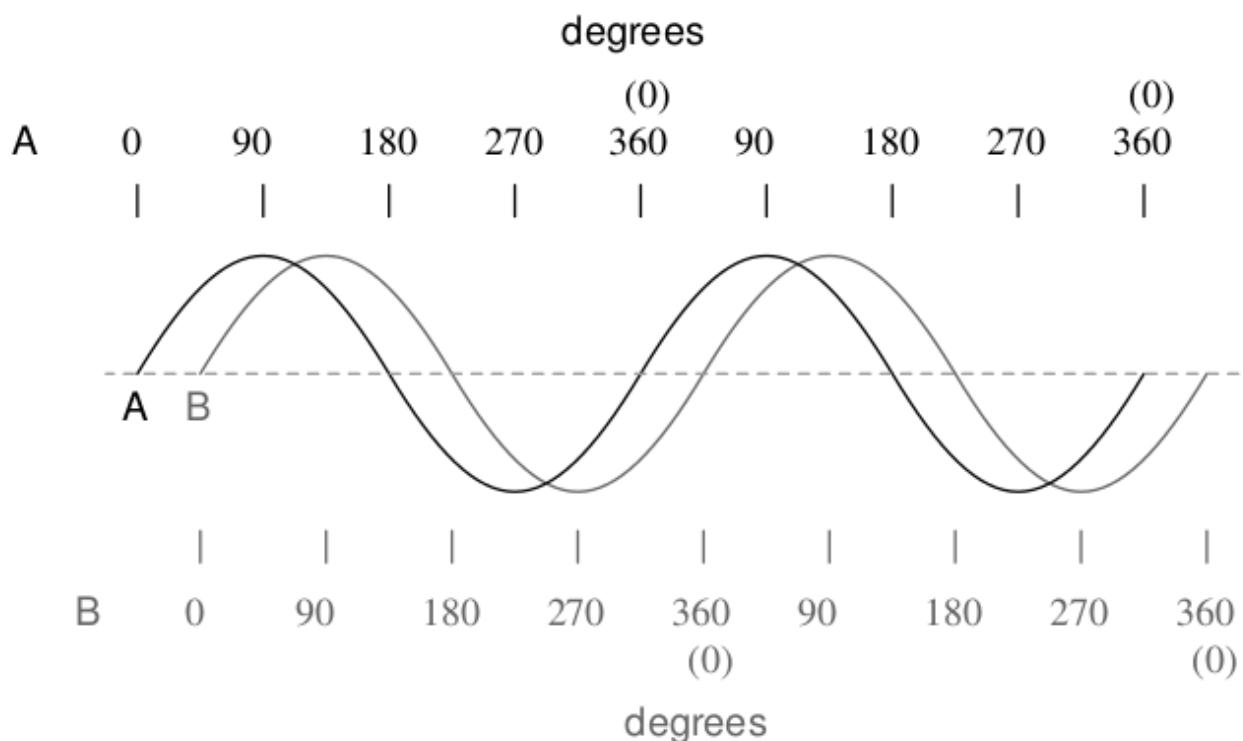
6 Fase en CA

Las cosas empiezan a complicarse cuando necesitamos relacionar dos o más tensiones o corrientes alternas que están desfasadas entre sí. Desfasadas significa que las dos formas de onda no están sincronizadas: que sus picos y puntos cero no coinciden en los mismos momentos.

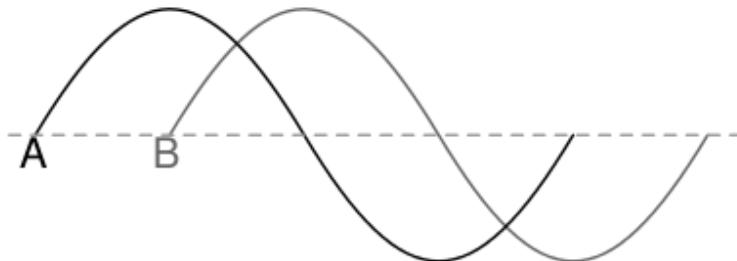


Las dos ondas mostradas, A y B, tienen la misma amplitud y frecuencia, pero están desfasadas. Anteriormente se vio cómo trazar una "onda sinusoidal" calculando la función trigonométrica seno para ángulos que van de 0 a 360 grados, un círculo completo. El punto de partida de una onda sinusoidal era cero, la amplitud a cero también, aumentando hasta alcanzar la amplitud positiva máxima a 90 grados, volviendo a cero a 180 grados, alcanzando el pico negativo a 270 grados, y volviendo al punto inicial de cero a 360 grados.

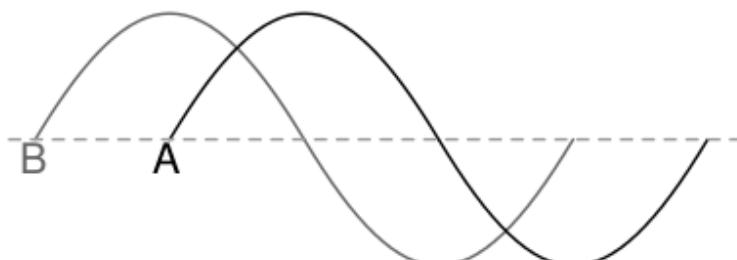
Se puede utilizar esta escala angular a lo largo del eje horizontal del gráfico de onda para expresar en cuantos grados está desfasada una onda con respecto a otra.



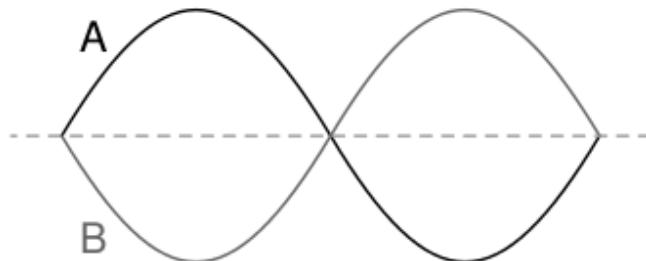
El desfase entre estas dos formas de onda es de unos 45 grados, estando la onda "A" por delante de la "B". Para ilustrar mejor este concepto, en los gráficos siguientes se ofrece una muestra de diferentes desplazamientos de fase.



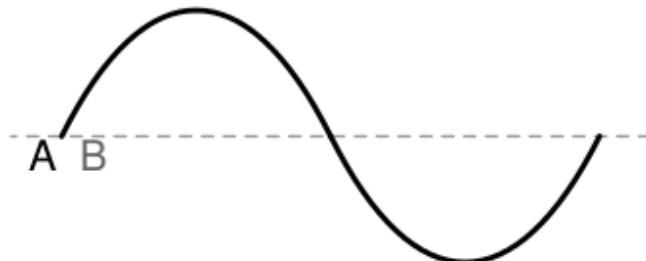
Phase shift = 90 degrees
A is ahead of B
(A "leads" B)



Phase shift = 90 degrees
B is ahead of A
(B "leads" A)



Phase shift = 180 degrees
A and B waveforms are
mirror-images of each other



Phase shift = 0 degrees
A and B waveforms are
in perfect step with each other

Las ondas de los ejemplos anteriores están a la misma frecuencia, el valor de su desfase es constante, independiente del tiempo, es decir, el desfase es independiente del momento en el que se mide.

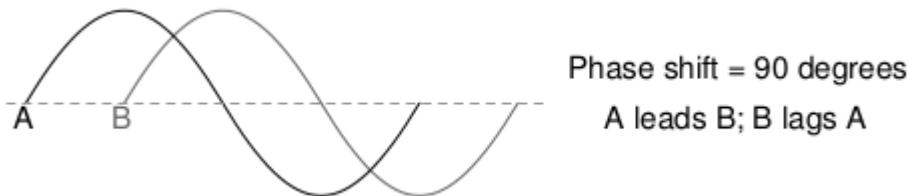
Por ejemplo, se puede afirmar que "la tensión 'A' está 45 grados desfasada con respecto a la tensión 'B'". Cualquiera que sea la forma de onda que está por delante en su evolución se dice que está adelantada y la que está detrás se dice que va atrasada.

El desfase, siempre es una medida relativa entre dos ondas. No existe una referencia universal para la fase. Normalmente en el análisis de los circuitos de CA, la onda del voltaje de la fuente de alimentación se utiliza como referencia para la fase. Ese voltaje se establece como “xxx voltios a 0 grados”. Cualquier desfase de otras tensiones o corrientes del circuito serán relativos a la tensión de la fuente.

Por este motivo los cálculos de circuitos de CA son más complicados que los de CC. Al aplicar la Ley de Ohm y las Leyes de Kirchhoff, los voltajes y las corrientes de CA deben reflejar el desplazamiento de fase y la amplitud (valor pico). Las operaciones matemáticas de suma, resta, multiplicación y división deben aplicarse teniendo en cuenta el desplazamiento de fase y la amplitud. Afortunadamente, existe un sistema matemático llamado números complejos que permite realizar estos cálculos.

Resumen

- Un desplazamiento en el eje del tiempo entre dos ondas se llama desfase.
- El desfase entre dos ondas se puede expresar en grados, tomando como referencia el eje horizontal de la representación gráfica de la onda.
- Una onda adelantada se define como la onda que va por delante de otra en su evolución.
- Una onda atrasada es la que está por detrás de otra. Por ejemplo:



- Los cálculos para el análisis de circuitos de CA deben tener en cuenta tanto la amplitud como el desfase de las ondas de voltaje y corriente. Esto requiere el uso de un sistema matemático llamado *números complejos*.

[https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnolog%C3%ADa_Electr%C3%B3nica/Libro_3A_Circuitos_el%C3%A9ctricos_II_-_Corriente_alterna_\(Kuphaldt\)/01%C3%A3_Teor%C3%ADa_b%C3%A1sica_de_AC/1.05%C3%A3_Fase_AC](https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnolog%C3%ADa_Electr%C3%B3nica/Libro_3A_Circuitos_el%C3%A9ctricos_II_-_Corriente_alterna_(Kuphaldt)/01%C3%A3_Teor%C3%ADa_b%C3%A1sica_de_AC/1.05%C3%A3_Fase_AC)

Ejercicio 5.1

Representa el gráfico de las dos ondas descritas por $Onda\ 1=10 \cdot \sin \alpha$ y $Onda\ 2=7 \cdot \sin \alpha$.

Se toma como referencia la onda 1.

Estando las ondas 1 y 2 en fase

Con un desfase de 10° , estando la onda 2 adelantada.

Con un desfase de 20° , estando la onda 2 atrasada.

Con un desfase de 30° , estando la onda 2 adelantada.

Con un desfase de 40° , estando la onda 2 atrasada.

[Enlace al modelo de la hoja de cálculo](#)

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ZzRPuafPXWGrYxkuuGaF6_VTiD7RN_pWwD1RFInNLHY/edit?usp=sharing

Estos apuntes son una adaptación de “[Lessons In Electric Circuits – Volume II - AC](#)” , del autor Tony R. Kuphaldt.

Traducción y adaptación Paulino Posada

Traducción realizada con la versión gratuita del traductor www.DeepL.com/Translator