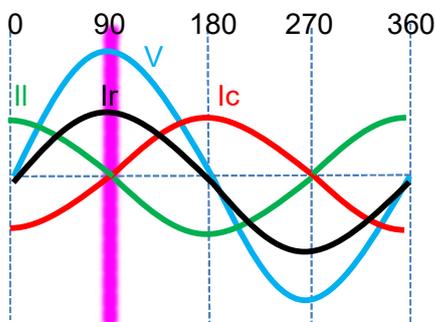




### LA ENERGÍA REACTIVA

#### (DOCUMENTO TÉCNICO #5 V0.0 WEB 2025)

- Cuando se alimenta una carga resistiva lineal con una tensión alterna, la corriente circulante tiene la misma forma y desfase.
- Cuando se alimenta una carga inductiva **pura** lineal con una tensión alterna, la corriente circulante tiene la misma forma pero hay un desfase de 90° en adelanto. Es porque la corriente genera un **campo magnético** que requiere tiempo para establecerse y desaparecer.
- Cuando se alimenta una carga capacitiva **pura** lineal con una tensión alterna, la corriente circulante tiene la misma forma pero hay un desfase de 90° en retraso. Es porque la tensión aplicada genera un **campo eléctrico** que requiere tiempo para establecerse y desaparecer.



$$u_L(t) = L * \frac{di(t)}{dt}$$

$$u_C(t) = u_0 + \int_0^t i(t) * dt$$

$$i_L(t) = i_0 + \int_0^t v(t) * dt$$

$$i_C(t) = C * \frac{du(t)}{dt}$$

$$L \text{ (cilíndrica)} = N^2 * \frac{\mu r * \mu_0 * A}{l}$$

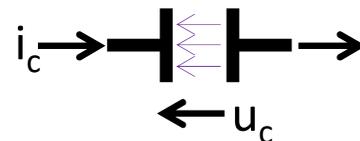
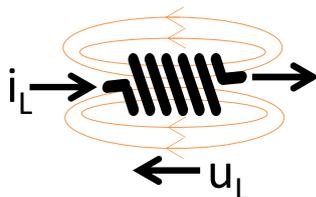
$$C = \epsilon * \frac{S}{d} \text{ (plano)}$$

$$A = \pi * r^2 \text{ (cilindro)}$$

$\mu r$  = permeabilidad relativa  
 $\mu_0$  = permeabilidad del vacío

$d$  = distancia entre placas  
 $S$  = área placas

$\epsilon$  = permeabilidad del dieléctrico



Hay una dualidad CORRIENTE-TENSIÓN entre una bobina y un condensador (lo que le pasa a la tensión en uno le pasa a la corriente en el otro y viceversa). Vamos a estudiar antes los comportamientos con la corriente continua.

- Cuando el condensador se va cargando a la tensión que se aplica (la tensión crece siguiendo una ley exponencial hasta un valor constante) la corriente es muy grande al principio y va bajando hasta anularse en régimen permanente. Es un circuito abierto en régimen permanente.
- Cuando la bobina se va cargando (la corriente crece hasta un valor constante) la tensión que soporta es muy alta al principio y va bajando hasta anularse en régimen permanente. Es un cortocircuito en régimen permanente.

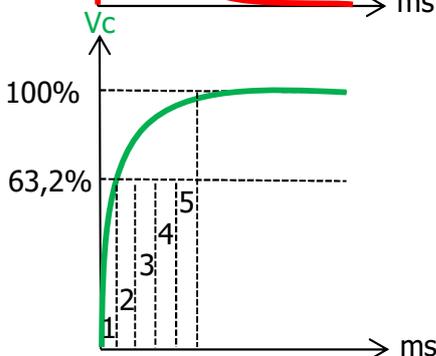
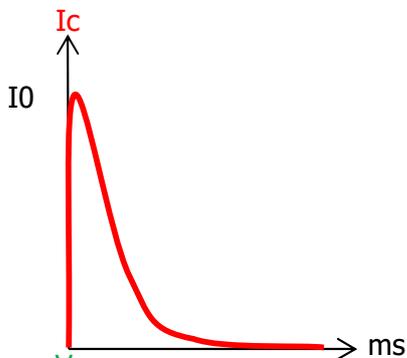
#### PROCESO DE CARGA DE UN CONDENSADOR (transitorio de carga en CC)

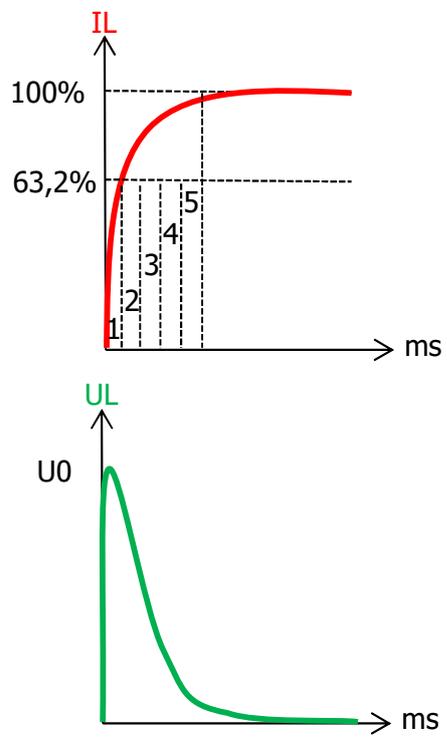
Un condensador almacena energía en forma de campo eléctrico caracterizado por la tensión o diferencia de potencial entre placas.

Al aplicar una tensión CC al condensador, hay una alta  $du(t)/dt$  por lo que la corriente será muy alta. A medida que el condensador se carga, la tensión sube y la corriente baja según la ley indicada .

$T = R_C * C$  es la constante de tiempo y define el tiempo que se tarda en llegar hasta el 63'2% de la carga final (parámetro muy habitual en la técnica y suele verse en muchos casos en los que la variable sigue una ley exponencial). Al cabo de unas 5 constantes de tiempo aproximadamente el proceso ha llegado al régimen permanente.

Para la descarga ocurriría lo recíproco.





**PROCESO DE CARGA DE UNA BOBINA (transitorio de carga en CC)**

Una bobina almacena energía en forma de campo magnético caracterizado por la corriente que la circula.

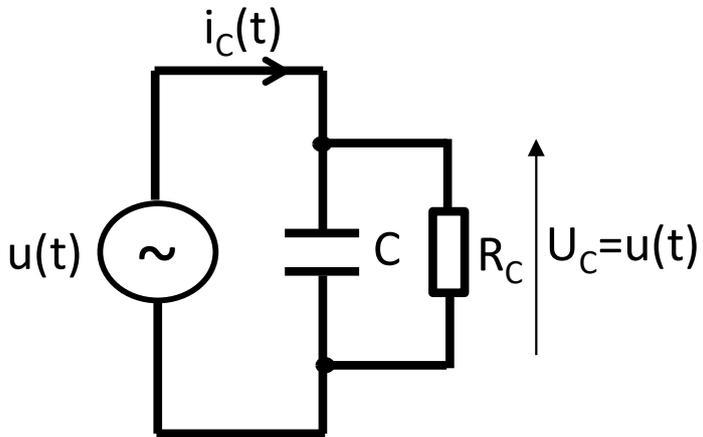
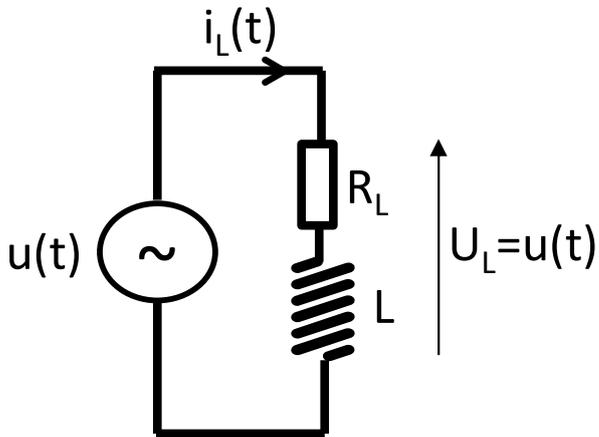
Al comenzar a circular una corriente por la bobina, hay una alta  $di(t)/dt$  por lo que la tensión será muy alta. A medida que la bobina se carga, la corriente sube y la tensión baja según la ley indicada .

$T=L/R_L$  es la constante de tiempo y define el tiempo que se tarda en llegar hasta el 63,2% de la carga final (parámetro muy habitual en la técnica y suele verse en muchos casos en los que la variable sigue una ley exponencial). Al cabo de unas 5 constantes de tiempo aproximadamente el proceso ha llegado al régimen permanente.

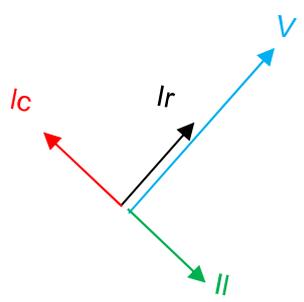
Para la descarga ocurriría lo recíproco.

Vale, ya hemos visto cómo va esto con la corriente continua, pero ¿Cómo va con la alterna y la realidad industrial?.

- Bueno, pues las fórmulas de la página anterior siguen siendo válidas, sólo que la ley que rige la tensión de suministro sería senoidal y de valor conocido (siempre fluctúa) . Si suponemos una alimentación monofásica de red eléctrica sería  $u(t)=220*\sqrt{2}*sen(2*\pi*50*t)$ .
- Otro factor importante es que, **en la realidad, no hay cargas inductivas o capacitivas puras**, sino que todas tienen una cierta resistencia eléctrica. Por eso en las explicaciones de los transitorios de carga/descarga en corriente continua que se han explicado antes se habla de unas constantes de tiempo donde se involucra un valor resistivo (que puede ser el propio o añadiéndole alguna resistencia adicional externa).



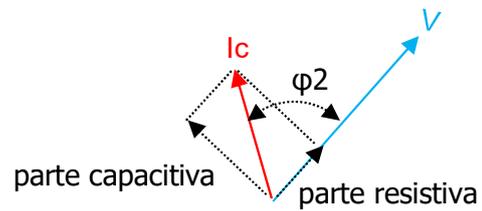
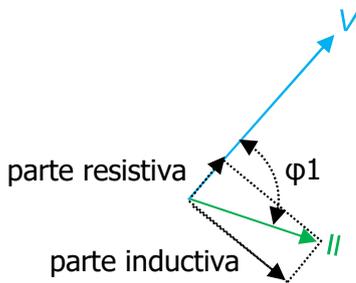
Al tener una variación senoidal en las magnitudes eléctricas, al ritmo de 50 veces por segundo en la UE, la forma de tratar las fórmulas se complica un poco con respecto a la corriente continua. Se suele trabajar con fasores (que muestran en cada momento el valor y el desfase que hay entre unas y otras (generalmente la tensión que excita y proviene de la red eléctrica y los consumos de cada circuito)).



Por ejemplo, ese diagrama instantáneo de la página anterior representaría un momento (por ejemplo el instante que marca la vertical en color "morado Profibus". La tensión en el máximo mostrada en azul y en el instante de 90° eléctricos, la corriente por la resistencia en negro y las corrientes por la bobina (retrasada respecto de la tensión) y el condensador (adelantada respecto de la tensión) en verde y rojo respectivamente.

Dijimos que no había cargas puramente inductivas o capacitivas, sino que todas tienen su componente resistiva, por lo que la realidad será una composición de lo resistivo con lo otro). A esa mezcla es lo que se lo denomina "impedancia".

Veámoslo con un par de ejemplos en ese mismo instante "morado Profibus":



La corriente por la bobina real tendrá una parte resistiva (activa, en serie con la tensión) y otra inductiva pura (reactiva inductiva,  $90^\circ$  eléctricos en retraso con la tensión). En definitiva, que habrá un ángulo de desfase  $\phi_1$  que ya no serán  $90^\circ$  eléctricos sino algo menos dependiendo de las proporciones de resistencia y reactancia de la bobina.

La corriente por el condensador real tendrá una parte resistiva (activa, en serie con la tensión) y otra capacitiva pura (reactiva capacitiva,  $90^\circ$  eléctricos en adelanto con la tensión). En definitiva, que habrá un ángulo de desfase  $\phi_2$  que ya no serán  $90^\circ$  eléctricos sino algo menos dependiendo de las proporciones de resistencia y capacidad del condensador.

Explicado de otra manera: a las reactancias, bobinas y devanados de cable no les gusta la variación rápida de la corriente y a los condensadores no les gusta la variación rápida de la tensión. En cambio, a las resistencias les da igual y toleran variaciones instantáneas de tensión y/o corriente. Si tenemos un escenario de cambio constante a 50 ciclos por segundo y una mezcla de cosas resistivas/inductivas/capacitivas, imagínense el tratamiento matemático que le tenemos que dar...

**Los fasores ayudan a manejar este concepto en lugar de usar las formas de onda instantáneas como hemos visto en la página anterior.**

La mayor parte de las cargas reales industriales son prioritariamente inductivas (transformadores, motores) o resistivas (resistencias calefactoras). Un exceso de carácter inductivo implica muchos recursos dedicados a la creación y mantenimiento de campos magnéticos absolutamente necesarios pero inconvenientes (corriente/energía/potencia reactiva inductiva) que restan capacidad de las líneas eléctricas para los otros usos (energía/potencia activa para cobrar dinerito...).

La compañía suministradora lo penaliza en factura. El factor de potencia es el coseno del ángulo de desfase  $\phi$  entre la tensión y corriente general del circuito que mide el contador (o entre la potencia activa y reactiva, me da igual).

La manera de compensar lo inductivo es usar condensadores en la acometida para que su parte capacitiva se contraponga a la inductiva presente (¿lógico no?). Como el factor de potencia de una fábrica varía dependiendo de los consumidores conectados, esta compensación se realiza con una batería de condensadores con etapas que se van conectando/desconectando con un controlador automático.

### ¿Y LA POTENCIA Y ENERGÍA?

Antes de meternos en temas de trifásica, debemos recordar los conceptos de trabajo, potencia y energía desde un punto de vista físico:

- TRABAJO: cuando se aplica una fuerza a un cuerpo y se provoca un movimiento para moverlo desde un punto A a un punto B.
- POTENCIA: ese trabajo se puede hacer más rápido o más despacio.
- ENERGÍA: es la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo.

¿Y desde el punto de vista eléctrico cómo encaja eso?. Bueno, pues la electricidad es un movimiento de cargas eléctricas (amperios) motivado por la existencia de una diferencia de potencial eléctrico (voltios). Esas cargas eléctricas realizan un trabajo para moverse más o menos rápido (vatios), y ese circuito eléctrico para conseguir todo eso debe contener una fente de energía eléctrica (vatios-hora o julios...).

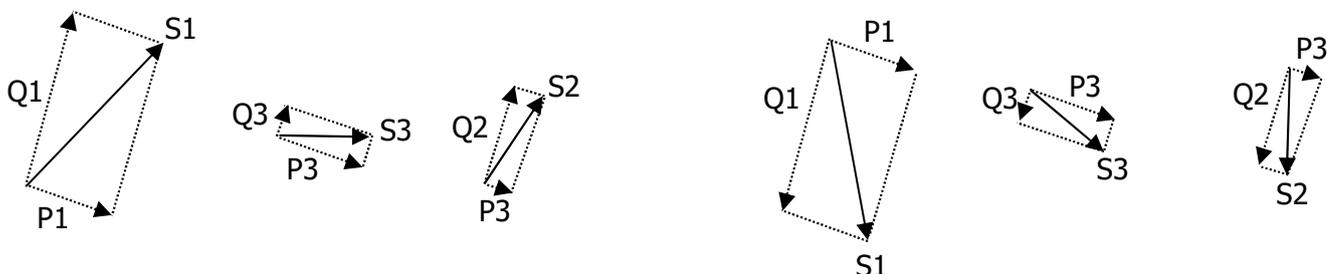
Consideraciones:

- La energía "utilizable" se destruye (lo que se conserva es la suma de la energía utilizable y la no utilizable). La energía no utilizable es toda la que se va a pérdidas en calor hacia el ambiente y ya no nos sirve desde el punto de vista técnico para volver a hacer trabajo.
- La evolución de la energía utilizable que maneja un consumidor eléctrico en un intervalo de tiempo dado nunca va a menos (o se mantiene constante o aumenta).
- Si la energía fluye de la fuente de alimentación/red eléctrica hacia los consumidores y esto lo denominamos "potencia eléctrica consumida" y le asociamos un signo "+", cuando la energía recorra el camino contrario (por ejemplo desde un generador hacia la red eléctrica), la "potencia eléctrica será generada" y le asociamos el signo contrario "-".

No vamos a entrar aquí en los fundamentos de los sistemas trifásicos. Comenzaremos directamente con la expresión que define la potencia aparente del sistema:

$$S = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \text{ (VA)}$$

Con la potencia ocurre lo mismo que con las corrientes, habrá una parte activa (resistiva) y otra reactiva (balance de la parte inductiva y la capacitiva), porque entre la tensión de línea y la corriente de línea habrá un desfase  $\phi$  dado por la impedancia total del circuito.



Tres casos de triángulo de potencias con componente **reactiva inductiva**, de izquierda a derecha se muestra un caso promediado, uno con más activa que reactiva inductiva y uno con más reactiva inductiva que activa.

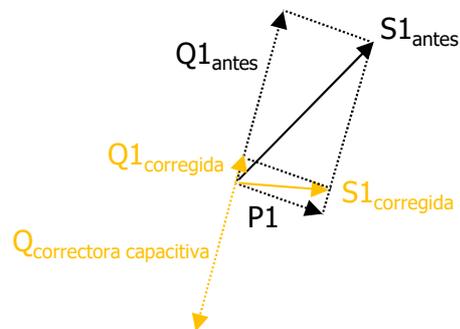
Tres casos de triángulo de potencias con componente **reactiva capacitiva**, de izquierda a derecha se muestra un caso promediado, uno con más activa que reactiva capacitiva y uno con más reactiva capacitiva que activa.

### DATOS IMPORTANTES A RECORDAR

- La potencia activa es la directamente utilizable (para generar calor en unas resistencias calefactoras, para iluminar con una lámpara de incandescencia, para alimentar un equipo electrónico...)
- La potencia reactiva no es directamente utilizable, sino que se trata de un "consumo fantasma" que se destina a la generación y mantenimiento de campo eléctrico (capacitiva) o magnético (inductiva). **No se consume, "se trasega..." y cuando los condensadores y las reactancias se apaguen devuelven esa energía al circuito.**
- La composición de las potencias activa y reactiva se denomina potencia aparente.
- La mayor parte de los consumos de reactiva industriales son inductivos (transformadores, reactancias, motores...).
- Si la compañía suministradora de electricidad no penalizara el exceso de reactiva tendría una red eléctrica "con mucha energía fantasma trasegándose..." que obligaría a su sobredimensionamiento.
- Se permiten factores de potencia ( $\cos\phi$  en valor absoluto en el rango 0.98-1 lo que viene a ser un desfase de  $11'5^\circ$  eléctricos tanto en retraso como en adelanto). Los consumidores debemos mantenernos en ese rango de combinación de activa y reactiva para no ser penalizados por la suministradora tanto por la parte inductiva como por la capacitiva.

La corrección del factor de potencia inductivo se realiza como dijimos, colocando condensadores que compensen la  $Q_1$  antes aportando una  $Q_{correctora}$  en oposición a la anterior. Entonces la  $Q_1$  corregida es menor y lleva al factor de potencia dentro de ese rango permitido de 0.98-1 en valor absoluto.

Las baterías de condensadores pueden ser fijas o tener escalones de condensadores para aquellos casos en los que hay variaciones en el desfase a lo largo del tiempo. La batería escoge la cantidad de escalones que conecta en cada caso.



Si desea contactar conmigo (Jose Carlos Álvarez Alonso) para hablar sobre su necesidad puede hacerlo en el 659 488 836 o enviándome un email a [jcalvarez@rysel.es](mailto:jcalvarez@rysel.es) (insista o déjeme un mensaje si no le respondo porque a veces me pilla Ud. en obra y es difícil o imposible contestar al teléfono). **Somos gente de trabajos en trinchera, al pie del cañón y de vender con conocimiento de causa.**

Próximamente entrará en servicio nuestra nueva página web, con contenido técnico exclusivo para descargar. Esté al tanto de nuestras publicaciones en redes al respecto.