

1.

REPASO DE CONCEPTOS ELÉCTRICOS

1.1. La ley de Ohm

¿Conceptualmente qué es la tensión (V)?

C O M P L E T E

¿Conceptualmente qué es la corriente (I) y de quien depende?

C O M P L E T E

Resistividad(ρ): Es una característica intrínseca del material, depende de su pureza, estructura molecular y de la temperatura.
Al concepto inverso, esto es, la facilidad que presenta un material al paso de la corriente eléctrica se le denomina **conductividad ($\gamma=1/\rho$)**.
 ρ_{cu} a 20° C es 17,241 [Ω mm² / km]

¿Conceptualmen qué es la resistencia eléctrica (R) y de que depende?

C O M P L E T E

Rigidez dieléctrica: es la diferencia de potencial capaz de perforar un aislante.

La **ley de ohm** nos establece una relación entre estos tres parámetros electricos (V, R e I): "la intensidad de corriente eléctrica que circula por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la diferencia de potencial existente entre los extremos de dicho conductor, e inversamente proporcional a la resistencia del mismo":

$$I = V / R$$

Siendo:

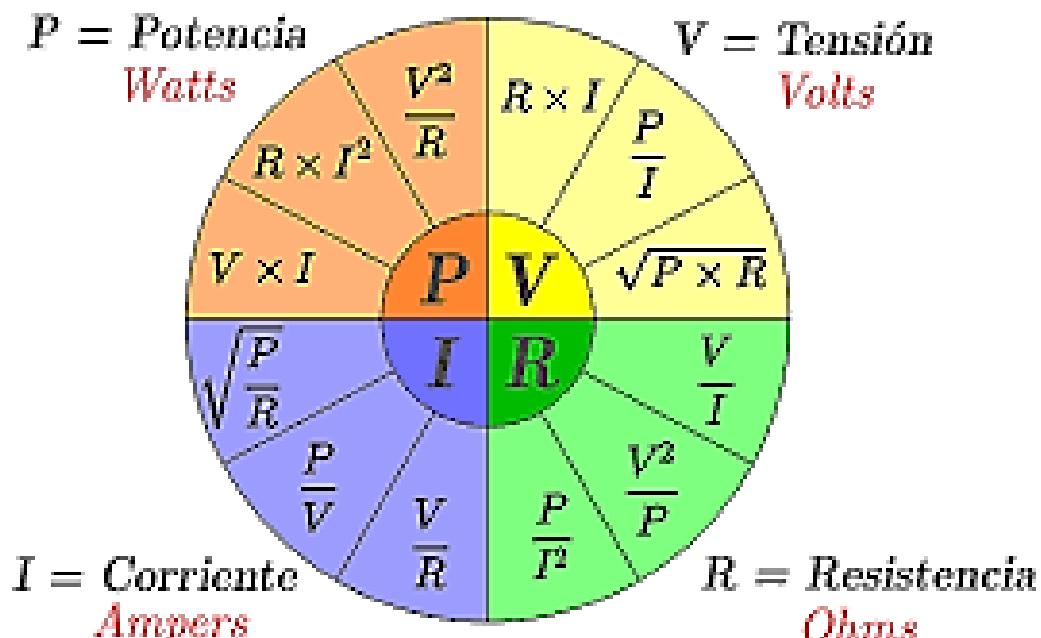
I = Intensidad de corriente, se mide en amperios [A]

V = Diferencia de potencial, se mide voltios [V]

R = Resistencia electrica, se mide en ohmios [Ω]

Nota: la resistencia no puede medirse en un circuito en funcionamiento. Por lo tanto, para calcularla, la ley de ohm nos es muy útil: en lugar de desconectarla del circuito para medir la resistencia, podemos determinarla midiendo la tensión entre sus extremos y la corriente que circula por ella; luego $R = V / I$ [Ω].

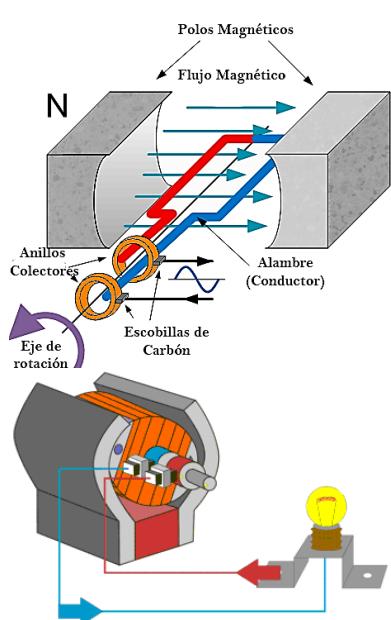
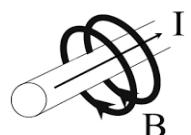
De la ley de ohm podemos derivar el siguiente conjunto de fórmulas:



1.2. INDUCCIÓN: LEY DE FARADAY-LENZ

1.2.1. Ley de Faraday:

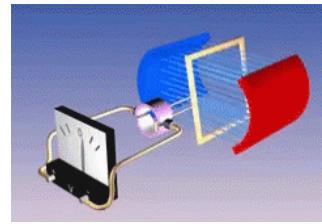
La ley de inducción electromagnética de Faraday cuantifica la relación entre un campo magnético cambiante y el efecto eléctrico sobre un conductor:



$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} [V]$$

Esta ley establece que la Tensión Inducida \mathcal{E} , también llamada **femi** (fza Electromotriz Inducida), en un conductor eléctrico, es **directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético** que lo atraviesa; ya sea que la variación la imponga el propio campo (variando su intensidad) o el conductor al moverse.

Nota: observe que la femi será inherentemente alterna ya que es generada por el efecto de un campo variable, sin embargo, mediante un sistema de colector ranurado en vez de anillos rozantes, en la salida se puede obtener una continua variable.

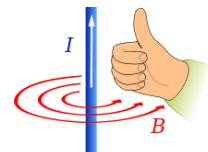


1.2.2. Ley de Lenz

Esta ley relaciona el campo con la corriente; proviene de la aplicación del principio de conservación de la energía al campo electromagnético, para así obtener la conclusión de que:

“La polaridad de una tensión inducida es tal que tiende a producir una corriente cuyo campo magnético se opone a las variaciones del campo producido por la corriente original”. Dicho de forma mas práctica y compacta: “**La Tensión Inducida (ϵ) se opone a la causa que la produce**”, por lo que la denominamos **femí (fza contraelectromotriz inducida)**

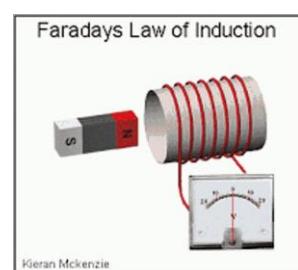
Esto se traduce, en términos matemáticos, en la añadidura a la ley de Faraday de un signo negativo “-”.



Esta ley es fundamental para determinar y controlar la dirección en la que se desplaza el flujo de carga eléctrica de un circuito (el sentido de I).

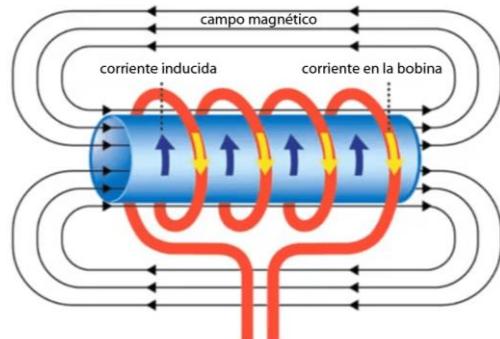
1.2.3. Ley de Faraday-Lenz

$$\epsilon = - N \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} [V]$$



Donde Faraday nos dice que **la femi es una consecuencia de la variación del flujo sobre un conductor** y Lenz nos explica que el “menos” significa que esta femi **se opone a la causa que la produce**, por lo que la **denominamos fcemi**, proporcionando una polaridad de tensión que hará circular una corriente en sentido opuesto a la del circuito, en un circuito cerrado.

Preguntas:



- ¿Que características tendrá el campo si es generado por una CA o por una CC?

C O

M P L E T E

- ¿Si colocamos dos conductores cercanos a uno por el cual circula una corriente, tal que uno es alcanzado por el campo generado por el conductor, y el otro no. ¿Qué ocurre sobre ellos en el caso de que la corriente circulante sea Alterna? ¿y si fuese continua?

C O M P L E T E

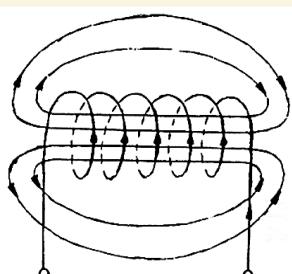
1.2.3.1. Autoinducción

Si ahora tomamos un conductor y lo enrollamos sobre su propio eje, formando una serie de espiras en serie, habremos creado una **bobina** de N espiras; al

El campo magnético en un solenoide largo se concentra en su centro, en un campo casi uniforme. El campo exterior es débil y divergente.

◆ En una bobina, el flujo total Φ_t atraviesa a toda la bobina. Es decir, pasa a través de sus N espiras.

$$\Phi_{\text{total a través de las } N \text{ espiras}} = N_{\text{espiras}} \Phi_1 \text{ espira}$$



Φ ESTÁ ORIGINADO POR I Y POR LAS N ESPIRAS
 $\Phi = N\Phi$: FLUJO TOTAL ABRASADO POR LA BOBINA

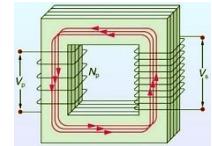
hacer circular una corriente por ella, el campo generado en cada espira se suma para dar como resultado un campo más intenso *que envuelve a toda la bobina*.

Luego las mismas espiras se verán afectadas por este campo variable (creado

por ella misma), que como hemos visto en el punto anterior, provocará la inducción de una femi entre los extremos (ya que las espiras, que son conductores eléctricos, se ven afectados por un campo magnético variable):

$$\epsilon = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

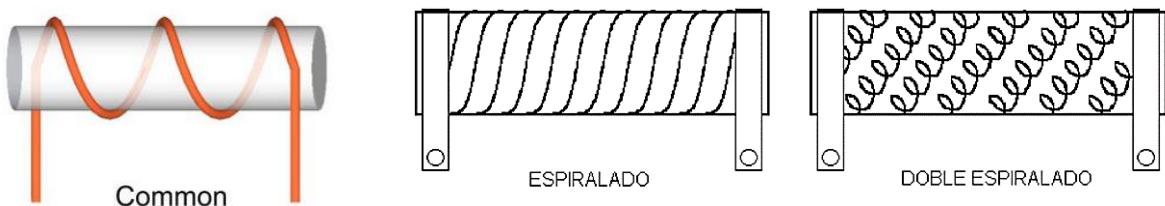
Como en este caso **la inducción se produce con el campo generado por la propia bobina**, decimos que se produce una **AUTOINDUCCIÓN**, y como toda inducción tendrá polaridad invertida (el “-“ de Lenz), por lo que esta ϵ se opondrá a la fuente que alimenta la bobina; es por ello que a esta ϵ la denominamos **FCEMI** (fuerza **contraelectromotriz** inducida).



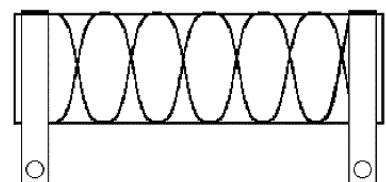
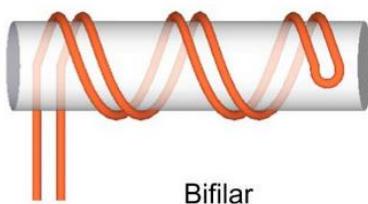
Si bien femi y fcemi son la misma ecuación ($\epsilon = - N \frac{d\Phi}{dt}$), referenciamos femi cuando la inducción se produce sobre un conductor que no está alimentado por la fuente que le dio lugar (caso del secundario de un transformador) y fcemi cuando la inducción se produce sobre el mismo conductor que le dio lugar.

1.2.4. Resistencias con efecto inductivo y no inductivo

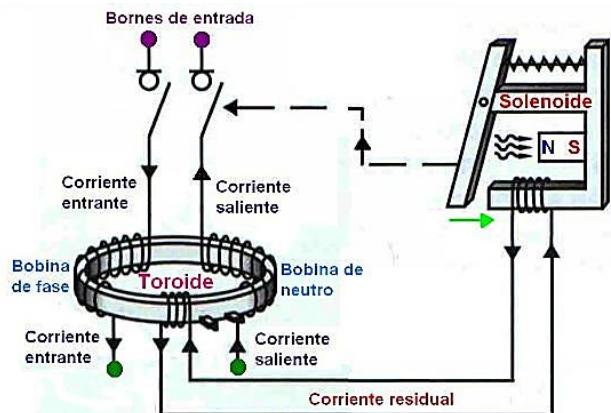
Cierto tipo de formatos constructivos de resistencias pueden presentar efectos inductivos; por ejemplo: las de alambre espiralado y doble espiralado, que por el efecto del campo que rodea a cada espira, producen un campo electromagnético que puede interferir con el circuito, produciendo desfases o interacciones con otros componentes no deseados; en especial a medida que aumenta la frecuencia.



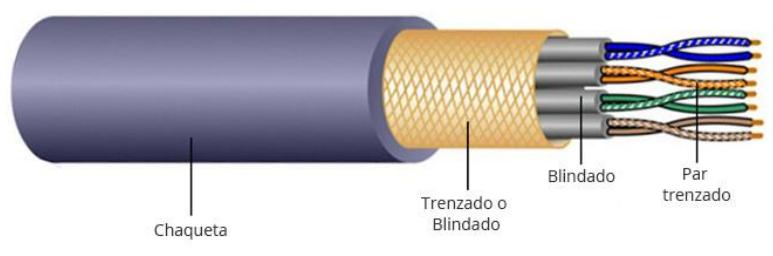
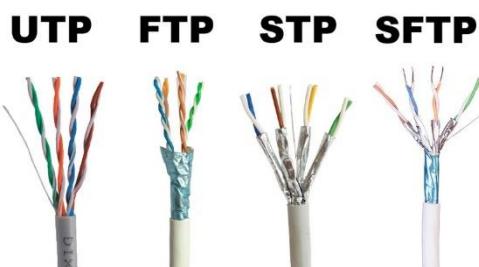
En este caso, para contrarrestar este efecto es que se realizan dos espirales en sentidos opuestos, de forma de que un sentido contrarreste los efectos del otro, logrando una resistencia anti-inductiva:



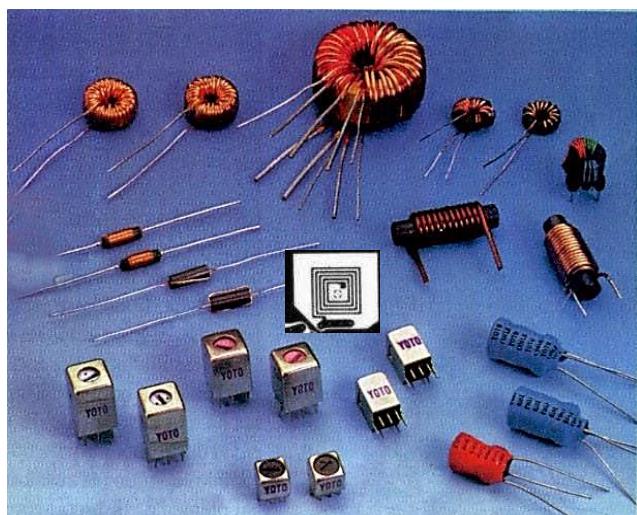
Ejemplo de utilización de este concepto de anulación de campos es el disyuntor diferencia: cuando la corriente que circula por 1 afase (corr “entrante”) es distinta, en magnitud, a la que circula por el neutro (corr “Saliente”), los campos generados por dichas corrientes son de diferentes magnitudes, con lo cual, al hacer la resta quedará un campo resultante que provocará una FEMI sobre la bobina sensora del disyuntor, lo cual activará (mediante la corriente residual) el mecanismo de apertura del circuito.



Otro lugar donde se hace utilización de este concepto de campo nulo o resultante nulo para evitar inducciones que me provoquen tensiones indeseadas (pueden existir campos pero la suma algebraica resultante será nula); es el cable UTP que se utiliza para las redes cableadas de computadoras:



1.3. La Bobina



	Inductancia variable
	Inductancia variable por pasos
	Inductancia variable con núcleo de ferroxube
	Inductancia de variación continua con núcleo FeSi
	Inductancia ajustable
	Variómetro

Las Bobinas o Inductores son un componente pasivo que **almacena energía en forma de campo electromagnético**; lo que le da la particular característica, debido al fenómeno de la autoinducción, de oponerse a los cambios en la corriente que circula por ella, ya que generan una tensión autoinducida que se opone a la causa que produce el cambio e intentará mantener el “nivel” de **corriente** actual, mientras dure su carga. (así como el capacitor intenta mantener el “nivel” de **tensión**, mientras dure su carga)

El valor de inductancia de la bobina (L) es un indicativo de cuánta energía puede acumular y se define como la relación entre el flujo o campo magnético Φ , la intensidad de corriente eléctrica I que circula por la bobina y el número de vueltas N del devanado/bobina:

$$L = \frac{\Phi N}{I} \text{ [Hy]}$$

La tensión presente en la misma será: $V = L \cdot di/dt$
(esta ecuación deriva de la ley de Faraday-Lenz)

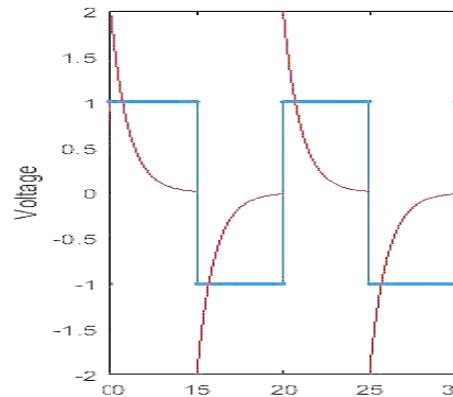
Nota: Así como en la resistencia la relación V-I está dada por la ley de ohm: $V=I \cdot R$; en la inductancia la relación V-I está dada por la ecuación $V=L \cdot di/dt$

Una vez energizada la bobina ésta almacena energía en el campo electromagnético que crea con sus espiras; si la fuente que la energiza varía, entonces provocará una variación en la corriente, algo a lo que la bobina se opone.

Esto es así porque la variación de la corriente provocará la variación del campo electromagnético que genera; entonces, como vimos, una variación de campo ($d\Phi/dt$) da lugar a una autoinducción que se opondrá a la causa que la origina (Ley de Faraday-Lenz: $\mathcal{E} = -d\phi/dt \cdot 10^{-8}$ [V]). **Esta autoinducción tendrá un elevado valor, mayor cuanto mas brusco sea el cambio** ($d\phi/dt$ ó di/dt), esto ocasiona que en el momento de, por ejemplo, la conmutación de una fuente, se produzcan elevados picos de tensión en la bobina.

En el siguiente gráfico la onda cuadrada representa la tensión de la fuente que energiza a la bobina y las líneas parabólicas la tensión en la bobina; notar como el valor de tensión en los extremos de la bobina supera al de la fuente en el momento de la conmutación (en este ejemplo es el doble pero puede ser mucho más):

Nota: Estos picos es por lo que se recomienda desconectar los aparatos eléctricos cuando se programan trabajos y/o maniobras sobre la línea eléctrica.

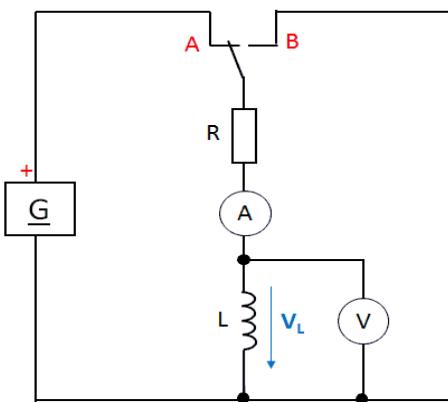


El siguiente video nos muestra de forma animada como funciona un inductor y la importancia del campo electromagnético en su funcionamiento:

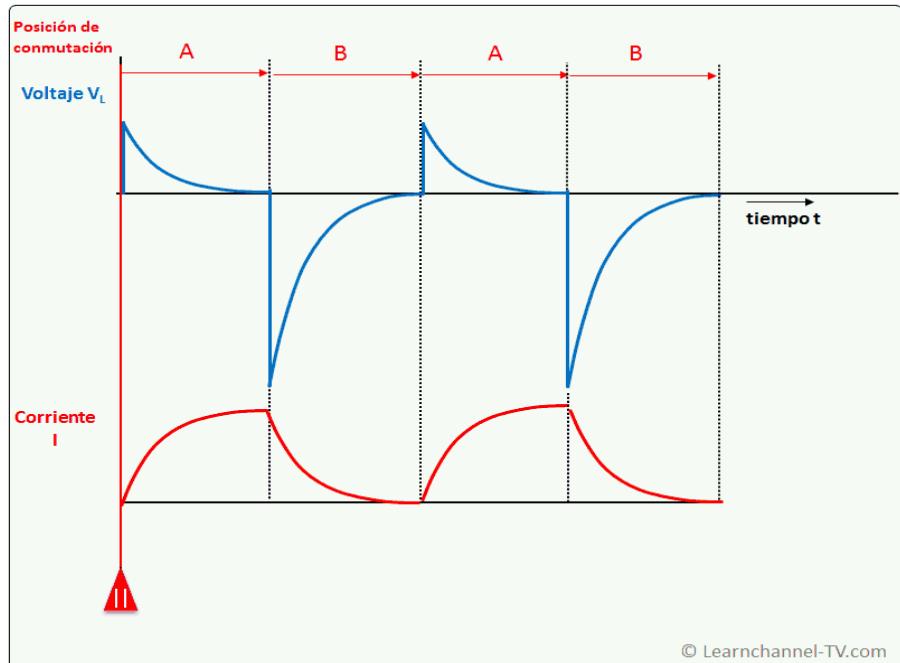


https://drive.google.com/file/d/1GSnlhkPd1vigX_rCM9lg14WAgPp2ACZA/view?usp=sharing ó
<https://www.youtube.com/watch?v=MO4pxOne5Eg>

1.3.1. Curvas de Carga y Descarga:

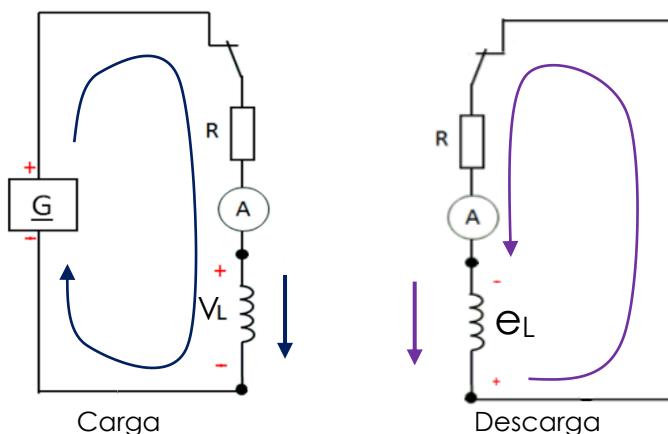


Cambio a la posición A:
El campo magnético de la bobina se incrementa, lo que significa que la bobina absorbe energía.



© Learnchannel-TV.com

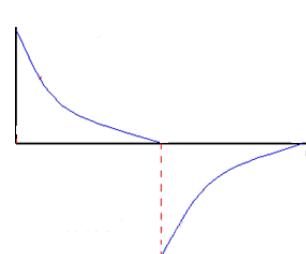
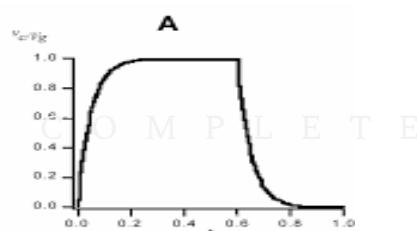
Note que en el momento del cambio de A a B la tensión presente en bornes de la inductancia es muy superior y de polaridad opuesta a la de la fuente, ya que responde a la "brusquedad" (velocidad) del cambio de $\varepsilon = -d\phi/dt$.



En el primer caso la bobina actúa como carga y recibe energía de la fuente; en el segundo caso actúa como fuente y entrega energía a la carga R.

Si bien durante la carga la corriente en la bobina circulará en el sentido indicado, durante la descarga también lo hace en el mismo sentido, es decir la

¿Cuál es de V y cual de I?



- ¿Qué propiedad del inductor podemos inferir al observar las graficas?

C O M P L E T E

- ¿Qué comportamiento eléctrico representa una bobina en CC luego de haberse cargado?

C O M P L E T E

1.3.2. Circuito L-R:

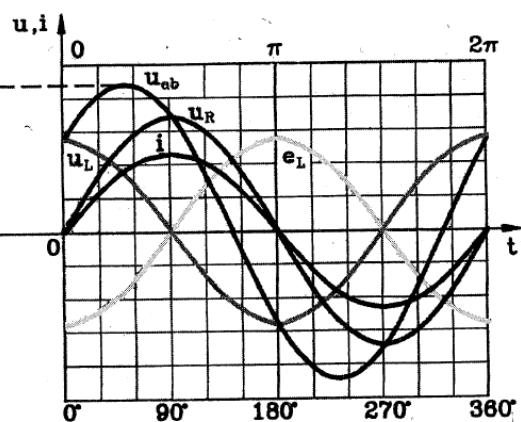
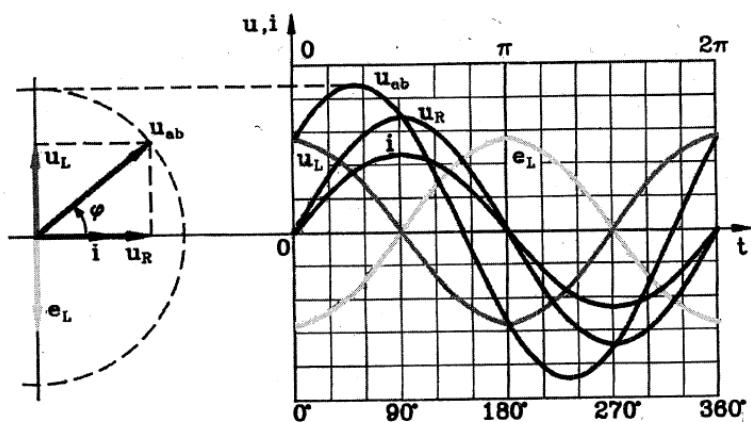
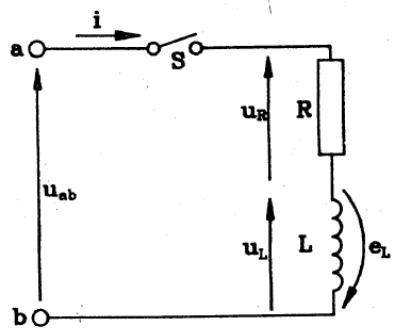
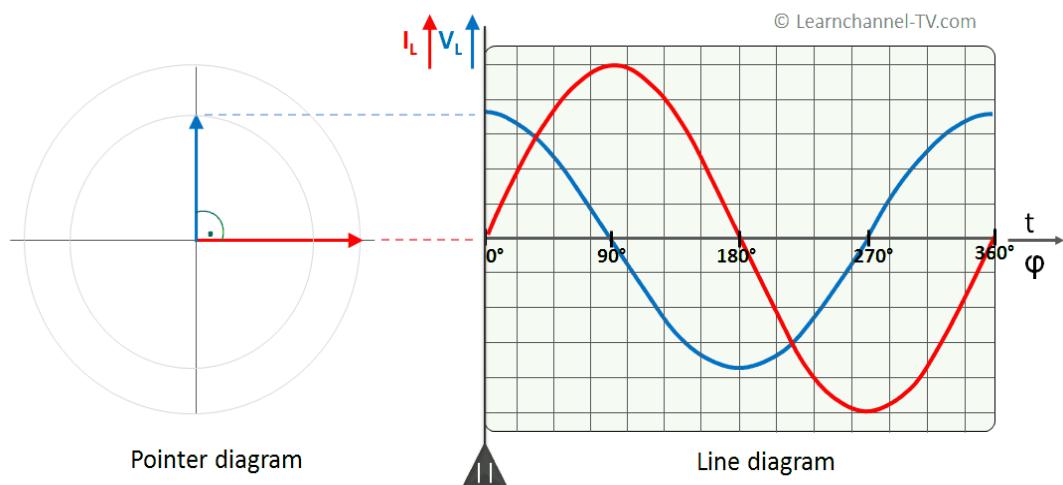


Figura 9.1. Circuito inductivo: (a) Esquema. (b) Diagrama vectorial. (c) Representación cartesiana.



1.4. El capacitor

El capacitor es un componente pasivo cuya particularidad es acumular cargas eléctricas en sus placas, lo que provoca que entre las mismas se establezca una diferencia de potencial (tensión) dando lugar a un campo eléctrico (se dice que un *capacitor acumula o almacena energía en forma de campo eléctrico*). Esta capacidad de almacenamiento es medida por la capacitancia, mientras que la carga almacenada es directamente proporcional a la tensión aplicada entre sus placas y a dicha capacidad de almacenamiento:

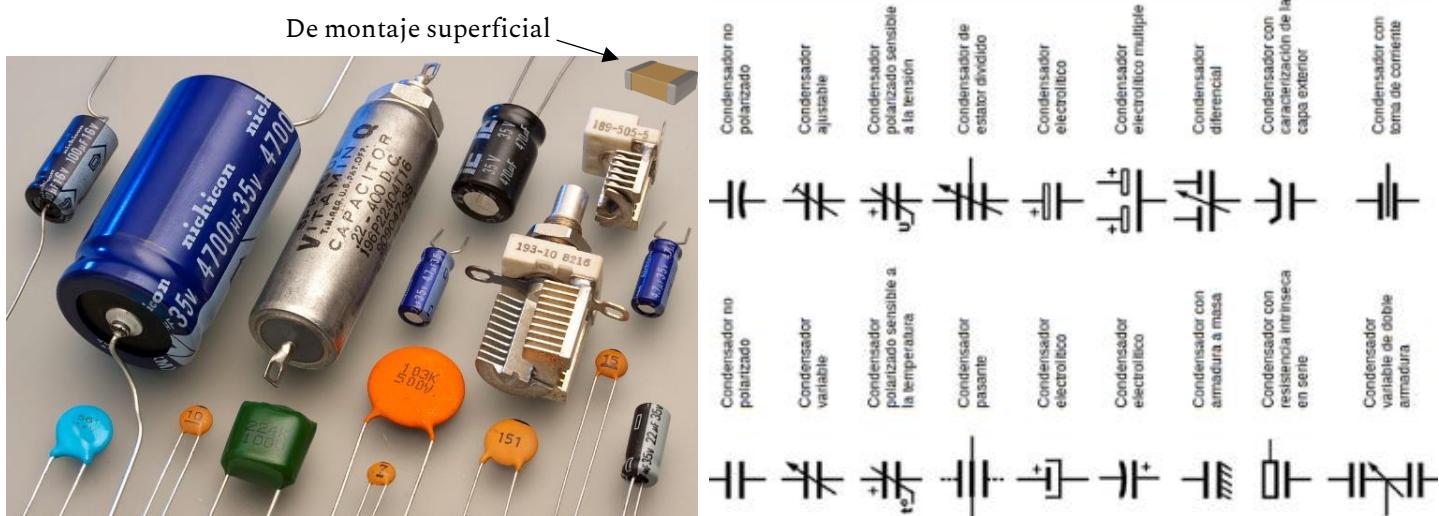
$$q = C \cdot V$$

donde: q es la carga almacenada [Coulomb], C es la capacitancia [Faradio] y V es la tensión aplicada al capacitor [Volt].

si hacemos variar la tensión en el tiempo entonces tendremos una variación de carga, una circulación de la misma, es decir una corriente:

$$i = C \frac{dV}{dt}$$

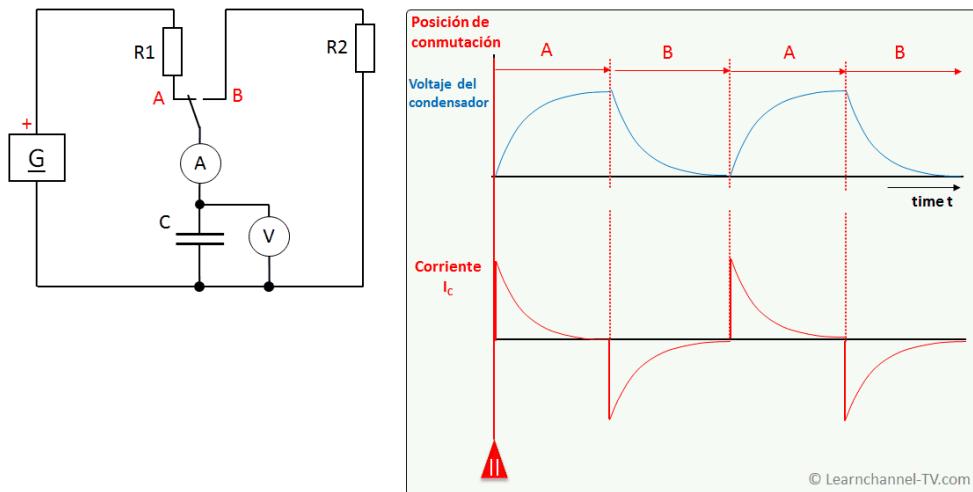
En los circuitos eléctricos, los capacitores se usan con frecuencia para suavizar picos/baches de tensión (como en una fte), bloquear la corriente continua, generar retrasos, constituir filtros en frecuencia, para compensación del factor de potencia, etc.



Para medir la capacitancia podemos utilizar capacímetro (incluido en la mayoría de los multímetros de hoy). El mismo determina el valor al cargarlo con

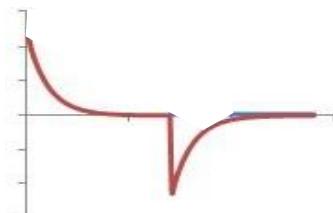
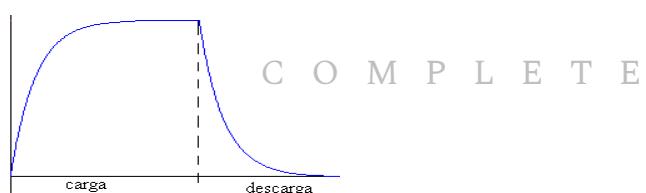
una corriente conocida, luego mide la tensión resultante y, finalmente, calcula la capacitancia.

1.4.1. Curvas de Carga y Descarga:



Observe que ahora, a diferencia de la bobina, es la corriente quien invierte su sentido de circulación entre la carga y la descarga, pero no así la tensión que mantiene su polaridad en ambos casos.

- ¿Cuál es de V y cual de I?



- ¿Que propiedad del capacitor podemos inferir al observar las graficas?

C O M P L E T E

- En el ámbito de la CC, ¿que condición eléctrica representa el capacitor totalmente descargado y cuál cuando esta totalmente cargado?

C O M P L E T E

1.4.2. Circuito C-R:

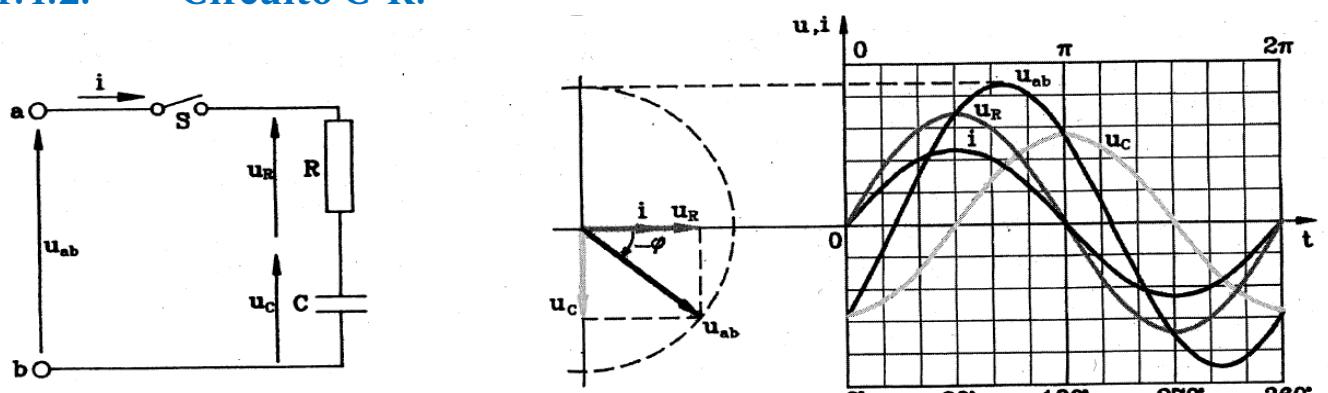
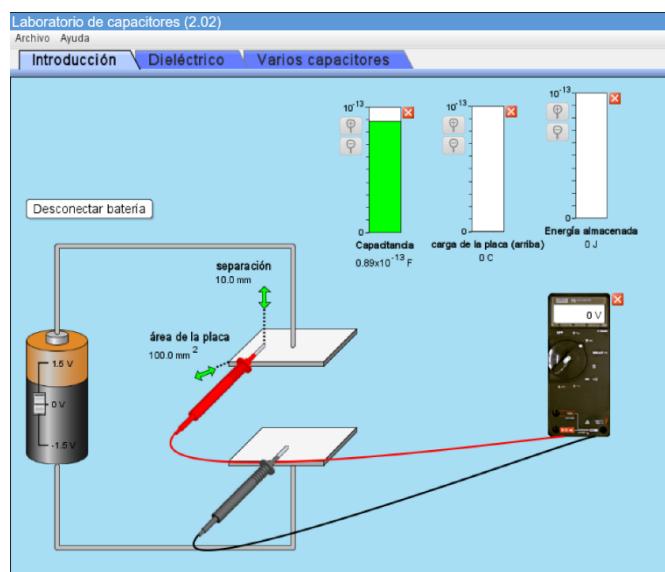


Figura 9.4. Circuito capacitativo: (a) Esquema. (b) Diagrama vectorial. (c) Representación cartesiana.

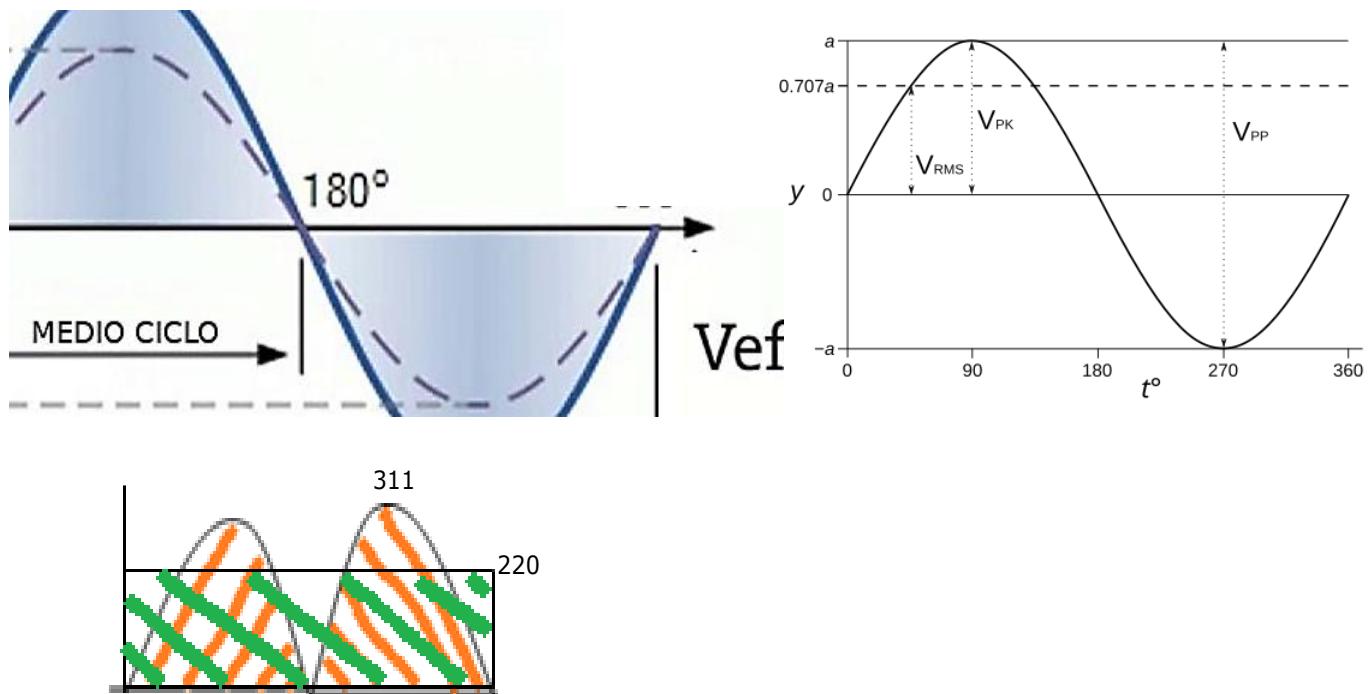
El siguiente sitio nos ofrece un simulador del capacitor en el cual podemos variar los parámetros del circuito o del capacitor y ver el impacto en distintas variables y comportamientos del circuito: <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/capacitor-lab/latest/capacitor-lab.html?simulation=capacitor-lab&locale=es>



1.5. Valor Eficaz o rms de una señal

¹El **Valor Eficaz** o **rms** (root mean square = raíz cuadrada media), de una señal, es el valor que tendría una señal continua regulada que produzca la misma disipación de potencia que la señal original. También lo podemos referir como el valor de la señal continua regulada cuya área bajo su curva (rayas descendentes verdes) sea igual al área bajo la curva de la señal (rayas ascendentes naranja).

En el caso que la señal original sea una continua no regulada, pulsante por ej, entonces el valor eficaz de ella es igual que el valor medio de la misma (para señales alternas el valor medio no es igual que el valor eficaz).



La definición formal de valor eficaz es: "la raíz cuadrada de la media del cuadrado de los valores instantáneos de la señal a lo largo de un período de tiempo"; matemáticamente, para la tensión, se expresa como:

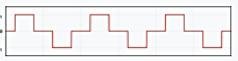
$$V_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v^2(t) dt}$$

¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_eficaz - 5/2025

²El **valor medio o promedio** de una señal “periódica” es útil para determinar la componente de continua de la misma; en una señal simétrica en torno a cero, como una onda senoidal pura, el valor medio es cero; por eso la importancia del valor eficaz aquí.

En resumen: el valor eficaz nos dice qué tan grande es el aporte de la señal en términos de potencia, mientras que el valor medio nos dice cuál es su componente DC (continua). Para una señal simétrica, el valor medio será cero, mientras que la tensión eficaz será un valor positivo relacionado con la amplitud de la señal.

Para formas de onda periódicas donde hay una frecuencia definida, el valor eficaz es independiente de dicha frecuencia.

Forma de onda	Fórmula	Valor eficaz
	Corriente continua, constante $y = A_0$	A_0
	Onda sinusoidal $y = A_1 \sin(2\pi ft)$	$\frac{A_1}{\sqrt{2}}$
	Onda sinusoidal modificada $y = \begin{cases} 0 & \text{frac}(ft) < 0.25 \\ A_1 & 0.25 < \text{frac}(ft) < 0.5 \\ 0 & 0.5 < \text{frac}(ft) < 0.75 \\ -A_1 & \text{frac}(ft) > 0.75 \end{cases}$	$\frac{A_1}{\sqrt{2}}$
	Onda cuadrada $y = \begin{cases} A_1 & \text{frac}(ft) < 0.5 \\ -A_1 & \text{frac}(ft) > 0.5 \end{cases}$	A_1
	Onda cuadrada con componente continua $y = A_0 + \begin{cases} A_1 & \text{frac}(ft) < 0.5 \\ -A_1 & \text{frac}(ft) > 0.5 \end{cases}$	$\sqrt{A_0^2 + A_1^2}$
	Tren de pulsos $y = \begin{cases} A_1 & \text{frac}(ft) < D \\ 0 & \text{frac}(ft) > D \end{cases}$	$A_1\sqrt{D}$ Ver Nota
	Onda triangular $y = 2A_1 \text{frac}(ft) - A_1 $	$\frac{A_1}{\sqrt{3}}$
	Onda en dientes de sierra $y = 2A_1 \text{frac}(ft) - A_1$	$\frac{A_1}{\sqrt{3}}$
	Tensión de fase a fase $y = A_1 \sin(t) - A_1 \sin\left(t - \frac{2\pi}{3}\right)$	$A_1\sqrt{\frac{3}{2}}$

Nota: Donde D, está expresada en “por unidad” del periodo T ($D = t/T$).

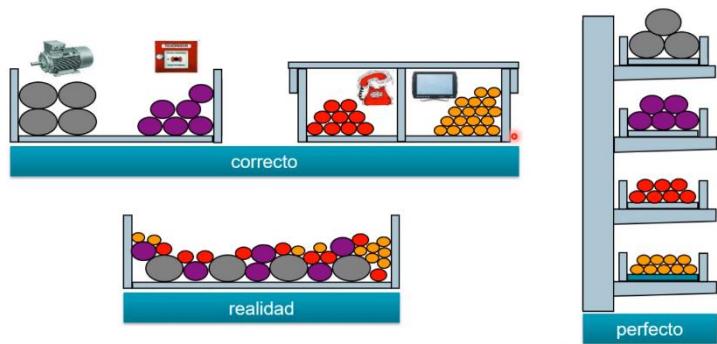
² La **media aritmética** es un concepto matemático usado en estadística. También llamada **promedio** o simplemente **media**, se obtiene con la sumatoria de un conjunto de valores dividido el número total de sumandos; por tanto, hablar de valor medio o promedio es lo mismo.

1.6. Acoplamiento Electromagnético:

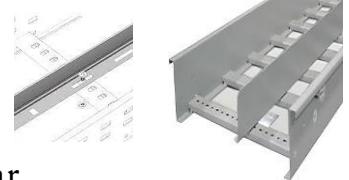
cuando al menos parte del flujo electromagnético variable de un conductor/bobina alcanza a otro conductor/bobina, se dice que ambos están acoplados magnéticamente (electromagnéticamente mas precisamente).

Si bien hay aplicaciones donde se busca este acoplamiento (transformadores), en general se trata de evitarlos o minimizarlo, por la interferencia que pueden generar; por ejemplo entre un conductor de potencia y uno de señal, en este caso el condutor de potencia inducirá una tensión sobre el conductor que conduce señales de pocos volts, entonces el valor inducido tergiversará el valor real que debería medir el instrumento voltmétrico conectado a ese cable de señal.

Es debido a este efecto de inducción que no es correcto conducir cables de “señal” por el mismo “canal” que los de potencia/alimentación sin adecuada aislación.



En bandejas portacables esta aislación la provee un separador “metálico” cuya reluctancia será menor que la del aire, por lo que los campos generados por las altas corrientes de los conductores de potencia no llegarán a afectar a los cables de señales de medición que se encuentran del otro lado de esta “barera magnética”/separador (este separador, junto a la tapa y resto de la bandeja, conforman un “jaula de Faraday” que protege a los cables de señal de inducciones electromagnéticas externas).





Los sistemas de cablecanal plásticos con divisiones proveen una forma mas ordenas de conducir los cables y evitar que se entrecrucen cables de diferentes niveles de seña, pero no son una barrera efectiva para los acoplamientos magnéticos.

En bobinas acopladas electromagnéticamente, existen dos tipos de inductancia: la debida al flujo o campo electromagnético de una bobina que concatena o “corta” a otra, denominada **inductancia mutua** (ej: transformador); y la debida al propio flujo, denominada autoinductancia (bobina sola). En esta última, al flujo concatenante se le adicionan la líneas de flujo o campo “dispersos”, aquellas que no alcanzan a concatenar a la otra bobina)

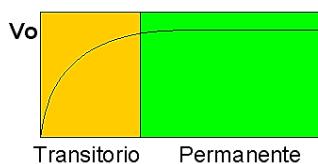
Actualmente, la bobina, se utilizan en transformadores, en circuitos de filtro, como bobina de choque (diseñada para tener una reactancia muy grande a una frecuencia o rango, utilizándose para mermar o impedir el paso de la corriente alterna de una parte de un circuito a otra, al mismo tiempo que se deja pasar la corriente continua), etc.



Para medir una inductancia debe utilizarse un medidor LCR (medidor de impedancia), aunque actualmente algunos multímetros ya incorporan una escala para medir inductancias. Dependerá de la precisión necesaria el instrumento requerido.



1.7. TRANSITORIOS ELÉCTRICOS:



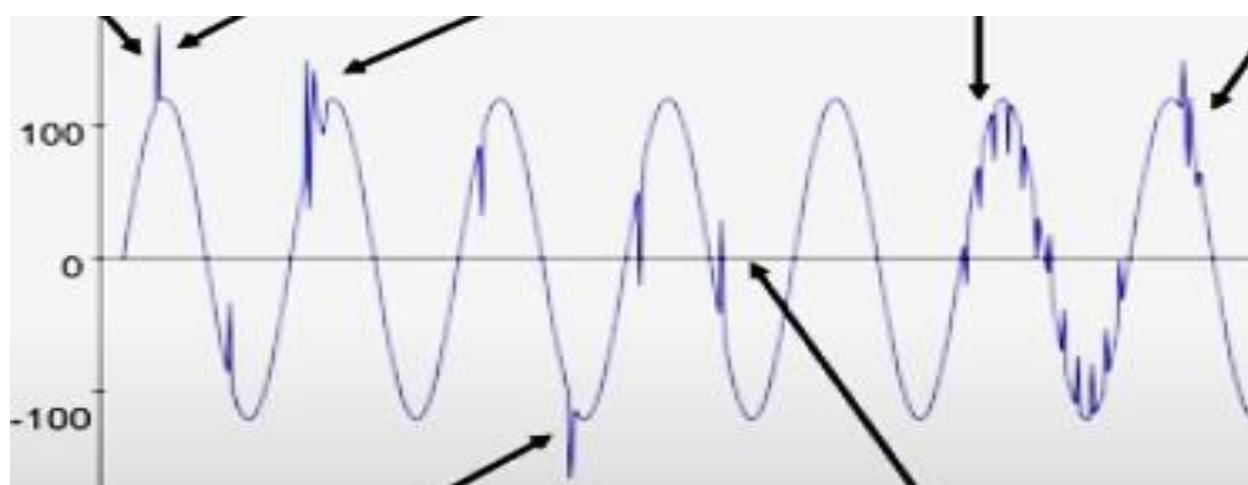
El estudio de los regímenes transitorios (periodos de transición) que se suceden en los circuitos eléctricos/electrónicos cuando



“transitan” de un estado eléctrico a otro, tal como el ocurrido durante la carga de un capacitor o el régimen transitorio que experimenta una onda cuadrada en cada cambio, es extenso y constituye todo un capítulo en los libros de estudio correspondiente. Nosotros no ahondaremos en ellos, *nos abocaremos a los que definiremos como fenómenos eléctricos aleatorios* (inesperados), **no periódicos y de corta duración** (del orden de los μ s o ms) **que se adicionan a nuestra onda base o fundamental de tensión y/o corriente.**

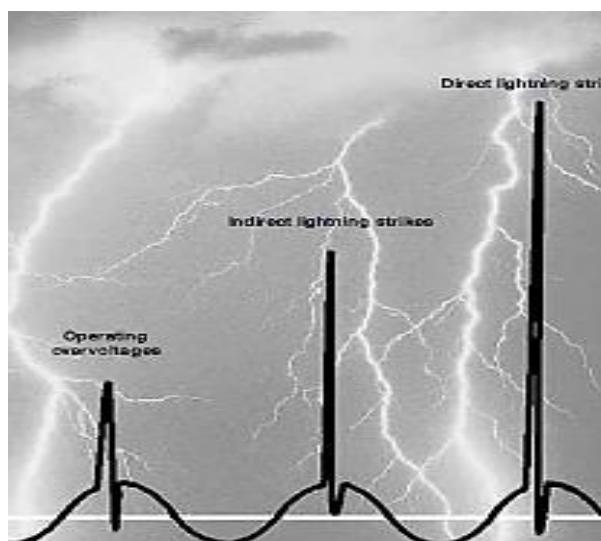
Nuestros transitorios eléctricos más usuales son producidos por encendido/apagado de equipos eléctricos, llaves al conmutar, por inducciones electromagnéticas, etc. Pueden llegar a tener grandes amplitudes, de KV y muy superiores a la onda base, pero son muy acotados en el tiempo; lo que no disminuye su efecto dañino sobre el circuito (a mayor amplitud y duración del transitorio, menos vida útil tienen los componentes del circuito eléctrico/electrónico)

En el siguiente gráfico se pueden observar multiples transitorios que se suceden sobre una onda de base senoidal:





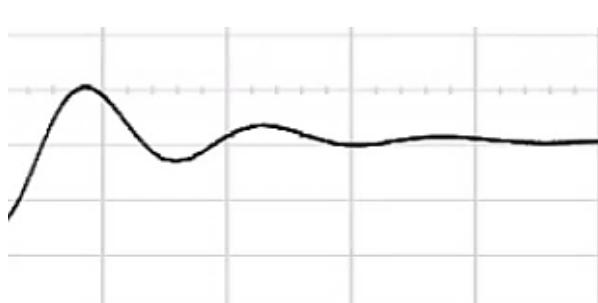
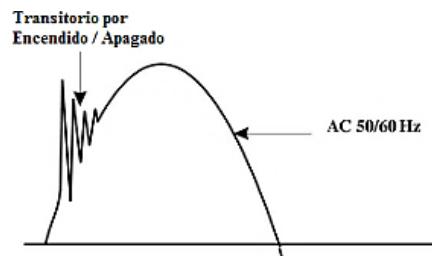
Una conocida fuente de transitorios de tensión, que puede perjudicar los electrodomésticos, son los rayos eléctricos; ya sea que incidan directamente sobre el conductor, o muy cercano a él



produciendo un efecto de inducción sobre el mismo.

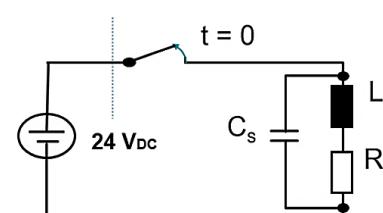
Pico menor es por desconexión de carga, pico medio por efecto inductivo de un rayo; pico mayor por rayo directo en el conductor.

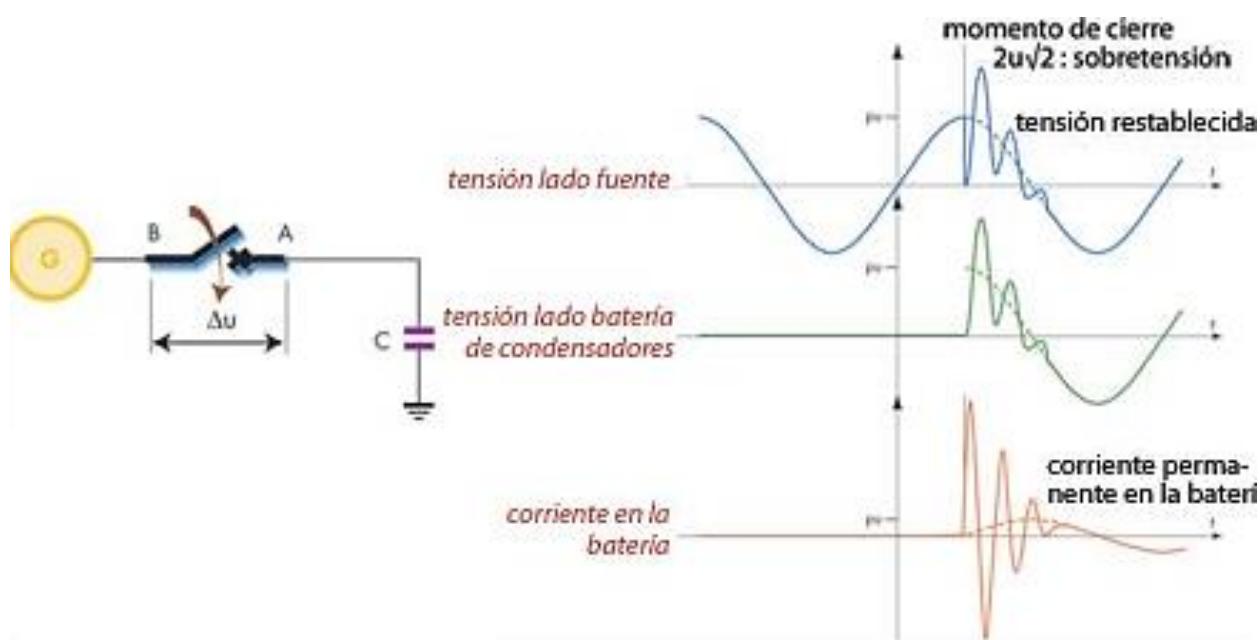
Otra fuente de transitorios son las maniobras de conexión/desconexión de máquinas eléctricas, en especial si son de gran potencia (un motor eléctrico cuando se apaga, el rotor sigue girando y comienza a funcionar como generador, por lo cual genera electricidad y lo envía a través de la red de distribución.); también lo puede ser la conexión y desconexión de bancos de capacitores:



Transitorio de Conexión de un banco de capacitores

Forma de onda del transitorio por maniobras de conexión/desconexión:
El circuito es alimentado por una fte de 24Vdc, sin embargo sobre la carga RLC se llega a generar un pico de 891V!!

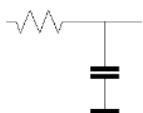
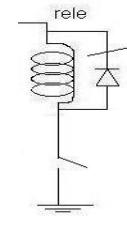




BUSCAR OTRO GRÁFICO QUE ESTE CUESTA EXPLICARLO

1.7.1. Formas de combatir los transitorios eléctricos

Mediante diferentes circuitos (filtros), de mayor o menor complejidad según el caso, que bloquen o eviten el avance del transitorio por la línea. Por ejemplo:

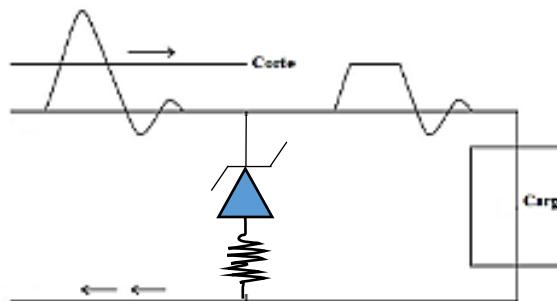
- Un capacitor en paralelo, tal que su reactancia represente un cortocircuito a la señal de alta frecuencia del *transitorio de tensión* pero le represente un circuito abierto a nuestra señal de 50 Hz. [$X_C = 1/(2\pi f C)$] 
- Una inductancia en serie, tal que su reactancia represente un circuito abierto para la alta frecuencia del *transitorio de corriente* pero no le presente resistencia a nuestra onda de 50 Hz. [$X_L = 2\pi f L$] 
- Un diodo en paralelo a la carga inductiva y polarizado inversamente, en un circuito de cc; por ejemplo el electroimán de una cerradura. Al momento de desconectar el inductor, este, por efecto de la autoinducción cambiará de polaridad momentáneamente, momento en el que el diodo recibe una polarización directa y absorverá el pico de tensión. 

Si bien este último ejemplo no entraría en nuestra definición de transitorio por no ser un fenómeno *inesperado* en la bobina (en todo caso será no resuelto en



el diseño del circuito), es un ejemplo de como evitar que picos de tensión generados en cargas inductivas se propaguen en la línea hacia otras cargas, donde sí sera un fenómeno inesperado.

- Circuito recortador, el cual consiste MUY basicamente en, por ejemplo, un diodo zenner en paralelo, el cual superada su tensión de conducción absorverá todos los imcrementos por encima de ésta, por lo que la señal que llega a la carga tendrá esos picos o excesos recortados.



Recorte de picos de tensión mediante diodo zener

Los transitorios pueden visualizarse y medirse a través de analizadores de red, y de osciloscopios.



(Osciloscopio)



(Analizadores de red)



1.8. CARACTERIZACIÓN DE LOS INSTRUMENTO DE MEDIDA

1.8.1. Medición, exactitud y precisión

Medir significa comparar, comparar la magnitud bajo estudio con su unidad patrón y expresar cuántas veces la contiene; Cuando medimos se debe hacer con gran cuidado, para evitar alterar el sistema que observamos o dar una lectura errónea.

Para realizar *mediciones eléctricas* se utilizan diversos instrumentos de medida, que pueden dividirse en cuatro grandes grupos:

- **Instrumentos indicadores analógicos**, en los que una aguja señala sobre una escala apropiada, la magnitud eléctrica a medir.
- **Instrumentos registradores**, en los que se anota gráficamente al transcurrir el tiempo, la magnitud eléctrica correspondiente (los registradores modernos son denominados dataloggers, con la ventaja que la información queda almacenada en una memoria).
- **Instrumentos digitales**, en los que la magnitud eléctrica a medir se indica en una pantalla, en forma de un número decimal.
- **Instrumentos totalizadores**, que indican la energía total suministrada durante cierto tiempo; se les denomina también instrumentos contadores.



Vistas frontales de instrumentos de medición: Analógico, Digital; dataloggers y Totalizador.

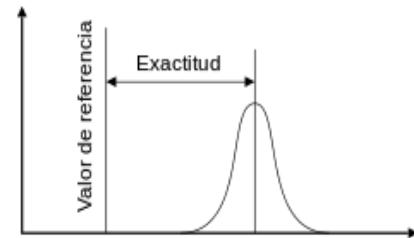


Durante el siguiente desarrollo se entiende que los instrumentos mencionados son **de única escala**, ya que un instrumento con varias escalas equivale a varios instrumentos en uno solo.



1.8.1.1. Exactitud:

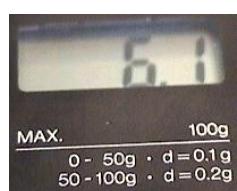
Exactitud (accuracy en inglés) se refiere a **cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido**.



Supongamos una medición que nos arroja 7V, pero el valor real es 5V, entonces el instrumento tendrá una inexactitud o error de 2V, por lo que el instrumento será de poca exactitud. La exactitud de un instrumento es uno de los criterios para juzgar su calidad.

La exactitud se expresa en términos de inexactitud (error), es decir, un instrumento de medición cuya lectura es de 99,98 °C, cuando la temperatura real en el proceso bajo medición es de 100 °C, tiene una inexactitud de 0,02 °C (o una exactitud de -0,02, para este caso). La exactitud se puede expresar de varias formas, siendo las dos más usuales expresarla como:

- Un % del alcance: $\pm 0,5\%$ para alcance 200 V; si suponemos una lectura de 150 V, el valor real de tensión estará comprendido entre $150 \pm (0,5 \times 200/100) = 150V \pm 1V$, es decir, entre 149 V y 151 V (*es por ello la importancia de medir en el último tercio de escala de los instrumentos analógicos, ya que no es lo mismo $\pm 1V$ en una medición de 10V que en una de 200V, estando siempre en el mismo rango o escala*).
- Directamente, en unidades de la variable medida. Ejemplo: exactitud ± 2 V; para el ejemplo anterior resultaría en 150 ± 2 V



La imagen muestra la exactitud de una balanza según el rango a pesar. Para la lectura indicada el peso real está entre $6,1 \pm$



La exactitud define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio y durante el período de validez de la calibración del mismo (normalmente 1 año dura el certificado de calibración).

Los fabricantes construyen los instrumentos para que su medición sea lo mas exacta posible, y como periódicamente se descalibran (envejecimiento de los componentes, corrimiento del cero, vibraciones y golpes por manipulación, etc.); éstos deben reajustarse para continuar siendo exactos.

1.8.1.2. Exactitud numérica:

Se refiere al valor real con todos los dígitos que representan al valor.

$$233/16 = 14,5625 \text{ ó } 10/3 = 3,333333$$

1.8.2. Precisión (repetibilidad):

Es la cualidad de un instrumento por la que ante **repetidas mediciones de un mismo valor** tiende a **dar valores muy próximos entre sí** (cuanto mas proximos mas preciso es el instrumento); es decir, la precisión está dada por el grado de dispersión de las mediciones. *Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión.*

Por ejemplo, un voltímetro nos da las lecturas de 6,99; 7,01; 7,02 y 6,98; en repetidas mediciones de un mismo valor, con lo cual tiene una dispersión de: $7,02 - 6,98 = 0,04$, es decir, el instrumento tendrá una gran precisión (los valores se encuentran muy proximos entre sí).

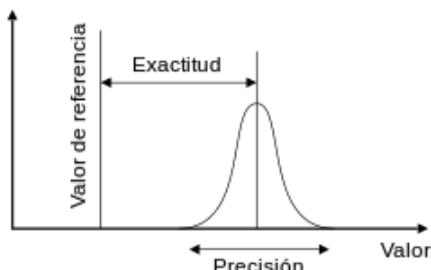
1.8.2.1. Precisión numérica:

Se refiere a la cantidad de dígitos significativos de un valor, lo que lo acercan a su valor exacto: cuando se tiene la máxima precisión se obtiene la exactitud numérica.

$$233/16 \approx 14,56 \text{ (precisión de 2 dígitos)}$$



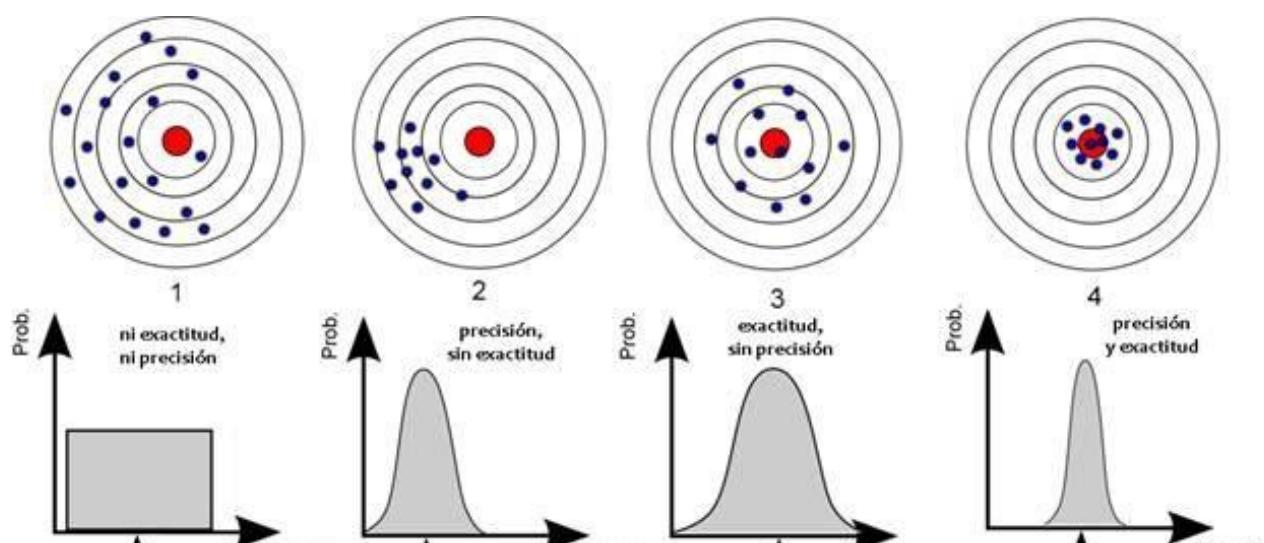
Precisión vs Exactitud:



Tomemos un reloj de pulsera que solo marca las posiciones 3, 6, 9 y 12, aunque funcione correctamente y marque la hora correctamente, no tiene precisión ya que resulta imposible leer los minutos; en cambio un reloj digital que nos indica hasta las décimas de segundos: 12h 30m 30,2s, por lo cual tiene una gran precisión, no nos servirá de nada si en realidad son las 15h.

Entonces: un instrumento puede tener una pobre exactitud, pero una gran precisión. La exactitud indica la proximidad de los resultados de la medición con respecto al valor verdadero, mientras que la precisión indica la repetibilidad o reproductibilidad de la medida por el instrumento. Es decir la **exactitud se refiere al valor** (cuán cerca del valor verdadero estamos con la lectura actual) y la **precisión se refiere al instrumento** (es una propiedad intrínseca del instrumento), que tan fiable es al medir y no que unas veces nos de un valor y otras otro.

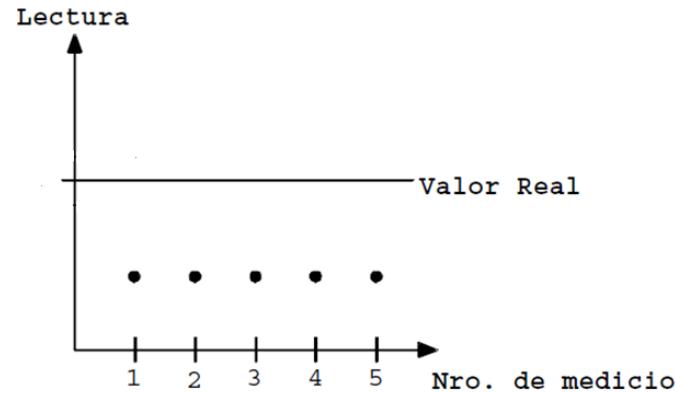
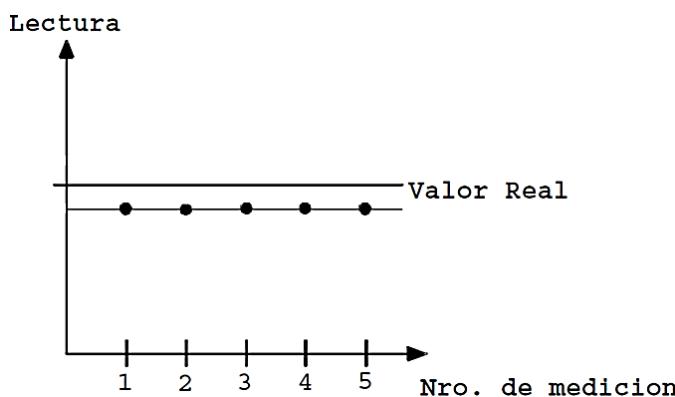
Para otro ejemplo de precisión y exactitud pongamos los disparos a una diana. La precisión en el disparo tienen que ver con la proximidad de los impactos entre sí, mientra que la distancia de los mismos al centro tiene que ver con la exactitud:



Pregunta: ¿En qué característica difieren los siguientes gráficos?:

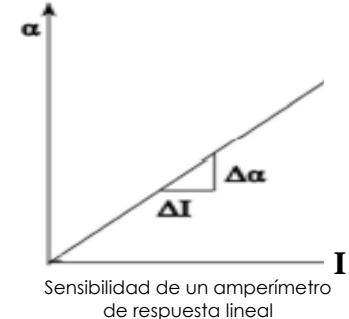


C O M P L E T E



1.8.3. Sensibilidad (S)

La sensibilidad de un instrumento esta dada por la *relación entre la variación de la lectura que se realiza (n° div recorridas = α) y la variación de la variable bajo medición*; a mayor valor, mejor sensibilidad:



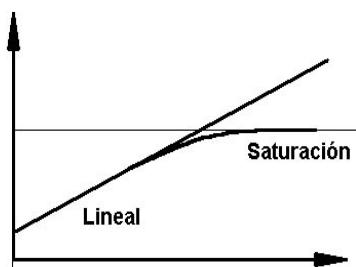
$$S = \Delta \text{divisiones recorridas} / \Delta \text{magnitud} [\text{Div}/V, \text{por ej}]$$

Por ejemplo: Si tomamos 2 amperímetros que miden la misma corriente, pero el primero recorre 2 divisiones cuando el segundo recorre 10 divisiones de la escala; entonces, este último es 5 veces mas sensible:

$$S_1 = 2 \text{ div} / 10 \text{ A} = 0,2 \text{ div/A} \leftarrow \text{la aguja se desplaza muy poco por cada amper}$$

$$S_2 = 10 \text{ div} / 10 \text{ A} = 1 \text{ div/A} \leftarrow \text{la aguja se desplaza 5 veces mas que el anterior por cada amper}$$

Nota: La sensibilidad dependerá de la cantidad de divisiones de la escala, y en instrumentos de múltiples escalas tambien de la escala en la que se encuentre; debiendo estar en la misma escala para poder comparar instrumentos, ya que cada escala tiene una sensibilidad distinta.



Pregunta: Un instrumento “saturado” ¿qué sensibilidad tiene?

$$S =$$

C O M P L E T E

Pregunta: ¿Cuál es la variación de la sensibilidad de un instrumento en su zona de operación lineal?

Rpta:

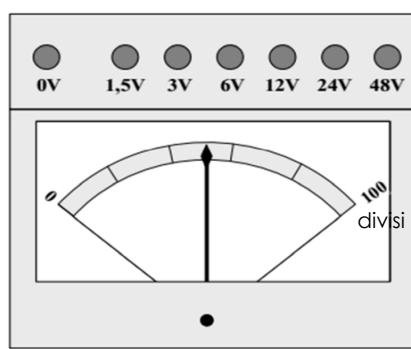
C O M P L E T E

1.8.4. Constante de escala (Ce)

Es la relación entre la magnitud a fondo de escala (alcance) y la máxima deflexión, en divisiones:

$$Ce = \text{Magnitud fondo escala} / \text{total div de la escala}$$

También podemos interpretarla como: la variación de la magnitud medida que hará deflectar en 1 división al instrumento; es decir es la menor variación de entrada que el instrumento puede medir de forma confiable.



Divisiones de la escala de 1,5

$$C_{1,5} = \frac{1,5V}{100} = 0,015 \left[\frac{V}{div} \right]$$

$$C_3 = \frac{3V}{100} = 0,03 \left[\frac{V}{div} \right]$$

$$C_6 = \frac{6V}{100} = 0,06 \left[\frac{V}{div} \right]$$

Como vemos Ce tiene una estrecha relación con la sensibilidad: $Ce = 1/S$; con los valores del ejemplo de sensibilidad tendremos: $C_{e1} = 1/S_1 = 1/0,2 = 0,5$ y



$$C_{e2} = 1/S_2 = 1/1 = 1$$

A mayor sensibilidad => menor constante de escala, y viceversa

(en la sensibilidad el concepto es cuantas divisiones se desplaza la aguja por unidad de la variable medida => 5 div/V, por ejemplo; mientras que en la constante de escala el concepto es a cuanto equivale una división de la escala => 0,1V/div, por ej)

1.8.5. Resolución (instrumentos digitales o de valores discretos)

Es el cambio mas pequeño en la variable de medición que el instrumento puede medir de forma confiable; se lo puede ver expresado como un número: 0,5 V; 100 mA, etc...; también se lo puede encontrar como un porcentaje del alcance: 0,1% (en este caso, para un alcance de 100V, la resolución es de 0,1 V ó 10 mV) .



Supongamos un termómetro de mercurio cuya menor división representa 0,5 °C, es decir tiene una resolución de 0,5 °C; las mediciones fiables serán de: 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 °C;... los valores intermedios no se pueden asegurar.

En los instrumentos analógicos la resolución está dada por el valor de una división, es decir es igual a la constante de escala (C_e); pero en los instrumentos digitales está dada por el dígito menos significativo. Es frecuente que los instrumentos digitales presenten mayores resoluciones: centesimal (0,01), milesimal (0,001) o incluso mayor.

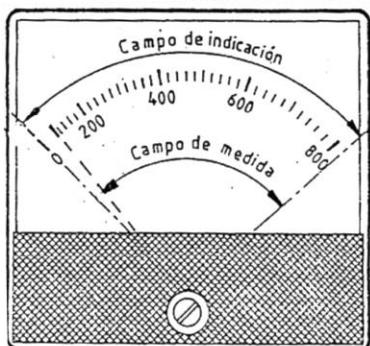
Ejemplo: Un multímetro digital de cuatro dígitos está ajustado para trabajar en el rango de 0 a 200 V. Calcule la resolución.

Solución: Como el multímetro es de cuatro dígitos, el máximo valor que puede medirse en dicho rango de medición es 200.0V. Luego el próximo valor más cercano es 199.9 V, por lo que la resolución del instrumento es:

C O M P L E T E



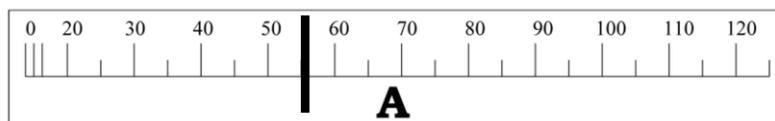
1.8.6. Campo de indicación (escala o rango) y campo de medida



El **campo de indicación**, tambien conocido como rango o escala del instrumento de medida, está determinado por los valores inicial y final de la escala (sus extremos). El **campo de medida** del instrumento comprende aquella parte de la escala en la cual resultan válidas sus indicaciones.



Por ejemplo, en la figura, el campo de indicación comprende de 0 a 800; pero las indicaciones del instrumento en el intervalo de 0 a 100 resultan imprecisas (no hay divisiones) y no pueden considerarse como resultados de medición, por lo que el campo de medida de este instrumento está comprendido entre 100 y 800, solamente.



1.8.7. Diferencia entre RANGO y SPAN:

El **RANGO** o alcance, expresa los valores del límite inferior y superior de medida del instrumento, para los cuales el equipo ha sido diseñado. En el caso de voltímetros y amperímetros, coincidirá con la escala de los mismos, ya que dichas escalas comienzan en cero usualmente.

El **SPAN** expresa la diferencia entre el valor máximo y el mínimo que puede medir el instrumento.

Consideremos los siguientes ejemplos ejemplos:

- Un transmisor de nivel con rango 300 a 4000 mm, tiene un *span* de 3700 mm.
- Una señal cuyo rango de salida es 4-20 mA, tiene un span de 16 mA (Esta señal de corriente es MUY utilizada en instrumentación y control industrial).



Alumno:

Pág:

- Un voltímetro en escala de 300V tendrá un rango de 0 a 300V y un span de 300; aquí el span coincide con la escala y rango
- Un termómetro con rango -20 a 60 °C, tiene un span de: COMPLETE
- Un manómetro con rango 30 psi, tiene un span de: C O M P L E T E



1.9.

ERRORES

Todo instrumento de medida tiene cierto error o inexactitud que se debe, en parte, a la construcción del instrumento, en parte al ajuste realizado durante su contraste y, en parte, al desgaste durante su funcionamiento. Como consecuencia de todos estos factores, los valores de la magnitud indicada por el instrumento de medida diferirán en un cierto valor de los valores reales de la magnitud medida.

No debe confundirse los errores propios de un instrumento de medida, con los errores del método de medición (por ej.: de paralaje, el error remanente en el método corto/largo, etc)

1.9.1. Error absoluto (E_a):

Diversas causas hacen que un instrumento de medida no indique con exactitud; los motivos mas importantes, en un instrumento analógico, son el rozamiento y las variaciones por temperatura

El error absoluto es la diferencia entre el valor leído y el valor verdadero

$$E_a = V_{\text{leido}} - V_{\text{verdadero}}$$

El error absoluto se determina por comparación de las lecturas del instrumento con las lecturas de un instrumento patrón (tomando al instrumento patrón como exacto, es decir, despreciando su error de clase, ya que su clase es mucho menor que la del instrumento a contrastar).

Hay que notar que *un mismo error absoluto* resulta mínimo para lecturas realizadas a fondo de escala y muy significativo para las ubicadas al comienzo de la escala, esto lo indicamos mediante el Error Porcentual.

1.9.2. Error Porcentual (E%):

Tambien llamado error relativo porcentual ($E_r\%$), es el error absoluto expresado en porcentaje del valor verdadero:

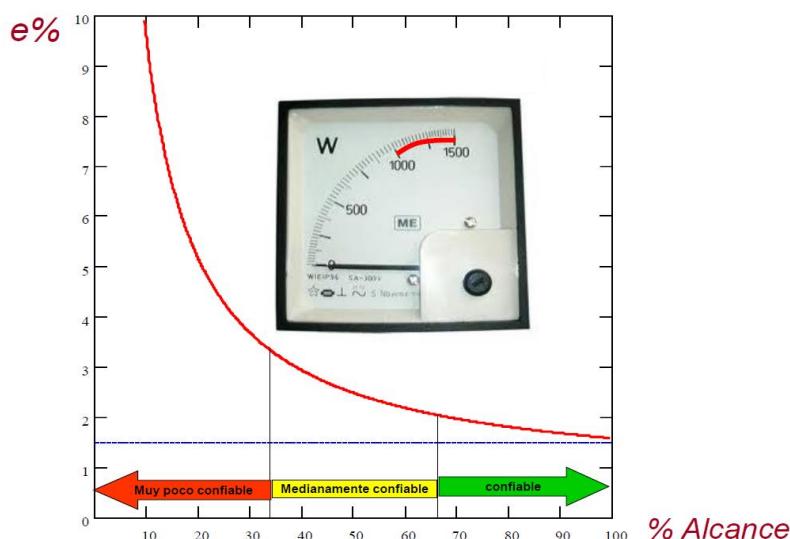
$$E\% = (E_a / V_{\text{verdadero}}) \cdot 100 = E_r\%$$



El E% **nos da una idea del peso del error** respecto al valor real de la magnitud bajo medición.

Por Ejemplo: 2 V de error (E_a) al medir 10 V, representan un E% del 20%; mientras que esos mismos 2 V de error representan un E% del 1% al medir en 200V. El primer caso es inaceptable como medición.

El siguiente gráfico nos muestra como a medida que la medición se aleja del último tercio de la escala, el E% de la medición se incrementa (zonas amarillas y rojas):



1.9.3. Calidad del instrumento: CLASE

La calidad de un instrumento está definida por lo que llamamos “**Clase**” del mismo, que es **el E% máximo con que mide el instrumento a fondo de escala (alcance)**.

$$\text{Clase} = E\%_{(\text{fondo escala})} = (E_a / \text{Alcance}) \cdot 100$$

Si al realizar una medición a fondo de escala en nuestro ejemplo anterior, para una escala de 200V, 2V de error representan un E% a fondo de escala del 1%, es decir, tenemos un instrumento de clase 1.

La clase del instrumento nos brinda la información del error porcentual que el instrumento cometerá, según su fabricante; este error es denominado “**Error de**



Clase" (E% a fondo de escala)

Por ej: para un instrumento clase 0,5, el Error de clase (=E% fondo de escala) es de $\pm 0,5$ unidades de la variable medida.

CLASE	APLICACIÓN
0,1 y 0,2	Instrumentos patrones, de gran exactitud (investigación y calibración)
0,5	Instrumentos de precisión para laboratorio
1 y 1,5	Instrumentos de medidas portátiles (mediciones Industriales)
2,5; 3 y 5	Instrumentos para montaje en tableros (indicadores industriales)

Valores Normalizados: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 y 5

Ejemplo 1:

¿Cuál será el error (error absoluto) que cometemos al medir con un instrumento clase 1 en una escala o alcance de 10V?

Clase = 1 $\Rightarrow E\% = \pm 1$ respecto al fondo de escala (10V)

$$E\% = (E_a / Alcance) * 100 \Rightarrow E_a = E\% * Alcance / 100$$

$$E_a = \pm 1 * 10 / 100 = \pm 0,1V$$

Es decir el valor real será: Valor medido $\pm 0,1V$

Ejemplo 2:

Para medir una tensión de 80,0 V se dispone de 2 voltímetros, uno de clase 0,5 y alcance de 250 V, otro de clase 1 y alcance de 100 V. ¿cuál de estos dos voltímetros es mas apropiado para realizar la medición?

- Con el voltímetro de clase 0,5 se puede esperar un E% de $\pm 0,5$ referido a una escala de 250V; entonces el E_a es:



$$E_{a1} = \pm 0,5 * 250 / 100 = \pm 1,25V$$

Por lo que el resultado de la medición 1 será de $80V \pm 1,25V$

- b) Con el voltímetro de clase 1 se puede esperar un $E\%$ de ± 1 referido a una escala de 100V; entonces el E_a es:

$$E_{a2} = \pm 1 * 100 / 100 = \pm 1V$$

Por lo que el resultado de la medición 2 será de $80V \pm 1V$

Respuesta: Para esta medición se comete menos error con el voltímetro de clase 1

- - - - -

Como Conclusión podemos decir:

- Debe evitarse instrumentos de medida cuyo valor a fondo de escala sea bastante mayor que el valor a medir.
- El campo de medida debe elegirse de forma que el posible valor a medir se lea en el tercer tercio de la escala.

1.9.4. EL LUXÓMETRO

Un luxómetro, mal llamado fotómetro, es un instrumento de medición que permite medir de manera simple y rápida la **iluminancia real** y no subjetiva de un ambiente, es decir, la cantidad de [lux].

El luxómetro es un instrumento que permite medir la cantidad de “luz” que llega a una superficie, por lo que se mide en LUX

Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en una señal eléctrica, la cual es interpretada y representada en un display o aguja con la correspondiente escala en luxes. La unidad de medida es el lux [lx].



1.9.5. Principio de funcionamiento

El luxómetro funciona según este principio de una celda o célula fotovoltaica, la cual tiene la capacidad de transformar la señal lumínica que recibe (fotones) en una señal eléctrica proporcional; luego representaremos en un display el valor correspondiente pero asignandole una escala en LUX, que es la unidad en que medimos las señales luminicas. (La mayoría de los luxómetros cotienen sensores hechos de materiales fotovoltaicos como selenio, CdS o silicio).

Un filtro de corrección de espectro permite evitar que las diferencias de espectro falsifiquen la medida (la luz amarilla es más eficaz que la azul, por ejemplo, para producir un electrón a partir de la energía de un paquete de fotones).

Los luxómetros pueden tener varias escalas para adaptarse a las luminosidades débiles o las fuertes (hasta varias decenas de millares de luxes).

1.9.6. Aplicaciones

Primero han sido utilizados por fotógrafos y cineastas. Es cada vez más utilizado por los productores de energía para optimizar la iluminación interior (del

20 al 60 % de la electricidad es consumida por la iluminación) o exterior (que a menudo desperdicia mucha energía). Se utilizan también, más raramente para medir la luminosidad del cielo en meteorología, para medir la luz recibida al suelo en bosques o en invernaderos.

En los últimos años también ha comenzado a ser utilizado por ecologistas, astrónomos y arquitectos para desarrollar índices cuantitativos de la contaminación lumínica o la intrusión de la luz para reducirlas o adaptar estrategias de ingeniería. Otro uso es el que le dan los profesionales de higiene y seguridad, a fin de determinar la posibilidad de ocurrencia de una enfermedad profesional por deficiencias lumínicas, ya que así lo establece la legislación laboral en muchos países. También son utilizados por técnicos en prevención de riesgos laborales en los lugares de trabajo.

1.9.7. Lux (Unidad de medida)

El lux (simbolizado: lx) es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m². Se usa en la fotometría como medida de la iluminancia, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad del ojo humano a la luz.

Equivalencia: 1 lx = 1 lm/m² = 1 cd · sr/m²



1.9.8. Explicación:

El lux es una unidad derivada, basada en el lumen, que a su vez es una unidad derivada basada en la candela. Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado, mientras que un lumen equivale a una candela x estereorradián. El flujo luminoso total de una fuente de una candela equivale a 4π lúmenes (puesto que una esfera comprende 4π estereoradianes).

La siguiente tabla muestra unos valores orientativos del nivel de iluminación que se puede medir, en un plano horizontal a unos 70 centímetros del suelo, en diferentes situaciones:

Luxómetro para medir la iluminancia en lugares de trabajo.

Iluminancia	Abr eviatura	Ejemplo
0,00 0008 lux	8 μlx	Luz de la estrella Sirio (Vista desde la tierra).
0,00 01 lux	100 μlx	Cielo nocturno nublado, luna nueva.
0,00 1 lux	1 mlx	Cielo nocturno despejado, luna nueva.
0,01 lux	10 mlx	Cielo nocturno despejado, cuarto creciente o menguante.
0,25 lux	250 mlx	Luna llena en una noche despejada.
1 lux	1 lx	Luna llena a gran altitud en latitudes tropicales.
3 lux	3 lx	Límite oscuro del crepúsculo bajo un cielo despejado.
100 lux	1 hlx	Pasillo en una zona de paso.
300 lux	3 hlx	Sala de reuniones.
500 lux	5 hlx	Oficina bien iluminada.
600 lux	6 hlx	Salida o puesta de sol en un día despejado.

1.00 0 lux	1 klx	Iluminación habitual en un estudio de televisión.
32.0 00 lux	32 klx	Luz solar en un día medio (mínima).
100. 000 lux	100 klx	Luz solar en un día medio (máxima).

1.9.9. Lux y lumen:

La diferencia entre el lux y el lumen consiste en que el lux toma en cuenta la superficie sobre la que el flujo luminoso se distribuye. 1000 lúmenes, concentrados sobre un metro cuadrado, iluminan esa superficie con 1000 lux. Los mismos mil lúmenes, distribuidos sobre 10 metros cuadrados, producen una iluminancia de sólo 100 lux. En otras palabras, iluminar un área mayor al mismo nivel de lux requiere de un número mayor de lúmenes.

1.9.10. Relación entre iluminancia e irradiancia:

Como todas las unidades fotométricas, el lux tiene una unidad radiométrica correspondiente. La diferencia entre unidades fotométricas y radiométricas consiste en que las segundas se basan en la potencia física, con todas las longitudes de onda medidas por igual, mientras que las unidades fotométricas toman en cuenta el hecho de que el ojo (humano) es más sensible a unas longitudes de onda que a otras, por lo que cada longitud de onda tiene un peso diferente en su cálculo. El factor que determina el peso de cada longitud de onda es la función de luminosidad.

Un lux es un lumen/metro², y la unidad radiométrica correspondiente, que mide la irradiancia, es el vatio por metro cuadrado (W/m²). No hay una fórmula de conversión entre lux y W/m²; existe un factor de conversión diferente para cada longitud de onda, y no es posible realizar la conversión a menos que se conozca la composición espectral de la luz en cuestión.

El valor máximo de la función de luminosidad se encuentra en los 555 nm (correspondiente al color verde); el ojo es más sensible a la luz de esta longitud de onda que a ninguna otra. En el caso de luz monocromática de esta longitud de onda, la irradiancia necesaria para producir un lux es la mínima: 1,464 mW/m². Es decir, en esta longitud de onda se obtienen 683,002 lux por W/m² (o lúmenes por vatio).

1.9.11. Partes de un luxómetro

Un medidor de lúmenes no es un aparato demasiado complejo, el luxómetro está formado básicamente por dos partes:

Fotorreceptor o semiesfera difusora: Es la parte que se encarga de hacer la medición de la luz. Capta la cantidad de luz que entra en sus células fotoeléctricas y la convierte en impulsos eléctricos que van hacia el lector.

Lector: Es la parte que recibe los impulsos eléctricos del fotorreceptor y realiza su interpretación trasladando los datos de medida a una pantalla digital y dando la intensidad de luz en una escala de luxes.

- 1.- Pantalla LCD.
 - 2.- Encendido/apagado y escala.
 - 3.- Fotorreceptor/semiesfera difusora:
Capta la luz en un radio de 180°.
 - 4.- MAX: Al pulsar este botón, aparecerá en la pantalla la máxima medición realizada hasta que se oprima nuevamente.
 - 5.- HOLD: Al pulsar este botón, la última lectura quedará grabada en la pantalla hasta que se oprima nuevamente.
 - 6.- Lux/fc: Permite elegir si medir en Lux o en Candelas por pie (foot-candles).
-

1.9.12. Características de un luxómetro

Este instrumento es un aparato que puede tener diferentes escalas en función de la cantidad de luz que se necesita medir, para de esta manera tener una exactitud más correcta en el caso de que sea más débil o más fuerte la intensidad de luz. Cualquier modelo de luxómetro cuenta con ciertas características principales:

Es un instrumento que puede llevarse con facilidad a cualquier lugar, es portátil.

Cuenta con un sensor de selenio, silicio, cuya respuesta espectral es igual a la visión humana.

Tiene diferentes resoluciones, precisión, velocidad de muestreo, rangos y respuesta.

Tiene un sensor independiente o integrado en cuyo caso admite el acceso a perspectivas excepcionales.

Puede medir niveles bajos de luminosidad, gracias a que posee un ajuste automático a cero.

Retención de los valores máximos de los datos de medición.

1.9.13. Instrucciones de uso

Aunque cada aparato tiene sus peculiaridades y en sus instrucciones viene de forma detallada cómo se debe utilizar un luxómetro; a grandes rasgos, los pasos a seguir para realizar una lectura correcta de la intensidad lumínica son, a saber:

1.- En primer lugar, situar el fotorreceptor o semiesfera difusora apuntando directamente a la fuente luminosa que se pretende medir.

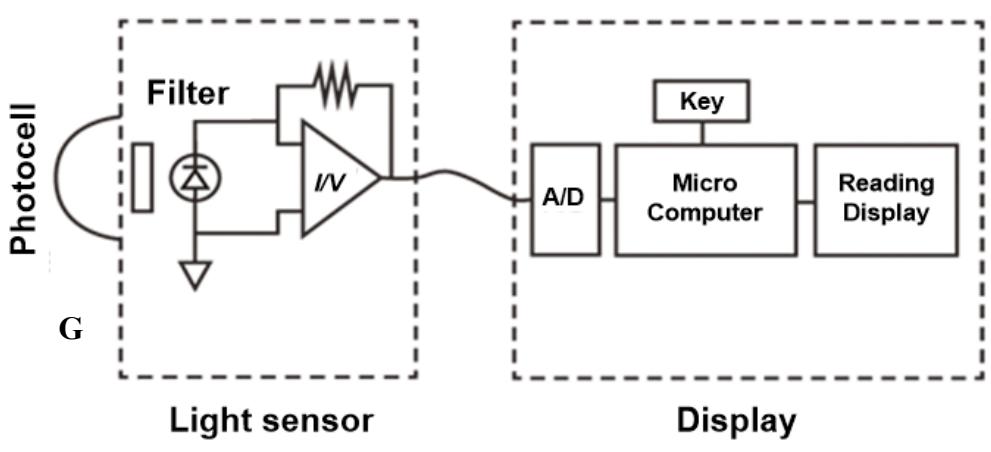
2.- En segundo lugar, debe calibrarse la escala del luxómetro para adaptarla a la intensidad lumínica que se pretende medir. Para darse una idea, si se quiere medir la intensidad de luz por la noche, la escala debería ser de 1 Lux, pero si se pretende medir la intensidad lumínica a plena luz del día, la escala debería ser de 100.000 Lux.

3.- Una vez hecho lo anterior, sólo queda encender el luxómetro y esperar que los datos de la medición aparezcan en la pantalla.

4.- Cuando se vean los datos de la lectura en la pantalla, se deberá multiplicar su valor por el de la escala que se aplicó en un principio. Es decir, si se aplicó una escala de 100 lux y los datos de medida fueron 50, la medición real sería $50 \cdot 100 = 5000$ lux.

Para la medición de la intensidad lumínica en áreas cerradas, aulas o centros de trabajo, las mediciones se hacen a partir de triangulaciones del espacio, es decir, se toman tres medidas en tres zonas diferentes del espacio de trabajo o zona que queramos medir y se hace una media de los datos recibidos para tener una aproximación de la intensidad lumínica que hay en ese espacio.

1.9.14. Diagrama de bloques de un luxómetro



Photocell/globe: Es el fotorreceptor/semiesfera difusora, encargado de captar la cantidad de luz entrante y convertirla en impulsos eléctricos que van hacia el lector.

Filter: Es el filtro de corrección de espectro, encargado de evitar que las diferencias de espectro adulteren la medida (la luz amarilla es más eficaz que la azul, por ejemplo, para producir un electrón a partir de la energía de un paquete de fotones).

PD: Es un fotodiodo, se trata de un semiconductor sensible a la incidencia de luz visible o infrarroja. En este caso sirve como sensor de luz (light sensor).

I/V: Es el convertidor corriente a voltaje, convierte una señal de referencia de corriente eléctrica a tensión eléctrica.

Key: Son las distintas teclas o botones del instrumento.

A/D: Es el conversor de análogo a digital, es un dispositivo electrónico que convierte una entrada analógica de voltaje a un número digital. La salida digital puede usar diferentes esquemas de codificación, como binario, entre otros.

Micro-Computer: Es un micro-controlador, se trata de un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales que cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida. Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y funcionan a velocidad de reloj con frecuencias tan bajas como 4 kHz, con un consumo de baja potencia (mW o microvatios).

Reading display: Es la pantalla de lectura, muestra los datos medidos con su escala en luxes o candelas por pie (fc).

Power Supply: Es la fuente de alimentación.



1.10.

EL DECIBEL (dB)

El Bell (en honor a Alexander Graham Bell, 1847-1922) y su más conocida “décima parte”: **decibel (dB)**; es un parámetro, que si bien no es una unidad ocupa dicho espacio, y es utilizado para **expresar la relación entre dos valores de una misma magnitud**, principalmente potencias de señales eléctricas y ondas acústicas y. Fue creado debido a la necesidad de los ingenieros de Bell Labs de poder trabajar y comparar la potencia de la señal y la pérdida de la misma, en las líneas telefónicas, sin tener que trabajar con grandes números.

Amplificación, rango dinámico, potencia (eléctrica, acústica, lumínica), presión sonora, tensión eléctrica y relación señal a ruido, son algunas de las magnitudes cuyas relaciones *pueden* ser comparables mediante el uso del decibel. A menudo se asocia el dB con la rama del sonido exclusivamente, esto debido a que su variación logarítmica es comparable a la respuesta del oído en el ser humano, haciendo mas fácil las comparativas de presión acústica (el “volúmen”); pero como **el decibel no representa a una magnitud o unidad en específico, sino una relación entre dos magnitudes de la misma unidad**, el sonido no es el único campo donde se lo utiliza.

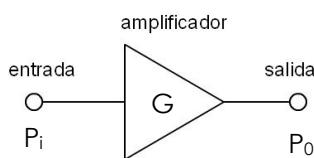
Algebráicamente el Bell y su más conocida “décima parte”, el **deciBell**, se calculan como:

$$X = \log_{10} (P_2/P_1) [B] = \boxed{10 \log_{10} (P_2/P_1) [dB]}$$

(1 dB es la décima parte del Bell: $1 \text{ dB} = 0,1 \text{ B}$)

Por ejemplo, un campo donde se aplica mucho esto es en electrónica, mas precisamente al expresar las ganancias de dichos circuitos:

$$\text{Ganancia de potencia} = G = 10 \cdot \log_{10} (P_{\text{out}} [\text{W}] / P_{\text{input}} [\text{W}]) [\text{dB}];$$



P_i : valor de entrada del sistema

G: Ganancia de sistema de amplificación

P_o : valor de salida del sistema.



$$\text{si } P_{\text{out}} = 1000 \text{ P}_{\text{input}} \Rightarrow G = 10 \cdot \log_{10} (P_{\text{out}} / P_{\text{input}}) = 10 \cdot \log_{10} (1000 \cdot P_{\text{input}} / P_{\text{input}})$$

$$G = 10 \cdot \log_{10} 1000 = +30 \text{ dB}$$

Esto significa:

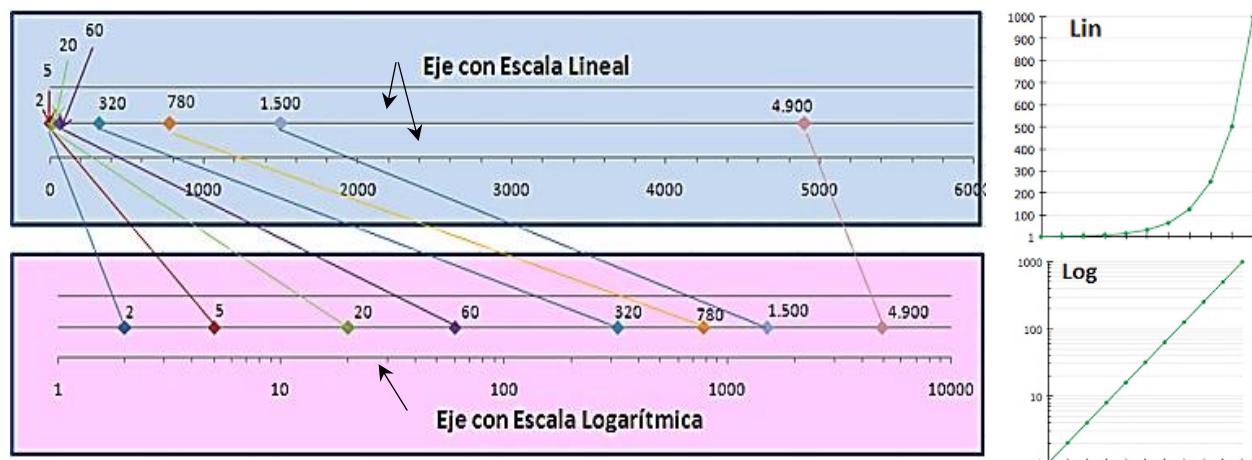
- Desde el punto de vista de watts: si ingreso con 3 W en la salida obtendré 3000 W (la ganancia es de 1000 veces la entrada: $3 \times 1000 = 3000$).
- Desde el punto de vista de los dB: si ingreso con 1 dB en la salida obtengo 31 dB

Sin embargo ambos puntos de vista se relacionan directamente, es decir 1dB será lo mismo que 3 W y 31 dB será lo mismo que los 3000 W; para este caso particular (si trabajamos con [W] se multiplica o divide, mientras que si trabajamos con dB se suma o resta).

Esta forma de trabajar con dB, por un lado, facilita las cuentas, ya que solo debemos sumar o restar en vez de realizar multiplicaciones o divisiones; según el circuito represente una ganancia (+dB) o una perdida (-dB).

Por otro lado, el utilizar dB nos permite trabajar con números muy chicos o muy grandes, en una gráfica de reducidas dimensiones y donde podemos observar cómodamente ambos extremos numéricos; esto debido que al utilizar dB estamos trabajando con una escala logarítmica (no sucedería esto si utilizásemos los watts, lo cual requiere de un gráfico lineal).

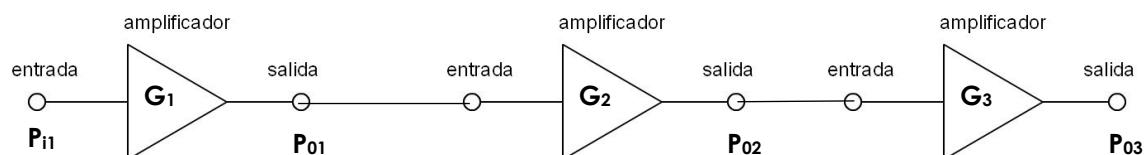
La segunda característica del dB (la primera es la de expresar una proporción), es poder presentar en una misma gráfica valores muy chicos y muy grandes:



Volviendo a nuestro ejemplo donde $P_0 = 1000 P_i$, se puede apreciar que en una escala lineal el valor de salida del sistema estará 1000 veces más alejado del valor de entrada. Al utilizar dB transformaremos la escala lineal en una logarítmica, donde el valor de salida está a solo 30 db de la señal de entrada. Por ejemplo, observe la relación entre los valores 5 y 4900 ($\approx 5 \times 1000$)

Nótese que en una escala logarítmica, la referencia nunca puede ser cero porque el logaritmo de cero no existe!!

El Bell, o mas utilizado deciBell (dB), gracias a las propiedades de los logaritmos, nos permite obtener el resultado de una cadena de circuitos de amplificación mediante la sencilla suma y resta algebraica, en dB, de las ganancias y pérdida individual de cada circuito o etapa; evitando así ecuaciones de mayor complejidad para llegar al mismo resultado de forma más tradicional. Por ejemplo:



Siendo: $P_{i1} = 0,05 \text{ W}$; $P_{01} = 0,5 \text{ W}$; $P_{02} = 1,2 \text{ W}$; $P_{03} = 1,1 \text{ W}$, ¿Cuánto representa la ganancia en dB de cada etapa y la total del sistema?

$$G_1 = \quad \text{dB}; G_2 = \quad \text{dB}; G_3 = \quad \text{dB}; G_{\text{Total}} = \quad \text{dB}$$

C O M P L E T E



NOTA: El signo “+” en los dB nos indicará que la etapa produce una amplificación de la señal, y el “–“ una disminución o pérdida; entonces realizando la suma algebraica de las ganancias de cada etapa podemos determinar el comportamiento de TODO el conjunto de circuitos trabajando juntos (el del circuito equivalente total).

1.10.1. Otros tipos de decibel:

Según el valor de referencia (Valor₁ en la formula de dB) que adoptemos al calcular los decibeles, tendremos distintos tipos, entre ellos:

- **dB_V:** este decibel tiene de referencia a 1 Volts rms. Así a 1 V_{rms} le corresponden 0 dB_V; es decir cuando obtengamos un valor de 0 dB_V es porque estamos midiendo 1 V_{rms}.
- **dB_w:** este decibel tiene de referencia a 1 W. Así a 1 W medido le corresponde 0 en la escala de dB_w.
- **dB_m:** este decibel tiene de referencia a 1 mW (milivatios). Es decir, se toma como referencia 1 mW; esto se utiliza cuando el valor expresado en vatios es muy pequeño. Entonces a 1 mW le corresponden 0 dB_m.
- **dB_μ:** El dB_μ expresa el nivel de señal en decibeles y referido a 0,7746 voltios. 0,7746 V es la tensión que aplicada a una impedancia de 600 Ω desarrolla una potencia de 1 mW rms. Esta es de amplia utilización en comunicaciones.
- **dB_{SPL}:** este decibel, que es utilizado en sonido, tiene de referencia al valor de 20 μPa (micro pascales)

1.10.1.1. ¿Por qué 20.log en lugar de 10.log, para amplitudes?

Para **decibeles** que están **referidas a amplitudes** de onda y no a potencia de una onda, como por ejemplo el dB_V, se utiliza la ecuación:

$$X [\text{dB}] = 20 \log (\text{medición} / \text{referencia}) \leftarrow \text{Amplitudes}$$

mientras que para **potencias** se utiliza :



$$X [\text{dB}] = 10 \log (\text{medición} / \text{referencia}) \leftarrow \text{Potencias}$$

¿Por Qué?

El dB fue creado debido a la necesidad de los ingenieros de Bell Labs de poder trabajar y comparar la potencia de la señal y la pérdida de la misma, en las líneas telefónicas, sin tener que trabajar con grandes números (como vimos, una de las ventajas de trabajar con logaritmos es que acerca los valores lejanos).

Al trabajar con potencias estamos trabajando con ecuaciones cuadráticas: $I^2.R$; V^2/R , etc; siendo dicho cuadrado el que convertirá el 10 en 20 al resolver la ecuación logarítmica para dejarla expresada en función de las amplitudes V e I [una de las propiedades de logaritmo es: $\log_{10}(A^n) = n \cdot \log_{10}(A) \Rightarrow 10 \cdot \log_{10}(A^n) = n \cdot 10 \cdot \log_{10}(A^n)$].

Tomemos dos corrientes: I_1 e I_2 ; que producirán una potencia P_1 y P_2 sobre una resistencia R. Al buscar la relación en dB de las amplitudes de corriente obtendremos:

$$\begin{aligned} \text{Relacionando Potencias} \rightarrow X [\text{dB}] &= 10 \cdot \log (P_2/2P_1) = \\ &= 10 \cdot \log (I_1^2 \cdot R / I_2^2 \cdot R) = 10 \cdot \log (I_1^2 / I_2^2) = 10 \cdot \log (I_1 / I_2)^2 = 10 \cdot 2 \cdot \log (I_1 / I_2) = \\ \text{Relacionando Amplitudes} \rightarrow X [\text{dB}] &= 20 \cdot \log (I_1 / I_2) \end{aligned}$$

1.10.2. El dB_{SPL} (sound pressure level = nivel de presión sonora)

El dB_{SPL} se usa específicamente para expresar el nivel presión sonora o acústica. Se puede apreciar que en este caso, la **referencia es igual a 20 μPa**, ya que esa es la **presión sonora mínima audible por el oído** del ser humano. La expresión matemática de este decibel es:

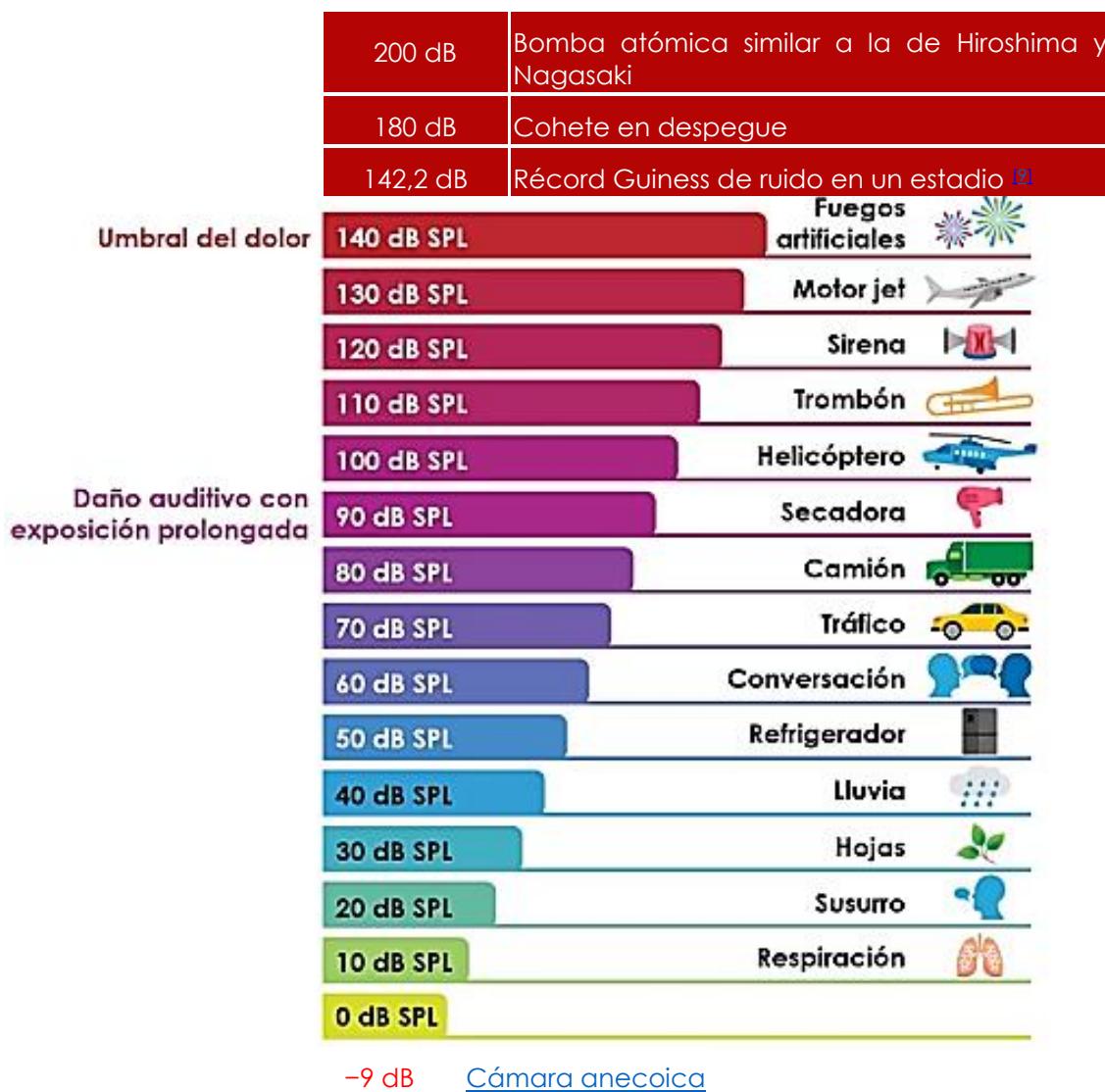
$$dB_{SPL} = 20 \cdot \log (Prms/20 \mu\text{Pa}) \Rightarrow 0 dB_{SPL} = 20 \mu\text{Pa}$$

Notas:

- No confundir 0 dB_{SPL} con que no hay sonido; SÍ hay sonido, a un nivel de 20 μPa = Susurro.
- Se calcula con $20 \cdot \log(\dots)$ porque estamos relacionando las amplitudes de la “presión” acústica o sonora de la señal audible, y no la potencia de dicha señal (la cual responde al cuadrado de la presión acústica).



La siguiente escala expresa el rango de dB con respecto a los efectos en el oído humano:



Cuando un sonido disminuye o aumenta en una escala logarítmica como la del dB_{spl} , el oído humano lo percibe como un aumento lineal, es decir **si duplicamos los dB_{spl} de un sonido la persona lo percibirá con el doble de "volumen"** que antes; esto es porque **el oído humano funciona de forma logarítmica**. Si se usara otra escala el oído humano no lo percibiría de esta forma, y es por esto que se utiliza el decibel como parámetro en sonido.

La presencia de relaciones exponenciales en la medida de intensidades de las señales es una de las razones para utilizar una escala logarítmica; por ello el decibel es muy utilizado en sonido, en radiocomunicaciones, en expresiones de potencia, etc...



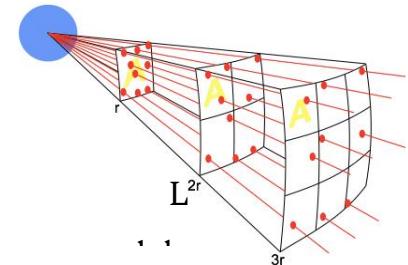
Reglas prácticas:

- Si a potencia acústica nos referimos, por cada 3 dB de incremento, la potencia en watts se duplica (NO que *el ser humano percibirá* el doble de "Volumen" sonoro; esto sólo pasará cuando se dupliquen los dB_{spl} ; para este caso a los 6 dB).

Escala Lineal: 10 - -20- - -40- - - - -80- - - - - - - - -160 W

Escala Logarítmica: 10 - 13 - 16 - 19 - 22 - 25 dB

- La disminución de la potencia acústica a medida que nos alejamos de la fuente es cuadrática en lugar de lineal (potencia que se propaga por el aire u espacio); esto es: cuando nos alejamos "x" metros, la potencia que recibimos de la fuente disminuye en $1/x^2$ (de acuerdo con la "ley del inverso al cuadado"). Por ejemplo, supongamos una fuente que emite 100W:



A la distancia de 1 metro recibiremos: $1/1^2 \cdot 100 = 100\text{W}$

A la distancia de 2 metros recibiremos: $1/2^2 \cdot 100 = 25\text{W}$

A la distancia de 4 metros recibiremos: $1/16 \cdot 100 = 6,25\text{W}$

A la distancia de 8 metros recibiremos: $1/64 \cdot 100 = 1,6\text{W}$

- Relaciones fáciles de recordar; tomemos como ejemplo una potencia de referencia de 9W, entonces:

0 dB = 1 vez la potencia de referencia => 9 W

+10 dB = 10 veces la potencia => 90 W

-10 dB = un décimo de la potencia => 0,9 W

+3 dB = el doble de la potencia => 18 W

-3 dB = la mitad de la potencia => 4,5 W

Ejemplo: ¿Qué valor de referencia utilizan los decibelio utilizado en las



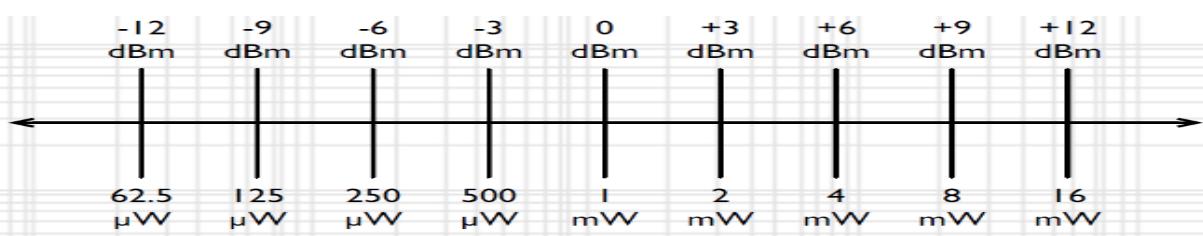
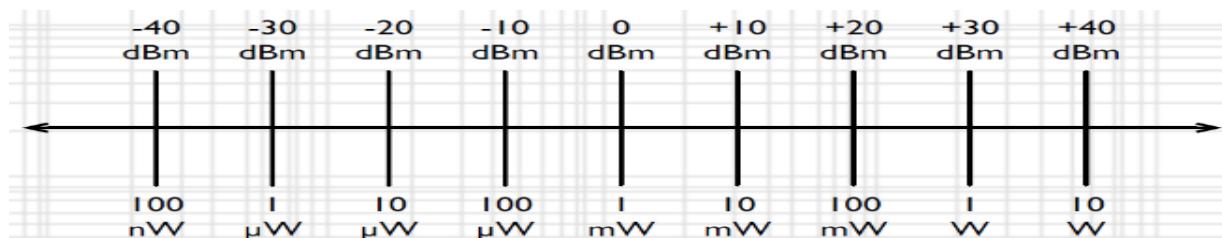
Alumno:

Pág:

siguientes gráficas?:

Rpta:

C O M P L E T E



Ejemplo:

¿A cuánta potencia corresponden 43 dBm?

- +43 dBm son 43 dB relativos a 1 mW
- $43 \text{ dB} = 10 \text{ dB} + 10 \text{ dB} + 10 \text{ dB} + 10 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$

$$0 \text{ dB} = 1 \text{ mW}$$

$$+10 \text{ dB} = 10 \text{ mW}$$

$$+10 \text{ dB} = 100 \text{ mW}$$

$$+10 \text{ dB} = 1000 \text{ mW} =$$

► Por tanto, +43 dBm = **20 W**

¿A cuánta potencia corresponden -26 dBm?

- -26 dBm son 1 mW (0 dBm) "menos" 26 dB
- $-26 \text{ dB} = -10 \text{ dB} - 10 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$

$$0 \text{ dB} = 1 \text{ mW} = 1000 \mu\text{W}$$

$$-10 \text{ dB} = 100 \mu\text{W}$$

$$-10 \text{ dB} = 10 \mu\text{W}$$

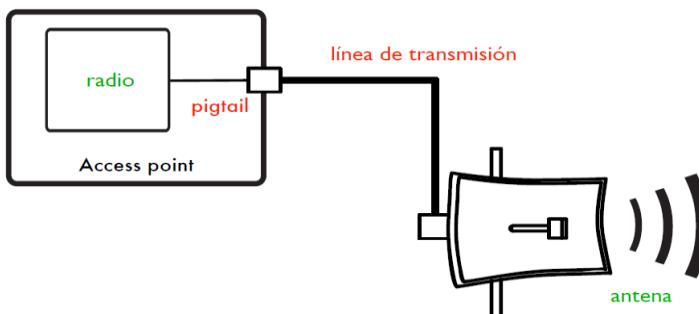
► Por tanto, -26 dBm = **2.5 μW**

Ejemplo de aplicación



Alumno:

Pág:

**Usando mW**

Potencia de salida del radio	Pérdida en el pigtail	Potencia de salida del A.P.	Perdida de la línea de T.	Potencia entrada a la antena	Ganancia de la antena	Potencia de salida antena
100 mW	pierde la mitad		pierde la mitad		16 veces la potencia	
	100 mW / 2	50 mW				
			50 mW / 2	25 mW		
					25 mW x 16	400 mW

Usando dB

$$2.2.2.2 = 16 \text{ veces}$$

Que es equivalente a:

$$+3\text{dB} + 3\text{dB} + 3\text{dB} + 3\text{dB} = 12\text{ dB}$$

Potencia de salida del radio	Pérdida en el pigtail	Potencia de salida del A.P.	Perdida de la línea de T.	Potencia entrada a la antena	Ganancia de la antena	Potencia de salida antena
20 dBm	-3 dB		-3 dB		+12 dBi	
	-3 dB	17 dBm				
			-3 dB	14 dBm		
					+12 dBi	26 dBm (400mW)



1.11. Grados de protección IP



El grado de protección IP (Ingress Protection = Protección contra Ingreso) es un sistema de clasificación de los diferentes **grados de protección aportados por la envolvente** ("carcasa" podríamos decir) que resguarda los componentes alojados en su interior. Esta clasificación establece una relación de protección contra los agentes ambientales y humanos, externos, a los que puede ser sometido el instrumento o dispositivo sin ser afectado. Se expresa mediante la simbología "IPXXXXX", donde cada "X" es un número o letra que tiene un significado según su posición y valor. *Si por algún motivo no se va a utilizar una de las posiciones previas a la última posicion utilizada, las no utilizadas se reemplazan con una "X".*

decir) que resguarda los componentes alojados en su interior. Esta clasificación establece una relación de protección contra los agentes ambientales y humanos, externos, a los que puede ser sometido el instrumento o dispositivo sin ser afectado. Se expresa mediante la simbología "IPXXXXX", donde cada "X" es un número o letra que tiene un significado según su posición y valor. *Si por algún motivo no se va a utilizar una de las posiciones previas a la última posicion utilizada, las no utilizadas se reemplazan con una "X".*

Lo más usual es encontrar la información de protección en la forma IPXX, obviando las restantes cifras. A nivel internacional esta clasificación es regida, en general, por la norma "CEI 60529 degrees of protection", que para componentes eléctricos abarca hasta tensiones de 72,5 KV; también existe normativa europea, estadounidense (NEMA 250) y la Argentina IRAM 2444 (que toma como base a las anteriores), etc.

Según por qué norma nos guiemos puede haber variación en la cantidad de dígitos o el significado. En general todas las normas tienen mas o menos el mismo significado y clasificación para los dos primeros dígitos y la primera de las letras; el resto de dígitos y letras dependerá de la norma bajo la cual se escribió el grado de protección.

Aquí haremos un resumen de ellas con las clasificaciones mas usuales con que nos podemos encontrar.



1.11.1. Primera dígito del Grado IP (Sólidos):

El primer dígito numérico nos indicará simultáneamente el grado de protección contra el acceso de las personas y el de ingreso de partículas sólidas/polvo:

Sólidos					
1	2	3	4	5	6
Objetos sólidos de más de 50 mm, como la palma de la mano.	Objetos sólidos de más de 12,5 mm, como un dedo.	Objetos sólidos de más de 2,5 mm, como un destornillador.	Objetos sólidos de más de 1 mm, como un cable.	Entrada de polvo restringida. No afecta el funcionamiento del actuador.	El polvo no entra en el dispositivo.

- Nivel 0: Sin protección contra el polvo
- Nivel 1: Partículas mayores a 50 mm no puede entrar al equipo
- Nivel 2: Partículas mayores a 12,5 mm no puede entrar al equipo
- Nivel 3: Partículas mayores a 2,5 mm no puede entrar al equipo
- Nivel 4: Partículas mayores a 1 mm no puede entrar al dispositivo
- Nivel 5: Pueden entrar partículas polvo, pero no afecta el funcionamiento del equipo
- Nivel 6: No puede entrar polvo de ninguna manera

1.11.2. Segunda dígito del Grado IP (Líquidos):

El segundo dígito numérico nos indicará el grado de protección contra el ingreso de agua, y por ende de líquidos con desidad y agresión química similar al agua:



Alumno:

Pág:

Líquidos							
1	2	3	4	5	6	7	8
Goteo vertical.	Goteo vertical con el actuador inclinado 15°.	Rociada de agua por debajo de los 60°.	Rociada de agua desde cualquier ángulo.	Chorros de agua.	Chorros de agua potentes.	Inmersión a 15 cm - 100 cm durante 30 minutos.	Inmersión en condiciones más duras que para el IPX7.

- Nivel 0: Significa no protegido (no tiene una protección especial)
- Nivel 1: Protegido contra caída de gotas de agua “goteo” sobre el dispositivo en forma vertical
- Nivel 2: Protegido contra “goteo” en direcciones verticales e inclinadas hasta 15° de la vertical (entre 75° y 105°)
- Nivel 3: Protegido contra spray de agua o bien lluvia en direcciones que formen ángulo menor de 60° con la vertical (desde 30° hasta 150°). Debe limitar el ingreso de agua por lo menos durante 5 minutos.
- Nivel 4: Protegido contra inyecciones de agua proyectada en todas direcciones (se ensaya con chorros de agua por 5 minutos a una presión de 80-100 kN/m², en cualquier ángulo que se encuentre el dispositivo) (Splashing Water)
- Nivel 5: Protegido contra chorro de agua lanzado contra la envoltura en toda dirección no deberá tener efecto nocivo sobre el dispositivo (se ensaya con chorros de agua de una boquilla de 6,3 mm durante al menos 3 minutos, en cualquier posición en que se encuentre el dispositivo. El chorro de agua debe estar a una distancia superior a 3 m)
- Nivel 6: Protegido contra golpes de mar, el agua proyectada con fuerza contra la envoltura no deberá penetrar en cantidades nocivas (se ensaya con chorros muy potentes con boquillas de diámetro de 12.5 mm durante al menos 3 minutos, en cualquier posición en que se encuentre el dispositivo. El chorro de agua debe estar a una distancia superior a 3 m)..
- Nivel 7: Resiste la inmersión completa al agua, a un metro de profundidad durante al menos 30 minutos



- Nivel 8: Resiste la inmersión completa en condiciones más severas que el nivel 7. El fabricante establece la profundidad y el tiempo de resistencia a las filtraciones

Existe un nivel más que no es propia del CEI 60529, forma parte de la norma Alemana DIN 40050-9.

- Nivel 9K: Resistente a potentes chorros de agua a alta temperatura. La presión del agua debe estar entre 8000 y 10000 kPa y a una temperatura de 80°C. El disparo del chorro debe estar a una distancia entre 10 a 15 cm.

1.11.3. Tercera dígito del Grado IP:

El tercer dígito tiene relación en cuánto a la protección contra impacto mecánicos; la resistencia se establece dejando caer sobre el objeto, en caída libre, una masa M [Kg] desde una distancia D [cm], esto generará una energía en el impacto de J [joules]. Este impacto generara ciertos daños y abolladuras, lo cuales sirven como referencia para verificar el grado de protección:

Nivel 0: Sin protección contra el impacto

Nivel 1: Resiste impactos de 0.15 J, (0.20kg a 7.5cm de distancia)

Nivel 2: Resiste impactos de 0.20 J, (0.20kg a 10cm de distancia)

Nivel 3: Resiste impactos de 0.35 J, (0.20kg a 17.5cm de distancia)

Nivel 4: Resiste impactos de 0.50 J, (0.20kg a 25cm de distancia)

Nivel 5: Resiste impactos de 0.70 J, (0.20kg a 35cm de distancia)

Nivel 6: Resiste impactos de 1.00 J, (0.50kg a 20cm de distancia)

Nivel 7: Resiste impactos de 2.00 J, (0.50kg a 40cm de distancia)

Nivel 8: Resiste impactos de 5.00 J, (1.70kg a 30cm de distancia)

Nivel 9: Resiste impactos de 10.00 J, (5.00kg a 20cm de distancia)

Nivel 10: Resiste impactos de 20.00 J, (5.00kg a 40cm de distancia); para m=5.0



kg, g=10 m/s² y h=0,40 m, se multiplican y se obtienen los 10 J.

Recuerden que un Joule (J) es una unidad de energía, realizado por una fuerza de un 1 Newton (N) en un metro de longitud, en el mismo sentido y dirección de la fuerza. 1J = 1N·m (también 1N = 1kg·m/s²)

1.11.4. Primera Letra (ingreso de objetos a partes peligrosas):

Indica el grado de protección contra el acceso a partes peligrosas, ésta es usada sólo si:

- La protección real contra los accesos a partes peligrosas es mas elevada que la indicada por el primer dígito de la clasificación IP.
- Cuando sólo se menciona la protección contra partes peligrosas; en este caso el primer dígito característico debe ser reemplazado por una X.

Letra	Descripción abreviada	Grado de protección
		Definición (ver cláusula 2)
A	Protegido contra los accesos con el dorso de la mano	El calibre de accesibilidad, esfera de 50 mm de diámetro, deberá quedar a una distancia suficiente de las partes peligrosas
B	Protegido contra los accesos con un dedo	Los dedos de prueba articulados, de 12 mm de diámetro y de 80 mm de largo deben quedar a una distancia suficiente de las partes peligrosas
C	Protegido contra los accesos a partes peligrosas con una herramienta	El calibre de accesibilidad, de 2,5 mm de diámetro, y de 100 mm de largo debe quedar a una distancia suficiente de las partes peligrosas
D	Protegido contra los accesos a las partes peligrosas con un alambre	El calibre de accesibilidad, de 1 mm de diámetro, y de 100 mm de largo debe quedar a una distancia suficiente de las partes peligrosas

1.11.5. Segunda letra:

- Lo mas usual es encontrarla con una interpretación suplementaria a la primer letra:

Letra	Significado
H	Aparatos de alta tensión
M	Ensayo de verificación de la protección contra los efectos dañinos debidos al ingreso de agua, cuando las partes móviles del aparato (por ejemplo, el rotor de una máquina rotativa) están en movimiento.
S	Ensayo de verificación de la protección contra los efectos dañinos debidos al ingreso de agua, cuando las partes móviles del aparato (por ejemplo, el rotor de una máquina rotativa) no están en movimiento.
W	Adequado para ser utilizado en condiciones atmosféricas específicas y dotado de medidas o procedimientos de protección adicionales.



- También podemos encontrarla con una interpretación térmica:
 - Aislamiento clase Y = Temperatura máxima admisible de 90°C.
 - Aislamiento clase A = Temperatura máxima admisible de 105°C.
 - Aislamiento clase E = Temperatura máxima admisible de 120°C.
 - Aislamiento clase B = Temperatura máxima admisible de 130°C.
 - Aislamiento clase F = Temperatura máxima admisible de 155°C.
 - Aislamiento clase H = Temperatura máxima admisible de 180°C.
 - Aislamiento clase C = Temperatura máxima admisible de más de 180°C.

Nota1:

Si bien las palabras **estanco** y **hermético** se mencionan en algunas de las normas al describir ciertos grados IP, éstas hacen referencia a casos puntuales (como en la norma IEC 60529, véase nota 2); pero **el decir popular le ha dado un significado mucho mas amplio y erróneo a estos términos**, sacándolos del contexto de utilizarse para describir un grado IP particular.

Usualmente el término estanco es utilizado para indicar que el elemento es hermético (caja estanca, por ej), sin embargo esto no indica qué condiciones son las que soporta ni en qué circunstancias. Como hemos visto hay varios niveles de protección para un mismo elemento agresor, como soportar gotas de agua o la inmersión a profundidad; el término estanco no especifica a cuál se refiere, incluso tampoco hace referencia sobre qué agente agresor ofrece protección. **La palabra "estanco" no constituye un grado de protección IP**, ya que la misma está conformada por números y letras, no por palabras.

Nota 2:



Alumno:

Pág:

La norma IEC, para el caso de luminarias, permite simbolizar el grado de protección mediante símbolos:

Tipo de protección	Grado IP (IEC 60529)	Protección por símbolos (IEC 60598-1)
Ordinario	IP20	
Protegido contra las caídas verticales de agua	IPX1	
Protegido contra la lluvia	IPX3	
Protegido contra las proyecciones de agua (proyección de agua en todas las direcciones)	IPX4	
Protegido contra los chorros de agua	IPX5	
Protegido contra los chorros de agua potentes	IPX6	
Protegido contra los efectos de la inmersión temporal en agua (en la Norma IEC 60598-1 se indica "estanco a la inmersión")	IPX7	
Protegido contra los efectos de la inmersión continua en agua (en la Norma IEC 60598-1 se indica "estanco a la inmersión")		
Protegido contra el polvo	IP5X	
Estanco al polvo	IP6X	



1.12. Nomenclatura de Protección contra descargas eléctricas (no pertenece a la clasificación de grados IP)

Mediante esta codificación se le indica al usuario el grado de protección que brinda el aparato ante descargas eléctricas por fallas en la aislación del mismo; se ve mayormente en el cable de energía de los electrodomésticos, pegado como una calcomanía cerca de la ficha mafco de conexión:

- **Clase 0 :** Aparato en el que la protección contra descargas eléctricas recae exclusivamente sobre el aislamiento principal; y ante un fallo en ésta recae sobre el medio circundante (apoyado sobre mesa de madera o de metal, por ej). No poseen cable a tierra, y debido a su falta de seguridad están desapareciendo. Para identificarlos, los aparatos pueden llevar inscrito «Clase 0» o carecer de indicación.
- **Clase 1:** Además del aislamiento básico, las partes metálicas están conectadas a un borne de tierra, que se conecta a su vez al circuito de tierra de la instalación eléctrica del lugar.
- **Clase 2:** Son los más fiables. Tienen doble aislamiento o aislamiento reforzado. Las partes metálicas están separadas del resto con piezas aislantes. Son los electrodomésticos que se usan habitualmente en exteriores o en lugares donde pueden entrar en contacto con agua (baño) como el secador de pelo. NO poseen conductor de tierra.
- **Clase 3:** Aparatos que funcionan con tensiones de muy baja tensión, inferiores a 50 voltios. Es un aislamiento frecuente en los juguetes.



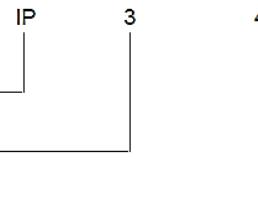
Alumno:

Pág:

1.13. Ejemplos de protección IP:

-

Letras del código _____



Primera cifra característica _____

Segunda cifra característica _____

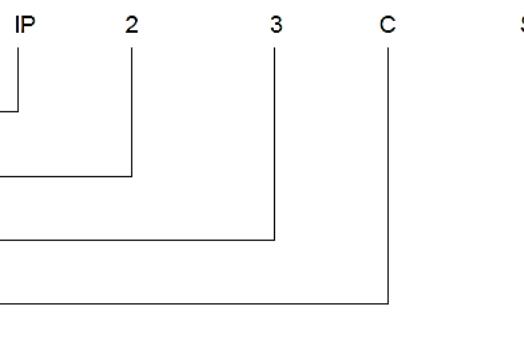
Una envolvente con este código IP significa que proporciona:

Con el 3, protege a las personas contra el acceso a las partes peligrosas cuando ellas sostienen en su mano una herramienta de diámetro igual o superior a 2,5 mm;

Protege los materiales ubicados en el interior de la envoltura contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro igual o superior a 2,5 mm.

Con el 4, protege los materiales ubicados en el interior de la envoltura contra los efectos perjudiciales de las proyecciones de agua en todas las direcciones;

-



Letras del código _____

Primera cifra característica _____

Segunda cifra característica _____

Letra adicional _____

Letra suplementaria _____

Con el 2, protege a las personas contra el acceso a las partes peligrosas con los dedos;

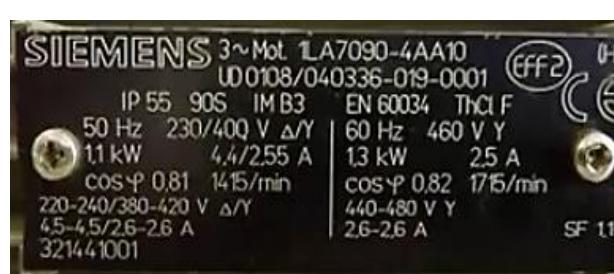
Protege los materiales ubicados en el interior de la envoltura contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro igual o superior a 12,5 mm.

Con el 3, protege los materiales ubicados en el interior de la envoltura contra los efectos perjudiciales de las proyecciones de agua (agua de lluvia) contra las envolturas;

Con la letra C, protege a las personas que manejan herramientas que tengan un diámetro de 2,5 mm y mayores y una longitud que no exceda los 100 mm, contra el acceso a partes peligrosas (las herramientas pueden penetrar la envoltura hasta su longitud total)

Con la letra S protección contra los efectos perjudiciales debido al ingreso de agua cuando todas las partes del equipo están en reposo

- ¿Qué tipo de protección tienen los siguientes ejemplos?



A) IP=

B) IP=

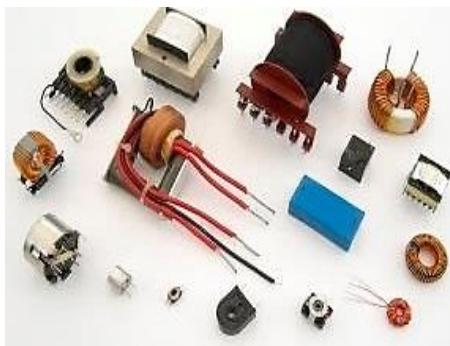
C) IP=

C O M P L E T E

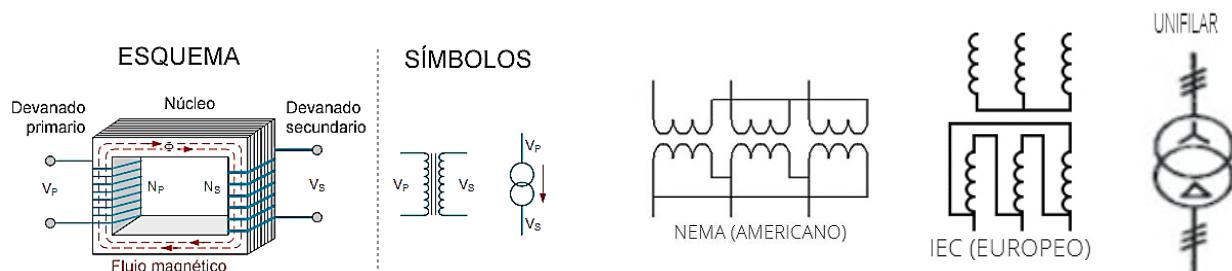


2.

TRANSFORMADOR ELÉCTRICO



“El transformador eléctrico es una máquina eléctrica, estática, que transforma la energía eléctrica mediante un enlace electromagnético entre dos o más circuitos eléctricos, modificando los valores de tensión y/o corriente, a la misma frecuencia y **manteniendo la potencia**. Su principio de funcionamiento se basa en la inducción electromagnética (Ley de Faraday-Lenz).



La potencia que se obtiene a la salida del equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que ingresa en el primario. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas (dependiente de su diseño, tamaño, calidad de materiales, entre otros factores)

2.1. Similitud Motor-Transformador

Las similitudes entre un motor y un transformador son varias: ambos tienen un circuito eléctrico primario (bobina del estator), uno secundario (bobina del rotor) y un circuito magnético. La diferencia radica en el tipo de transformación que realizan: El transformador es un máquina de transformación eléctrica (V₁ a V₂) y estática, a diferencia de un motor que es una máquina de transformación energética (P_{Elect} a P_{Mec}) y dinámica.

¿Que parte del motor representa el circuito magnético?

C O M P L E T E



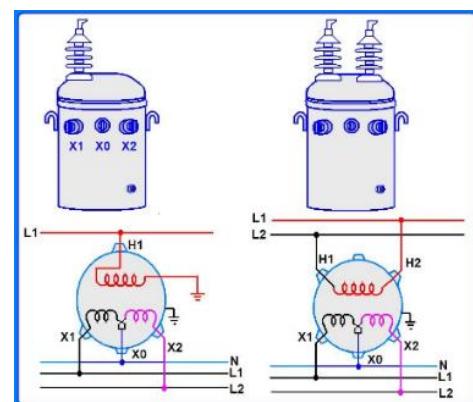
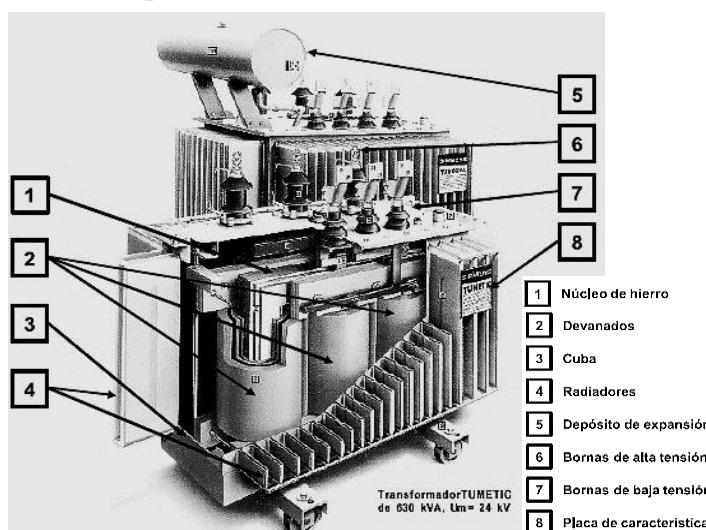


2.2. Clasificación

Hay básicamente dos grupos principales en la clasificación:

- A) Los de Medición, donde encontramos los Transformadores de Intensidad (TI) y los de tensión (TV).
- B) Los de potencia, el grupo mas conocido por nosotros, a los cuales podemos clasificar según su potencia, en:

- Transformadores de Potencia: Trifásicos, mayores de 1000 KVA. Tensión de trabajo: entre 33 KV y 500 KV. Pueden ser de dos o tres devanados. Se los utiliza generalmente para transmisión y en subestaciones a nivel.
- Transformadores de Distribución: relación de transformación: 13,2 KV / (0,4 – 0,230)KV
- Trifásicos: hasta 1000 KVA. Construidos según normas IRAM.2250. Se los utiliza generalmente en subestaciones aéreas o subterráneas.
- Monofásico y Rural: entre 5 y 16 KVA. Construidos según normas IRAM.2250. Se los utiliza generalmente montados sobre postes o columnas.
- Transformadores de uso General: Monofásicos de baja potencia



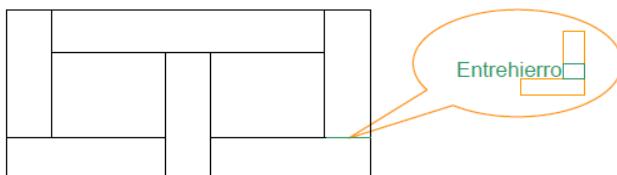


2.3. Aspectos constructivos del Transformador

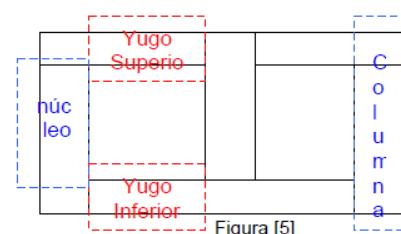
2.3.1. Construcción del núcleo:

Para disminuir los entrehierros, el núcleo se construye por capas de chapas intercaladas (como en una pared):

capas Impares



capas pares



2.3.2. Construcción del bobinado

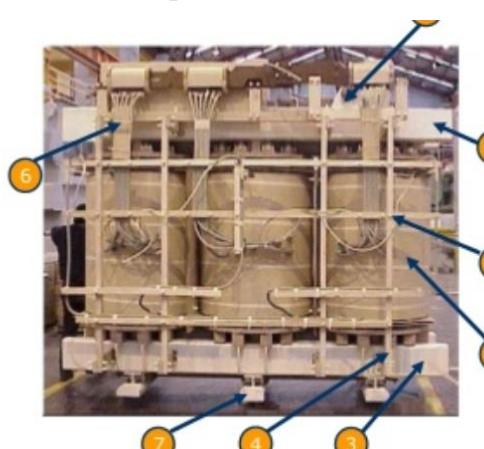
2.3.2.1. Bobinado

El bobinado se puede construir en forma continua: la bobina se hace sin interrupciones; o por paquetes (paquetes de devanados que luego se montan en serie para generar la bobina completa); este último tiene la ventaja de que permite circular al aceite de la cuba por entre los paquetes de la bobina, logrando una mayor refrigeración, y además si se quema uno no hay que cambiar todos.

En ambos procedimientos primero se bobina el devanado de baja tensión (BT), encima de este, aislante de por medio, se bobina el devanado de alta tensión (AT); esto porque *el núcleo del transformador está al potencial cero o de maza, por lo que mientras mas distancia respecto al núcleo tome el devanado de AT mayor será la aislación entre ellos*. Generalmente se los bobina encimados o en forma coaxial (a lo largo de un mismo núcleo), de esta forma se reduce al mínimo el flujo disperso, aumentando la eficiencia. El papel aislante puede ser Prespan el cual tiene una rigidez de 1000V/mm, u otros materiales: madera, pertinax. etc...

- | | |
|---|--|
| 1 | Conjunto o paquetes de bobinas |
| 2 | Herrajes superiores |
| 3 | Herrajes inferiores |
| 4 | Soportes de madera de haya |
| 5 | Líneas de cables de alta tensión |
| 6 | Líneas de cables de regulación tensión S/N. Líneas de cables de baja tensión |
| 7 | Bases para izar la parte viva. |
| 8 | Orejas para izar la parte viva. |

Transformador- V59.

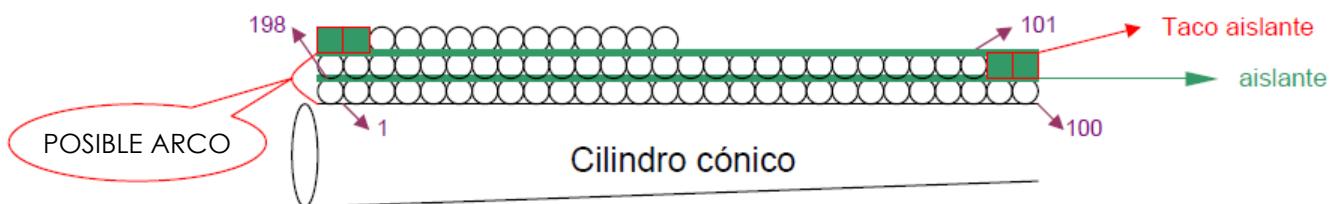




2.3.2.2. Aislación

El proceso de bobinado se suele realizar sobre un cilindro apenas cónico (2 o 3 mm de diferencia en los diámetros de los extremos del cilindro), el cual se aceita y coloca una capa de papel aislante sobre el que se comienza a bobinar el de baja tensión y luego el de alta.

Supongamos tener una bobina de 100 espiras y cuya tensión por espira es de 2V, entonces la diferencia de tensión entre la espira 1 y la 198 sería de 396V



Una diferencia de potencial similar se da entre las espiras cercanas a las 1 y 198; diferencia de potencial que puede llegar a tomar valores tales que perforen (“pinchen”) el aislante del conductor, por lo que se puede requerir de un material aislante entre capa y capa del bobinado. También está el posible arco eléctrico que se puede dar entre las esquinas de las capas de bobinado, para lo cual se coloca un aislante de refuerzo al final de cada capa. Este refuerzo suele aumentarse con el objeto de soportar posibles descargas atmosféricas que se transmiten por las líneas.

En un transformador los bobinados deben estar bien prensados, apretados y vendados rígidamente para evitar que se desarmen ante un cortocircuito (en condiciones nominales no hay problema). Esto es debido a las fuerzas puestas en juego en dicha condición.

2.4. Refrigeración:

Los transformadores de pequeñas potencias presentan una superficie suficiente para disipar el calor generado; el problema aparece con los de media y alta potencia. En ellos se puede utilizar como medio refrigerante aire o aceite especial para transformadores:



2.4.1. Por aire:

se basan en la disipación por convección y de ser necesario con ventiladores. Esta refrigeración se utiliza en transformadores de cámaras subterráneas, que van en edificios, sótanos o ambientes cerrados generalmente, para reducir los riesgos contra incendios.

2.4.2. Por aceite mineral:

ofrece un mayor rendimiento en la disipación de calor que el anterior y además, debido a sus más de 20 KV/mm de rigidez dieléctrica, provee de aislación. Como este tipo de aceite es volátil, en presencia de un arco eléctrico (cortocircuito en el bobinado) se evapora violentamente y hay mucho riesgo de explosión, además de proveer una llama muy intensa al encenderse. Razón ésta por lo que se lo utiliza en transformadores al aire libre: estaciones aéreas monoposte, biposte y a nivel.

- - - - - - - - - - - - - - - - - -

2.4.3. Notas:

- La potencia de un transformador es directamente proporcional a la masa de hierro del núcleo.
- Las laminaciones están hechas de acero al silicio, las que, para mejorar su permeabilidad, se las trata con laminaciones en frío o caliente; otro tipo son las de grano orientado que tienen muy baja reluctancia. Para grandes potencias estas van remachadas o sujetas por pernos aislados que atraviesan la estructura, debido a que los esfuerzos electromecánicos a los que se somete el transformador bajo cortocircuito son elevados (las fzas que se generan son proporcionales al cuadrado de la corriente). Para reducir las pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault, las laminaciones están barnizadas o revestidas para aislarlas entre sí.
- El alambre que se utiliza en el bobinado es de cobre de alta pureza cuyo micrométrico recubrimiento aislante (esmalte) no afecta su



Alumno:

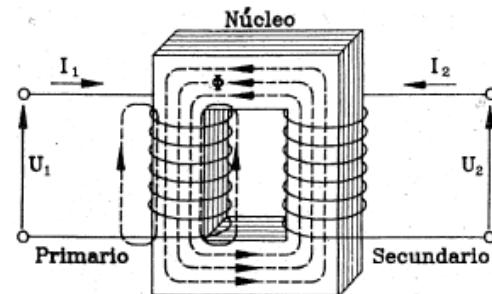
Pág:

conductividad, por tanto *las pérdidas que introduce un transformador en vacío están más ligadas al núcleo que al cobre*. Es por ello que **el factor determinante de la calidad del transformador pasa por el núcleo**. No obstante todo lo expresado, la energía que absorbe el transformador en el primario es prácticamente igual a la que suministra en su secundario, lo que la hace una **máquina de muy alto rendimiento**.



2.5. Principio de Funcionamiento del Transformador eléctrico:

Un transformador se compone de dos arrollamientos aislados eléctricamente entre sí y devanados sobre un mismo núcleo de hierro (el cual los vincula magnéticamente).



Cuando una corriente alterna circula por uno de los arrollamientos crea en él un campo electromagnético variable; la mayor parte del flujo creado por este campo circulará por el núcleo y atravesará al otro arrollamiento, induciendo en él una femi.

Es esta vinculación magnética quien nos permite transferir la potencia desde una arrollamiento a otro, del primario al secundario. El arrollamiento al que se suministra potencia se denomina primario y el que cede potencia se denomina secundario.

En un transformador real, las líneas de flujo del campo electromagnético no están confinadas enteramente en el hierro, sino que algunas de ellas se cierran a través del aire. **La parte del flujo que atraviesa los dos arrollamientos se lo denomina flujo común, concatenante o útil. La parte del flujo que se cierra a través del aire se denomina flujo disperso.**

La potencia obtenida de un transformador es ligeramente inferior a la potencia suministrada al mismo a causa de las pérdidas “en el cobre” de los arrollamiento primario y secundario, en forma de calor; y, principalmente, en el núcleo debido las pérdidas por histéresis y corrientes de foucault (llamadas pérdidas en el hierro).

Las pérdidas por histéresis se reducen al mínimo utilizando hierro que tenga un ciclo de histéresis estrecho, y las corrientes de foucault se reducen construyendo el núcleo con laminaciones muy finas, apiladas y aisladas entre sí



Inicialmente, para simplificar su estudio, consideraremos un transformador ideal en el que no existan pérdidas ni flujo disperso, y que el circuito del secundario esá abierto (sin carga conectada); el bobinado primario se comportará entonces como una autoinducción, la corriente primaria, que será pequeña, estará retrasada 90° respecto a la tensión primaria (como estudiamos en las inductancias) y se denomina corriente magnetizante i_m . El flujo en el núcleo está en fase con dicha corriente primaria, y puesto que atraviesa tanto al bobinado primario como al secundario, la fem que inducirá por espira será la misma. La relación entre la fem inducida en el secundario y la fem inducida en el primario, es igual a la relación entre el número de espiras del secundario y el número de espiras del primario, será:

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{N_2}{N_1} = n$$

En el caso ideal que estamos suponiendo, las fem inducidas e_1 y e_2 son numéricamente iguales a las tensiones correspondientes U_1 y U_2 en los bornes del transformador. Por consiguiente, eligiendo adecuadamente la relación entre los númetos de espiras N_2/N_1 puede obtenerse en el secundario cualquier tensión que se desee, partiendo de una tensión dada en el primario.

Realizando el análisis desde el punto de vista de las corrientes, se llegará a la expresión:

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2} = n$$

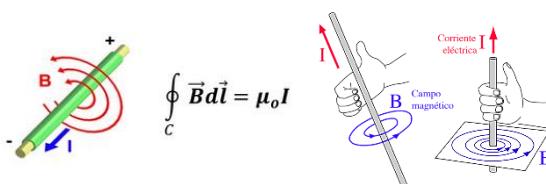
Es decir, las corrientes del primario y del secundario son inversamente proporcionales a los números de espiras de los arrollamientos primario y secundario



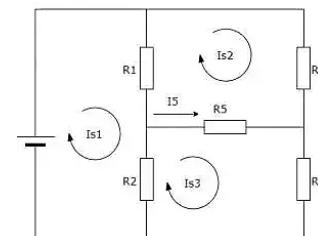
2.6. FUNCIONAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO DEL TRANSFORMADOR:

El transformador está compuesto por dos circuitos eléctricos independientes (primario y secundario) explicados por la ley de mallas, más uno magnético que los vincula (núcleo) explicado por la ley de Ampere para campos magnéticos.

¿Se acuerdan?:



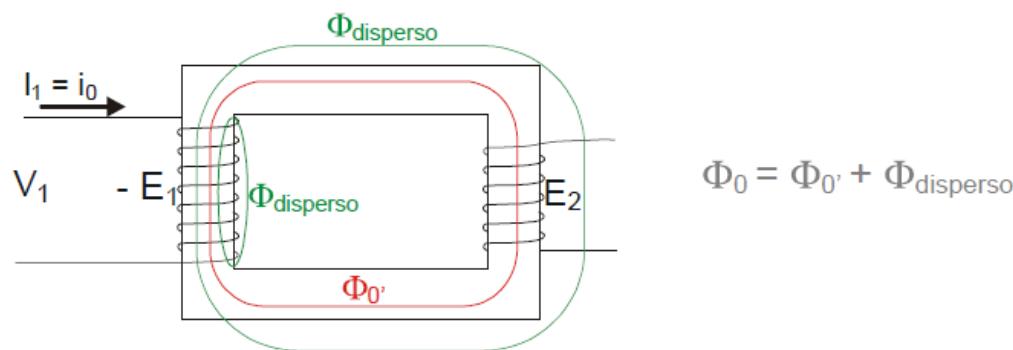
Ley de Ampere, aplicación



Ley de mallas

(Un repaso de las leyes eléctricas: <https://solar-energia.net/electricidad/leyes/leyes-de-kirchhoff>)

2.6.1. En vacío



Al aplicar la tensión V_1 en el circuito el eléctrico primario aparecerá la circulación de i_0 quien, a su vez, da lugar al campo electromagnético Φ_0 generado en la bobina primaria. Como la corriente que origina al campo es senoidal, o sea variable, el campo también será de variación senoidal, lo que provocará la inducción de una fem (E) en el arrollamiento primario (autoinducción en realidad) que, por ley de Lenz ($e = - d\Phi/dt \cdot 10^8$), se opone a la causa que lo produce: $-E_1 = V_1$; o sea E_1 está defasada 180° de V_1 . A esta E_1 se la llama fza contraelectromotriz inducida: fcemi o fcem (en un diagrama vectorial del transformador veremos que el defase es casi de 180°).

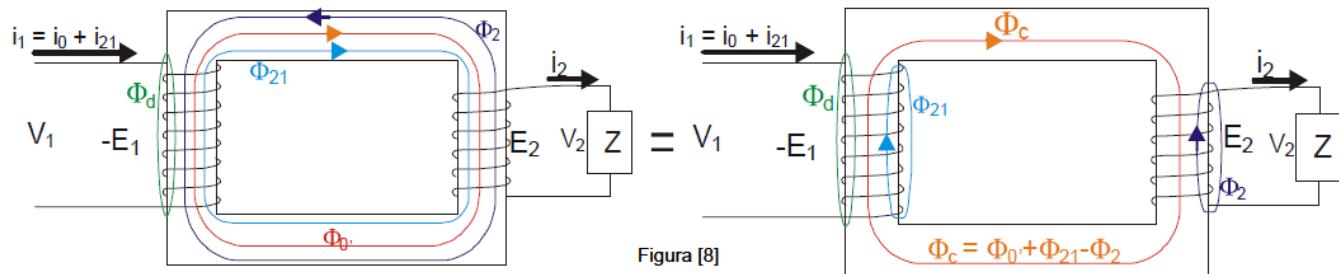
De este flujo Φ_0 una pequeña parte circula o se cierra a través del aire, estas



líneas de campo no llegan a concatenar al bobinado secundario por lo que no producirán fem alguna en él; éstas líneas se denominan flujo disperso: Φ_d . El resto de las líneas de campo (Φ_0) siguen el circuito ferromagnético (el camino que representa el hierro del núcleo), ya que este es de menor reluctancia que el aire (resistencia del material al campo magnético = \mathfrak{R}), y en su camino sí concatenan al bobinado secundario, induciendo en él una fem (fza electromotriz) $E_2 \cong V_{20}$.

La corriente i_0 está compuesta por una corriente magnetizante (i_m) la cual es necesaria, o la encargada de, magnetizar el núcleo (lo que se gasta en orientar los "imanés" del núcleo); más una corriente por pérdidas magnéticas en el hierro (histéresis y Foucault): $i_0 = i_m + i_{pm}$

2.6.2. En carga



Al cerrar el secundario, mediante una carga Z , aparecerá la circulación de una corriente i_2 la cual genera en el arrollamiento secundario un flujo Φ_2 opuesto al flujo principal por lo que tenderá a disminuirlo; sin embargo debido al principio de conservación de la energía (la energía que entrega el secundario la absorbe del primario) el primario reacciona a esta disminución con un flujo (Φ_{21}) de igual magnitud que Φ_2 pero que se adiciona al flujo principal (Φ_c); esto es: el Φ_2 debilita al Φ_c y por consiguiente a $-E_1$ por lo que la corriente primaria ve una disminución de resistencia e incrementa su valor, dando lugar al flujo Φ_{21} . Entonces el **flujo principal o flujo concatenante (Φ_c) se mantiene igual tanto en carga como en vacío** (un estudio detallado nos dará que el $\Phi_0 \approx \Phi_{carga}$, ya que en carga el Φ_c tiende a ser menor). Esto será así mientras no se sature el núcleo; a partir de allí no hay lugar para la circulación de más líneas que refuercen el Φ_c contrarrestando el aumento de Φ_2 , por lo que E_2 comenzará a caer ya que el flujo, neto, en el arrollamiento secundario por encima de la saturación del núcleo disminuye con el progresivo incremento de i_2 .

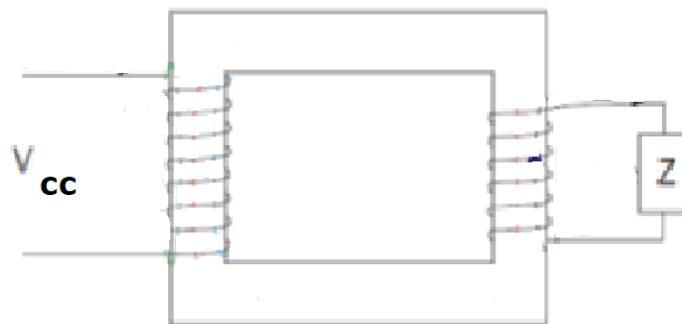
Este flujo secundario reflejado en la bobina primaria (Φ_{21}) nos incrementa la corriente i_1 de $i_1 = i_0$ a $i_1 = i_0 + i_{21}$, donde la i_{21} es la corriente i_2 referida o reflejada en el primario (si la relación de transformación es 1:1 entonces $|i_{21}| = |i_2|$). Osea, es una corriente que circulando por el primario produce el mismo campo que la i_2 en el secundario (lo correcto es decir la misma fza. magnetomotriz fmm: $n_1 i_{21} = n_2 i_2$). La corriente i_0 , en un buen transformador, es menor al 10% de la $i_{nominal}$, tomando sus mayores valores cuanto mayor es la potencia del transformador.



Alumno:

Pág:

Ejercicio: Dibuje todos los parámetros eléctricos y magnéticos presentes en el transformador bajo la siguiente condición:



C O M P L E T E



Alumno:

Pág:

2.7. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Analizaremos su obtención desde dos puntos de partida distintos:

2.7.1. Partiendo de la conclusión que el flujo resultante en carga es igual que en flujo en vacío:

Retomando lo dicho con respecto al $\Phi_{\text{principal}}$:

$$\Phi_{\text{Vacío}} = \Phi_{\text{Carga}}$$

$$\Phi_0 = \Phi_{\text{primario}} + \Phi_{\text{secundario}}$$

$$\frac{\mu N_1 i_0 S}{L} = \frac{\mu N_1 i_1 S}{L} + \frac{\mu N_2 i_2 S}{L}$$

$$\frac{N_1 i_0}{R} = \frac{N_1 i_1}{R} + \frac{N_2 i_2}{R}$$

$N_1 i_0$	$=$	$N_1 i_1$	$+$	$N_2 i_2$	Ecuación de equilibrio eléctrico
fmm en el primario		fmm en el secundario			

Permeabilidad del vacío, en nuestro sistema de unidades es = 1

$$\Phi = B S = \mu_0 \mu H S =$$

$$\Phi = \frac{\mu N i S}{L} = \frac{N i}{L} =$$

$$\Phi = \frac{F_{\text{mm}}}{R} = \frac{F_{\text{mm}}}{\mu S}$$

N = nº de espiras

μ = Permeabilidad

L = longitud de la bobina

S = sección del núcleo

R = Reluctancia

F_{mm} = Fza. magneto-motriz

$i_0 = i_1 + i_2$ Ecuac. de nodos de Kirchhoff

Si $i_0 \rightarrow 0$, osea es despreciable (recordar que es menor al 10% de la i_{nominal})

$$0 \approx N_1 i_1 + N_2 i_2 \Rightarrow \text{por no considerar } i_0$$

$$\Rightarrow \frac{N_1}{N_2} \approx -\frac{i_2}{i_1} = n$$

2.7.2. Partiendo de la ley de Faraday-Lenz

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ [V]} ; \text{ si tomamos un } \Phi \text{ variable senoidalmente: } \vec{\Phi} = |\Phi| \sin(\omega t) \Rightarrow$$

$$\vec{e} = -\omega |\Phi| \cos(\omega t) \cdot 10^{-8} ;$$

si ahora tomamos un nº "N" de espiras: $N e = \vec{E} = -N \omega |\Phi| \cos(\omega t) \cdot 10^{-8}$
y aplicado a ambos circuitos eléctricos del transformador

$$\vec{E}_1 = -N_1 \omega |\Phi| \cos(\omega t) \cdot 10^{-8}$$

$$\vec{E}_2 = -N_2 \omega |\Phi| \cos(\omega t) \cdot 10^{-8} \Rightarrow \text{expresando a } \vec{E} \text{ como valor eficaz: } \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$

Teórica ya que con el tester no podemos medir E_1 ni E_2



Alumno:

Pág:

Componiendo esta expresión con la obtenida en el punto anterior, tenemos que:

$$n = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx - \frac{i_2}{i_1}$$

donde conviene utilizar $n=N_1/N_2$ ya que esta no depende de factores externos sino que de parámetros constructivos, ctes, del transformador.
En la práctica utilizaremos $V_1/V_{20} = n$

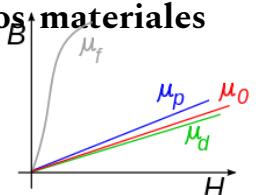
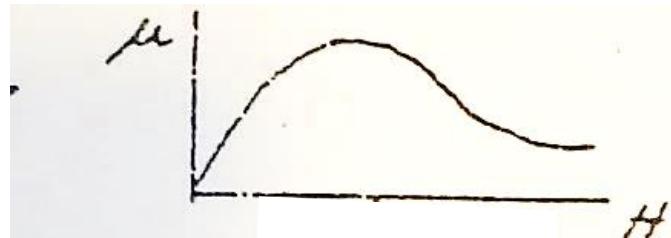


2.8. El Circuito Magnético

2.8.1. Curva de Permeabilidad

La permeabilidad magnética (μ) es la capacidad que tienen los materiales, medios o sustancias, de afectar y ser afectados por los campos magnéticos.

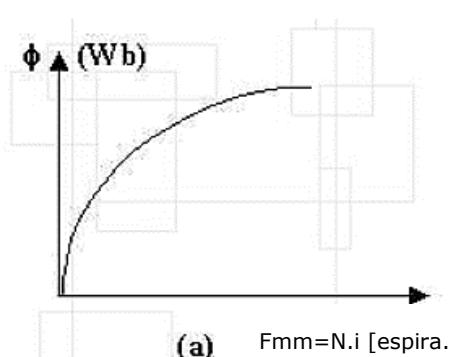
La curva de Permeabilidad Relaciona la fuente o excitación magnética (H) con la permeabilidad magnética (μ) que presenta el material (**en los materiales ferromagnéticos μ no es cte**).



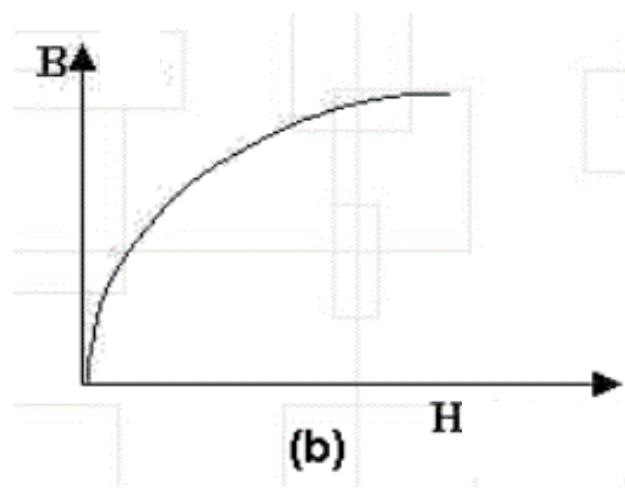
Comparación simple de

2.8.2. Curvas de Magnetización/Saturación

La curva de magnetización o también denominadas curva de saturación del material ferromagnético, es aquella que ilustra el magnetismo presente (o remanente) en el material como función de la fuerza magnetizante a la que es expuesto, por lo que podemos representarla con varias funciones, siendo la mas conocida $B(H)$:



(a) $F_{mm} = N \cdot i$ [espira.A]



(b)

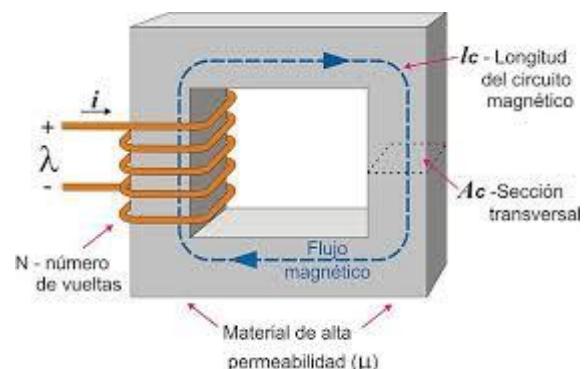
Figura: a) Esquema de una curva de magnetización de cc para un núcleo ferromagnético, expresada en términos de flujo magnético (Φ) y fuerza magnetomotriz (F); b) Curva de magnetización expresada en términos de densidad de flujo (B) e intensidad de magnetización (H)



Alumno:

Pág:

Para obtener este gráfico de comportamiento magnético (fig. a) se aplica una corriente continua al bobinado, iniciando con 0 A y subiéndola lentamente hasta la máxima corriente permitida. Al principio un pequeño aumento en la fuerza magnetomotriz (dados que aumentamos i en $N \cdot i = F_{mm}$) produce un enorme aumento en el flujo circulante por el núcleo (Φ). Después de cierto punto, los subsiguientes aumentos en la F_{mm} , producen relativamente poco aumento en el flujo circulante en el núcleo (aunque la bobina sí esté generando un flujo mayor). Finalmente, un aumento en la fuerza magnetomotriz casi no produce cambio alguno en el núcleo.



La región de la curva de magnetización en la que la misma se aplana se llama **región de saturación** y se dice entonces que el núcleo está saturado en dicha zona. En contraste la región donde el flujo cambia muy rápidamente se llama región no saturada, y se dice que el núcleo no está saturado. La zona de transición entre la región no saturada y la saturada, en ocasiones se llama la "rodilla" de la curva.

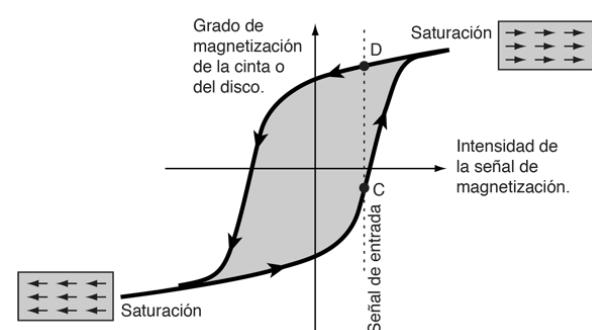
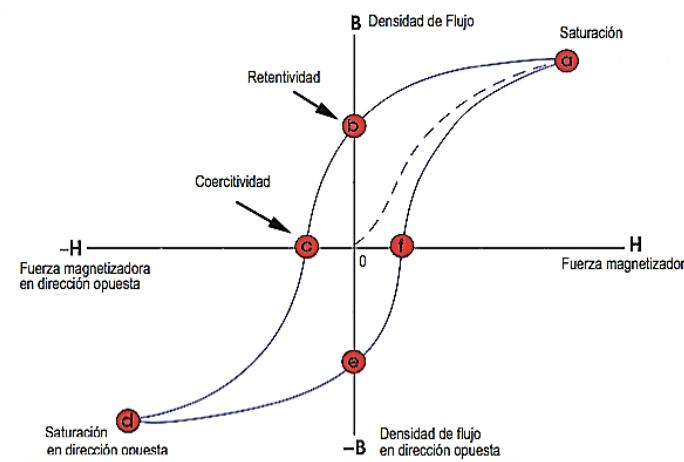
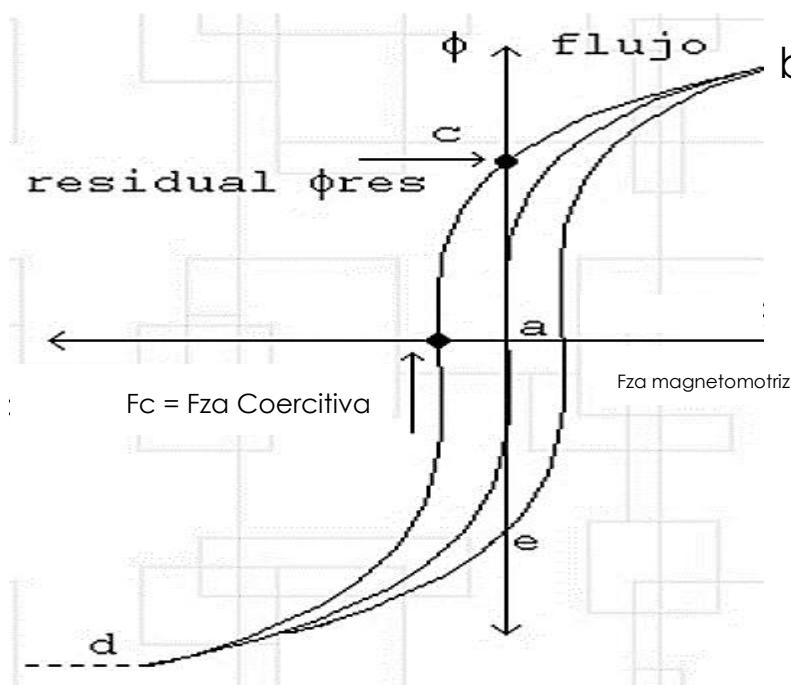
En la figura (b) se muestra otro gráfico más conocido, y estrechamente relacionado con el anterior; éste nos relaciona la excitación magnética H (también llamada intensidad del campo magnético fuente) con la inducción magnética B (también llamada densidad o intensidad magnética en el material). Este tipo de gráficos, a y b, se llaman **curva de saturación o curva de magnetización**.

El núcleo de un transformador debe hacerse funcionar en la región no saturada de la curva de magnetización debido a que el flujo circulante (Φ) debe ser lo más proporcional posible a la excitación magnética recibida y producida por la corriente en la bobina (osea la F_{mm} aplicada). De lo contrario las relaciones no serán lineales y la relación de transformación ya no será tan simple como un cociente de espiras; es decir la relación de transformación como la conocemos no será válida.



2.8.3. Magnetismo en CA: Curva de Histéresis o Magnetización

Esta gráfica expresa la relación entre dos magnitudes en un proceso de magnetización variable: el flujo circulante por el material ferromagnético (Φ) con respecto a la fza magnetomotriz a la que es sometido (fmm); o la intensidad magnética (o magnetismo remanente) en el material (B) y el nivel de excitación magnética (H) a la que es sometido. Es decir nos muestra el comportamiento magnético del material ante una fte de excitación magnética variable (como ser la provocada por una onda de corriente alterna $i(t)$).



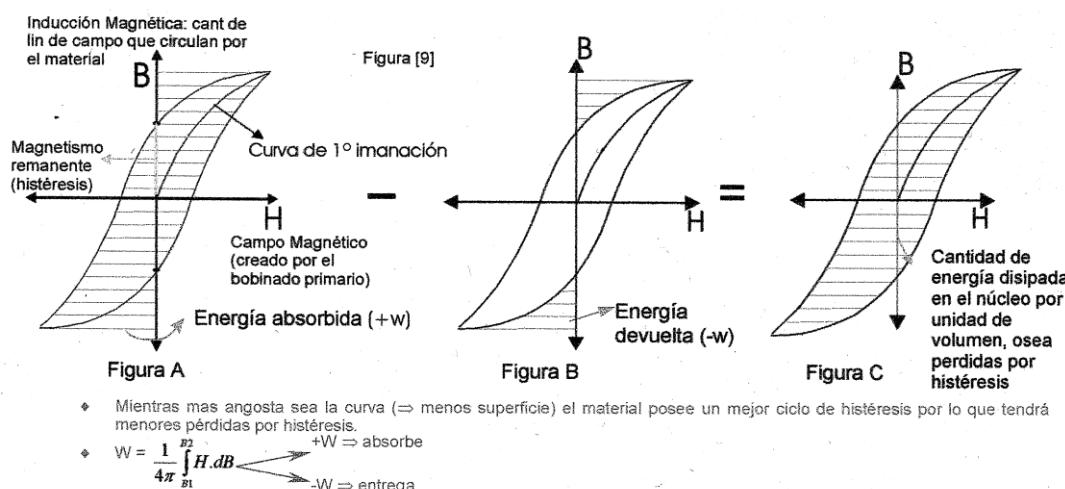
Para obtener esta representación, en lugar de aplicar una corriente continua al bobinado del núcleo, ahora vamos a aplicar una corriente alterna y observar lo que sucede: esto será básicamente la curva de saturación. Sin embargo, cuando la corriente disminuye nuevamente, el flujo sigue una ruta diferente de la seguida cuando



la corriente se aumentó.

Cuando la corriente disminuye, el flujo en el núcleo sigue la ruta *bcd* y luego cuando la corriente aumenta nuevamente, el flujo sigue la ruta *deb*. Nótese que la cantidad de flujo presente en el núcleo depende no solamente de la cantidad de corriente aplicada al bobinado, sino también de la historia previa del flujo en el núcleo. *Esta dependencia de la historia precedente del flujo para volver sobre la trayectoria se llama histéresis. La trayectoria bcdeb trazada en la figura, mientras la fmm aplicada cambia, se llama curva de histéresis.*

La magnetización y desmagnetización periódica produce disipación de energía en forma de calor; esta energía disipada es igual al producto $B \cdot H$ y proporcional a la superficie encerrada en la curva de histéresis. Esta energía es la que denominamos **perdidas por histéresis**.



Si una fmm=fuerza magnetomotriz (o campo H) se aplica al núcleo y luego se elimina, la trayectoria del flujo en el núcleo será *abc*. *Cuando la fuerza magnetomotriz se elimina, el flujo en el núcleo (Φ) no llega a cero, lo que nos deja al material con un flujo magnético presente en él (por ende hay una determinada densidad o intensidad de campo magnético (B)). Este flujo magnético se denomina **flujo remanente o residual** en el núcleo (en el caso de B y H , tendremos una intensidad de campo magnético remanente).*

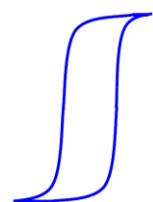
Es precisamente en esta forma como se producen los imanes artificiales. Para llevar el flujo hasta cero, una cantidad de fuerza magnetomotriz, conocida



como la **fuerza coercitiva** magnetomotriz F_c , se debe aplicar al núcleo en la dirección opuesta.

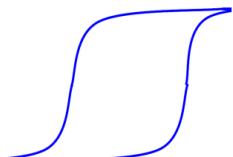
Acorde a las características del material podremos encontrarnos con dos tipos de ciclos de histéresis y toda la gama intermedia entre ellos:

2.8.3.1. Materiales de ciclo de histéresis angosto o magnéticamente blandos:



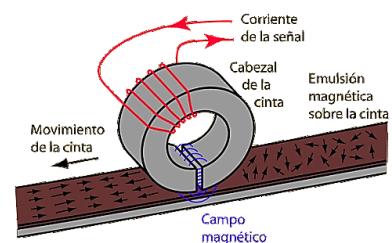
Se caracterizan por tener bajo magnetismo remanente (\Rightarrow bajos B), lo que implica que con someterlo a pequeños campos magnéticos lograremos orientar todos sus “imanes” internos, gastando poca energía en el proceso; lo cual implica bajas perdidas por histéresis. Un material típico es la aleación de Fe-Si en láminas delgadas de 0,35 mm y 0,5 mm de espesor, muy utilizadas en máquinas eléctricas (al tener bajas perdidas, casi toda la energía que se absorbe en el circuito primario es transferida al circuito secundario).

2.8.3.2. Materiales de ciclo de histéresis ancho o magnéticamente duros:



Se caracterizan por tener altos magnetismos remanentes (\Rightarrow altos B), lo que nos dará importantes perdidas por histéresis si lo utilizamos en funcionamientos magnéticos variables. Un material de este tipo es utilizado en la creación de imanes permanentes, como el de los utilizados en polos de máquinas de cc.

¿Qué tipo de histéresis debe tener el material de las cintas de audio (los viejos “cassettes”)?



C O M P L E T E



Nota: ¿Por qué ocurre la histéresis?

Dentro de los materiales ferromagnéticos, hierro y metales similares

(cobalto,

níquel y

algunas de

sus

aleaciones)

hay pequeñas

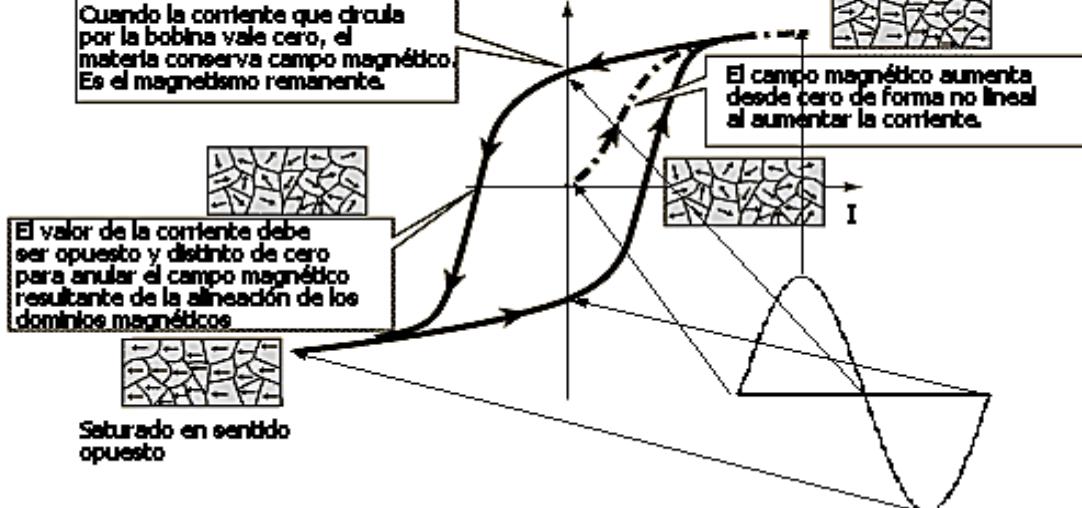
regiones

llamadas

dominios,

que actuan

como



pequeños imanes permanentes. La razón por la cual un bloque entero de hierro puede parecer sin flujo es que estos numerosos y diminutos imanes se orientan desordenadamente dentro del material, dando una sumatoria resultante de campos nula.

Cuando a este bloque de hierro se le aplica un campo magnético externo (H), produce la alineación de algunos de estos imanes en la dirección del campo; también hay imanes circundantes que se alinearán con la orientación que se está produciendo, reforzando la fuerza del campo magnético. Este efecto positivo de retroalimentación es lo que causa que el hierro tenga una permeabilidad mucho mayor que la del aire.

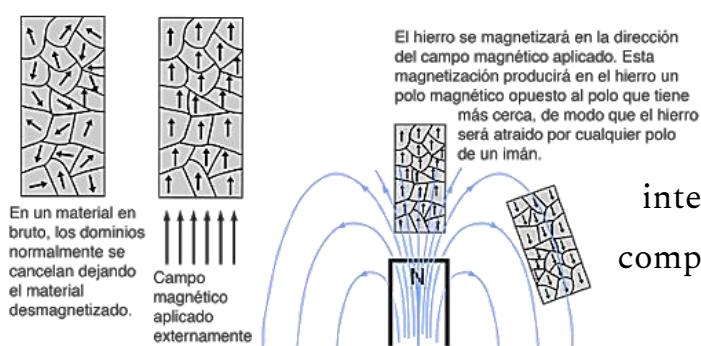
Como la fuerza del campo magnético externo continúa en aumento, la totalidad de los imanes que están desalineados, eventualmente, se reorientarán para alinearse con aquél. Finalmente, cualquier aumento posterior en la fuerza magnetomotriz puede causar solamente el mismo aumento de flujo que causaría en el espacio libre (una vez que todo se alinea, no puede haber más efecto de



Alumno:

Pág:

retroalimentación que fortalezca el campo). En este punto el hierro está *saturado* con el flujo.



La causa para la histéresis es que cuando el campo magnético externo se suspende, los imanes interiores no se desordenan por completo nuevamente.

¿Por qué algunos dominios permanecen alineados?: Porque reorientar los átomos en ellos requiere *energía*. Originalmente, la energía la suministró el campo magnético externo para lograr el alineamiento; cuando el campo se suspende, no hay fuente de energía que impulse los dominios a reorientarse. El trozo de hierro es ahora un imán permanente.

Una vez los dominios (o pequeño imanes) están alineados, algunos de ellos permanecerán así hasta que una fuente de energía externa les sea aplicada para cambiarlos. Ejemplos de fuentes de energía externa son la fuerza magnetomotriz aplicada en otra dirección, un choque mecánico fuerte y el calentamiento. Cualquiera de estos hechos puede suministrar energía a los dominios y posibilitar el cambio de su alineamiento. (Por esta razón un imán permanente puede perder su magnetismo si se cae, se golpea con un martillo o se calienta).



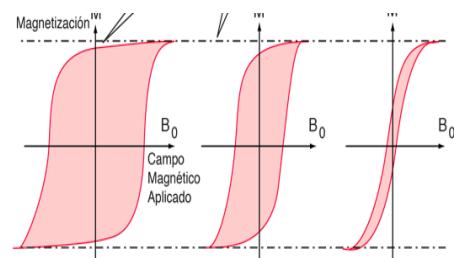
2.8.4. Pérdidas en el Núcleo

Son las que producen el calentamiento del núcleo y se corresponden con la suma de las pérdidas por histéresis y foucault P_{h+f} (se expresa en Watts o Kw)

2.8.5. Por histéresis (propiedad magnética)



Histéresis es la propiedad de los materiales ferromagnéticos *a conservar su imanación*, es decir se opone a una variación de la misma. La pérdida por histéresis, que se visualiza mediante la correinte de pérdida histerética (I_{ph}) o mas comunmente conocida como corriente de histéresis (I_h), es la energía convertida en calor a causa del trabajo de esas cambiando de una orientación a otra los pequeños imanes del material ferromagnético.



Para disminuir éstas perdidas hay que utilizar un material de mejores características histeréticas como núcleo; o sea que se oponga menos a estos cambios.

La dimensión del núcleo determina la intensidad de la corriente magnetizante (I_m) necesaria para crear el flujo en el núcleo, el cual se encarga de mantener la imanación en una orientación ($N \rightarrow S$) u otra ($N \leftarrow S$) NO de cambiarla (que eso lo hace la I_h). La calidad del hierro del núcleo es factor determinante en la magnitud de la corriente de perdidas magnéticas (I_{pm}).

2.8.6. Por Foucault ó Corrientes Parásitas (propiedad eléctrica)

El campo magnético variable también induce sobre el hierro del núcleo corrientes llamadas de Foucault ó Corrientes Parásitas, las cuales encuentran en él un circuito cerrado para circular, con el consiguiente calentamiento del núcleo. Como estas pérdidas (P_f) **dependen al cuadrado del espesor** del material sobre el cual se induce, para diminuirlas es que se lamina este material, logrando disminuir



Alumno:

Pág:

así el espesor del material sobre el que se inducen; y esto no afecta las propiedades magnéticas de dicho núcleo.

Por ej: Si la masa del núcleo fuese $6 \Rightarrow 6^2 = 36$. Si ahora partimos en dos esas masas y las uno colocando un material aislante eléctrico entre ambas, las masa total sigue siendo 6 pero está compuesta de dos masa: $3+3$; entonces el aporte a las perdidas es de $3^2+3^2 = 18$, que es mucho menor a los 36 anteriores; aunque a efectos magnéticos representa la misma masa.



2.9. Transformadores de Medida

Los instrumentos de medida como los relés de protección, no soportan grandes tensiones ni corrientes, no porque no puedan fabricarse para ello sino que encarecería mucho su costo para una operación que no es usual que realicen. También resulta apropiado evitar estas

Un **relé de protección** es un dispositivo eléctrico que se usa para proteger circuitos, equipos y operadores de una variedad de condiciones eléctricas indeseables, cortando la energía del circuito de control cuando se detecta una falla (sobrecorriente/tensión, desviaciones de frecuencia,etc). El relé de protección se diferencia de los relés de conmutación estándar en que están diseñados para responder a una anomalía específica, por lo que la mayoría de las instalaciones que utilizan los relés generalmente incluirán bancos de dispositivos, cada uno dedicado a una categoría de falla en particular.

condiciones de elevadas corrientes/tensiones cuando son manipulados por las personas.

Entonces ¿cómo hacemos para medir dichas magnitudes, en por ejemplo, una línea de alta tensión?

Para ello se utilizan transformadores, aunque no cualquiera, transformadores de medidas. Éstos reducen los elevados valores de tensión o corriente a otros mas bajos y normalizados, los cuales no representan los riesgos de manipulación, traslado y conexiones que tienen los valores presentes en sus primarios. Además, **ofrecen la importatísima separación** o aislación galvánica que nos da el núcleo entre primario y secundario (esta separación no existe en un transformador electrónico).

Como son dos los parámetros eléctricos a los que nos hemos estado refiriendo, y debido a la exactitud con que se tiene que reflejar el parámetro primario en el secundario, es que tenemos dos tipos de **transformadores de medidas**: los Transformadores de Tensión o **TV**; y los Transformadores de Corriente o **TI**. Normalmente los TI se construyen con sus secundarios para corrientes de 5 A o 1 A; y los TV para tensiones secundarias de 100V, 110V, 200V y 220V. En Argentina es la norma IRAM 2271 quien normaliza estos valores.

Los transformadores de medida se basan en la relación de transformación:



Alumno:

Pág:

respecto de las corrientes en los TI, y respecto de las tensiones en los TV. Esto nos permite:

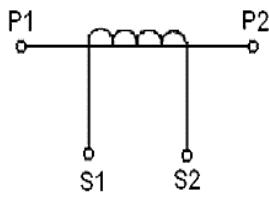
- Medir altas tensiones o intensidades aplicadas en el circuito primario con instrumentos de bajos alcances, ya que mediremos los “bajos” valores en el secundario.
- Separar eléctricamente del circuito medido a los instrumentos de medida; conocido como aislación o separación galvánica.
- Poder instalar instrumentos de medidas o dispositivos de protección en lugares alejados del circuito a medir. De esta forma se evita interferencias provocadas por los campos magnéticos externos en el funcionamiento de los aparatos de medida, se aumenta la seguridad del personal y permite la ubicación de los aparatos de medida en lugares mas convenientes (salas de control/medición y no en un poste con alta tensión).



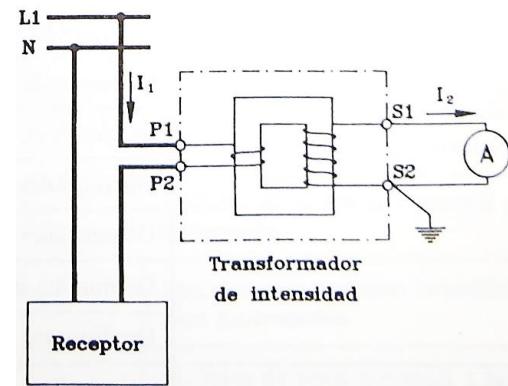
Alumno:

Pág:

2.9.1. El transformador de Intensidad (TI)



El primario del transformador, que consta de *muy pocas espiras (o una sola)*, se conecta en serie con el circuito cuya intensidad se desea medir y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los instrumentos amperométricos de medición y/o protección (ver fig der).



La relación de transformación será:

$$n = -I_s / I_p \quad , \quad I_p \text{ e } I_s = \text{corr Prim y Secund}$$

El TI se debe elegir en función de la corriente máxima que puede suministrar el circuito bajo estudio, eligiéndose un valor normalizado superior a éste; y una corriente secundaria de 5A o 1A (los valores normalizados) según:

- Secundario de 5A: cuando los aparatos de medida se encuentran cerca del TI (a menos de 10m).
- Secundario de 1A: preferentemente cuando la distancia entre el TI y el instrumento de medida es grande (superior a 10m). Las perdidas de energía debido a la resistencia del cableado dependen al cuadro de la corriente: $P=I^2.R$; por lo que son 25 ($=5^2$) veces mas importantes en 5A que en 1A.

Como todo instrumento de medición, los transformadores tambien tienen CLASE, y según cual tenga será la utilización usual que se le de:



Alumno:

Pág:

Clase	Utilización
0.1	Para mediciones y calibraciones en laboratorio.
0.2 a 0.3	Mediciones de laboratorio
0.5 a 0.6	Medidores de energía
1 a 2	En aparatos de medición en general, indicadores o registradores
3 a 5	Alimentación a las bobinas de los relés de sobrecorriente.

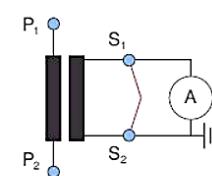
En el funcionamiento del TI el bobinado secundario está continuamente en cortocircuito debido a las bajas impedancias de los instrumentos amperométricos conectados a él. Esta característica es la que principalmente hace diferente al TI de los TV y resto de transformadores de potencia.



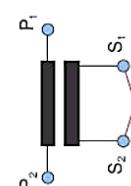
Entre los bornes del bobinado primario no hay una caída de tensión apreciable, debido a la escasa resistencia que presenta la espira ó trozo de barra que constituye el bobinado primario. Tampoco es significativo el impacto de la corriente secundaria en la primaria (para un TI cuyo primario soporta 1250A, 5A representan un pérdida de 0,4%).



Sin embargo, si por algún motivo se abre el circuito secundario mientras el TI sigue conectado con su primario al circuito bajo medición, aparecerá una diferencia de potencial en los bornes del secundario, que puede dañar la aislación del bobinado. Tenga presente que por el primario circula una intensa corriente que da lugar a un intenso campo en el núcleo, lo que producirá una fem secundaria que puede



1º) Poner los bornes del secundario S1 y S2 en cortocircuito.



2º) Desconectar el amperímetro dejando en corto el secundario

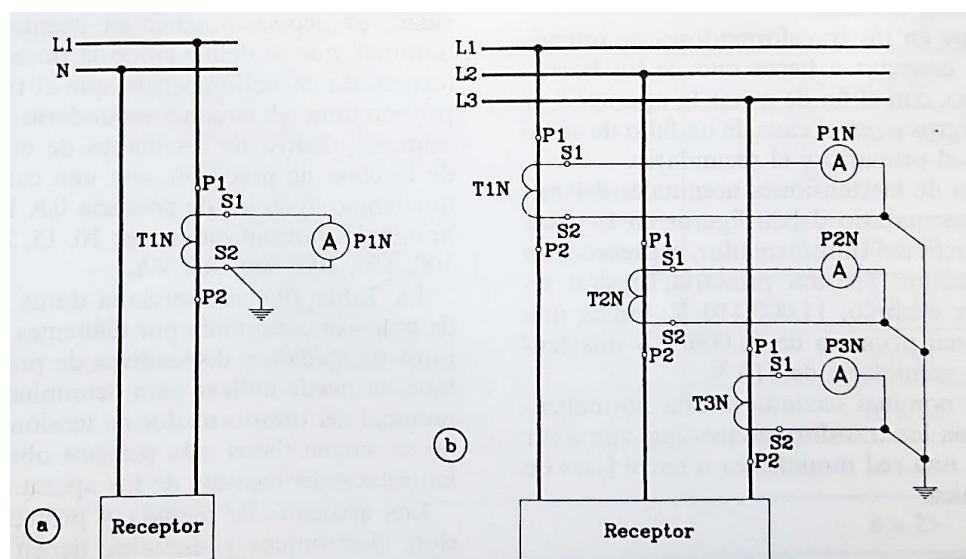


Alumno:

Pág:

deteriorar el transformador ya que el mismo está pensado para trabajar con un secundario en cortocircuito (0V); incluso las tensiones pueden ser peligrosas para el operario que está trabajando sobre el secundario. Por ello, **si se requiere abrir el circuito secundario de un TI, primero se debe cortocircuitar los bornes secundarios del mismo** y luego proceder al reemplazo del instrumento.

Los esquemas más usuales de conexionado de transformadores de intensidad son los indicados por las figuras A y B; utilizándose el esquema de la figura A para sistemas monofásicos y el de la B para sistemas trifásicos.



Observe que **uno de los bornes secundarios** está **conectado a tierra** (el de menor potencial), ello para lograr el correcto funcionamiento de los sistemas de protección (por ejemplo un disyuntor), para una correcta referencia a cero de los instrumentos de medición, y no menos importante, para la protección de descarga a tierra en caso de un fallo de aislación entre primario y secundario.

2.9.1.1. Cambiar la Relación de Transformación

Se pueden lograr cambios relativamente grandes en el “n” de un TI modificando las vueltas en su primario. Dado que el n del transformador es establecido con una sola pasada del conductor a sensar (primario); más de un paso a través del núcleo da como resultado que se modifique la relación eléctrica.

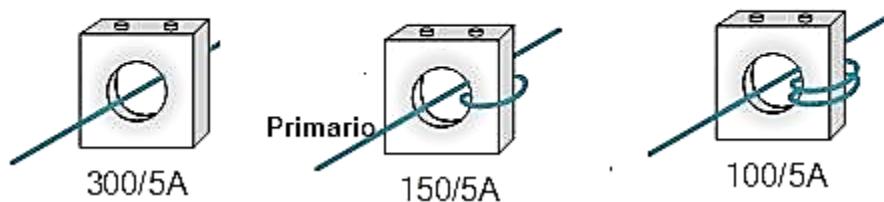


Alumno:

Pág:

Por ejemplo, un transformador de corriente con una relación de, digamos, 300/5 A se puede convertir a otro de 150/5 A o incluso 100/5 A pasando el conductor primario a través de su ventana interior dos o tres veces:

1 vuelta el Primario 2 vueltas el Primario 3 vueltas Primario



Esto se explica mediante la relación de transformación $i_1 = i_2 \cdot N_2 / N_1$; en el primer caso $N_1=1$, en el segundo $N_1=2$ por lo que tendremos la mitad de corriente primaria que en el caso anterior; y en el tercer caso tendremos un tercio de la corriente primaria ya que $N_1=3$.

Este ejemplo nos permite reutilizar un TI y su amperímetro con escala de 5A en una instalación con menor corriente primaria, pero manteniéndonos en el último tercio de escala del amperímetro, minimizando el Er%; habrá que tener en cuenta dividir por 2 o por 3 la lectura así obtenida, según el caso.



2.9.2. El transformador de Tensión (TV)

Un transformador de tensión es un dispositivo destinado a la alimentación, mediante su secundario, de aparatos de medición y/o protección con menores tensiones, aunque proporcionales, a las de la red en el punto en el cual está conectado el primario. El primario se conecta en paralelo al circuito bajo medición, por lo que será conectado a un par de fases o a una fase y tierra; mientras que el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y de protección.

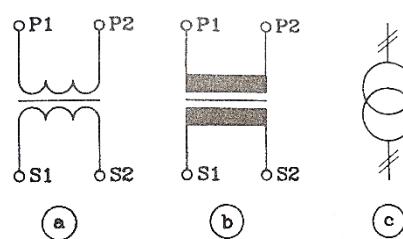
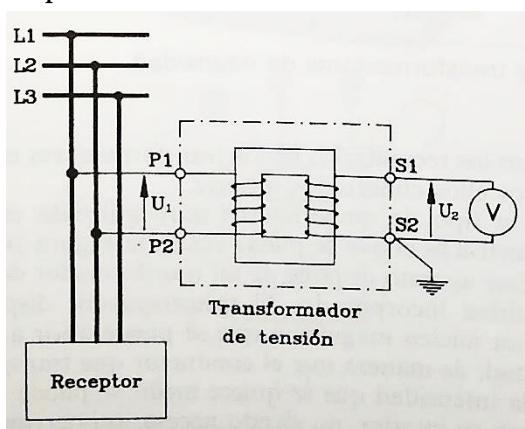
La relación de transformación del TV nos vincula la tensión Primaria y Secundaria con sus correspondientes números de espiras:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

A diferencia del TI, **el TV trabaja con el bobinado secundario en vacío**, ya que los instrumentos que se conectan a él poseen una elevadísima resistencia (idealmente infinita); por lo que un cortocircuito en él producirá la circulación de una corriente que destruirá el secundario, contrario a lo que ocurre en el TI.

Por seguridad, en la conexión del TV, se conecta a tierra uno de los bornes secundarios, y así prevenir la aparición de tensiones peligrosas en el caso de un fallo de aislamiento entre primario y secundario.

Los valores de las tensiones nominales del primario y secundario deben figurar en la placa característica del transformador, expresada en forma de fracción: tensión primaria/tensión secundaria. Por ejemplo: 11000/110V.



14.16. Símbolos normalizados de transformadores de tensión.



Alumno:

Pág:

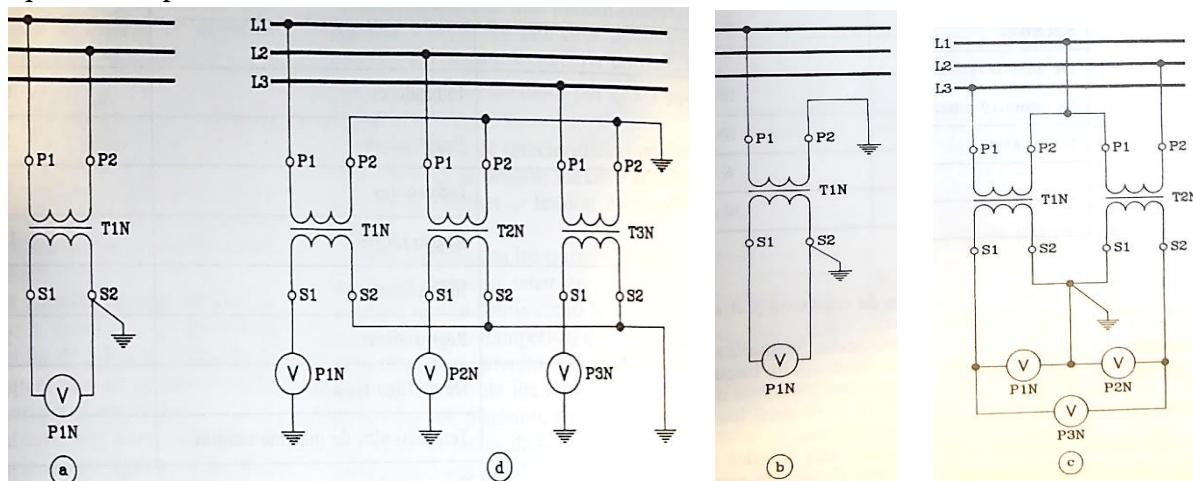
Alguno de los valores normalizado para la tensión primaria son 2200V, 3300V, 5500V, 13,2kV; 16,5kV..., etc, cuando se trata de medir la tensión entre fases; estando la tensión nominal primaria en correspondencia con la tensión compuesta. Pero si se trata de medir tensión entre fase y tierra la tensión nominal primaria será 1/3 de la tensión compuesta.

La tensión nominal secundaria de un TV depende del país en el se utilice, pero en la república Argentina se ha normalizado en 100 V, 110 V, o en 200 V y 220 V para transformadores usados entre fases. Para transformadores usados entre fase y tierra, las tensiones secundarias nominales son aquellas divididas por 1,73 ($\sqrt{3}$).

Dado que los transformadores de tensión se utilizan fundamentalmente en las medidas de alta tensión, es frecuente que se utilicen transformadores monofásicos que solo pueden conectarse entre fase y tierra; en este caso se consideraran los valores de fase de las tensiones primarias y secundarias normalizadas, por ej ; tensión primaria de $2200/\sqrt{3}$.

2.9.2.1. Esquemas de conexión

Los esquemas más usuales de conexión de TV son los indicados por las figuras A a D; utilizándose el esquema de la figura A para medir una de las tensiones de línea primaria; el esquema B para medir la tensión de fase de una línea “rural”; el esquema C para medir las tensiones de línea de un sistema trifásico; y el esquema D para medir tensiones de fase de una línea trifásica.





Alumno:

Pág:

Note, que al igual que con los TI, en todos los esquemas los secundarios tienen un borne conectado a tierra (el de menor potencial) como los centros estrella de los esquemas c y d; esto por los mismos motivos de seguridad y operatividad que en los TI.



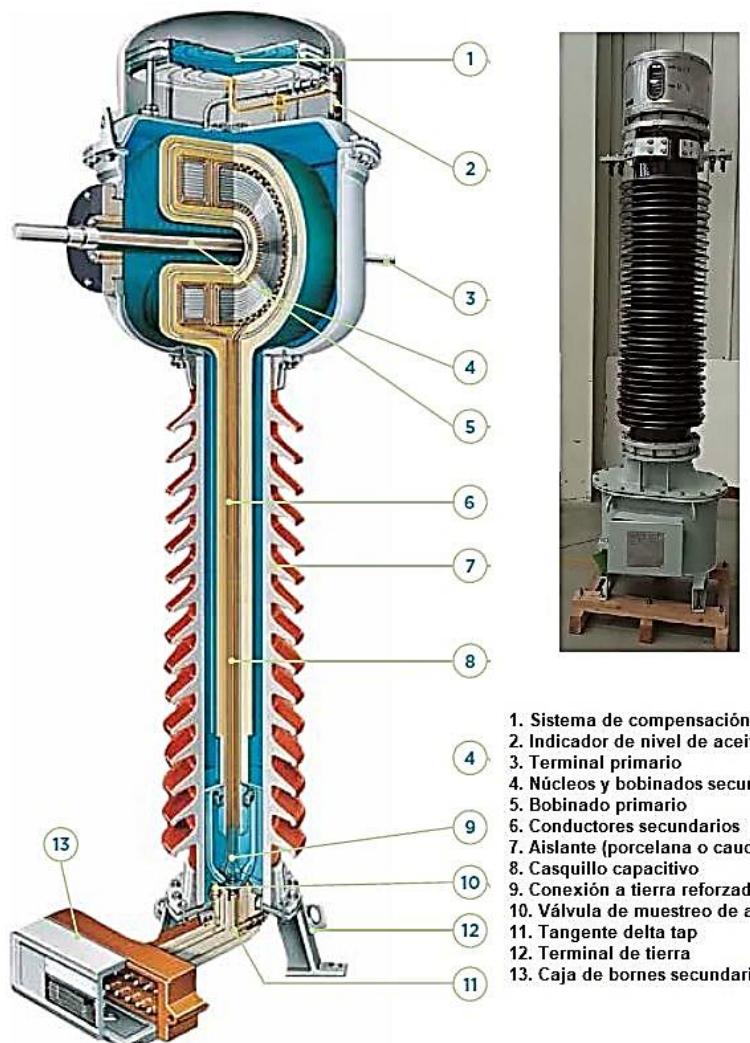
Alumno:

Pág:

2.9.3. Anexo: imágenes de ejemplo



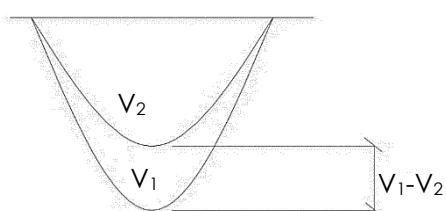
TRANSFORMADOR DE CORRIENTE





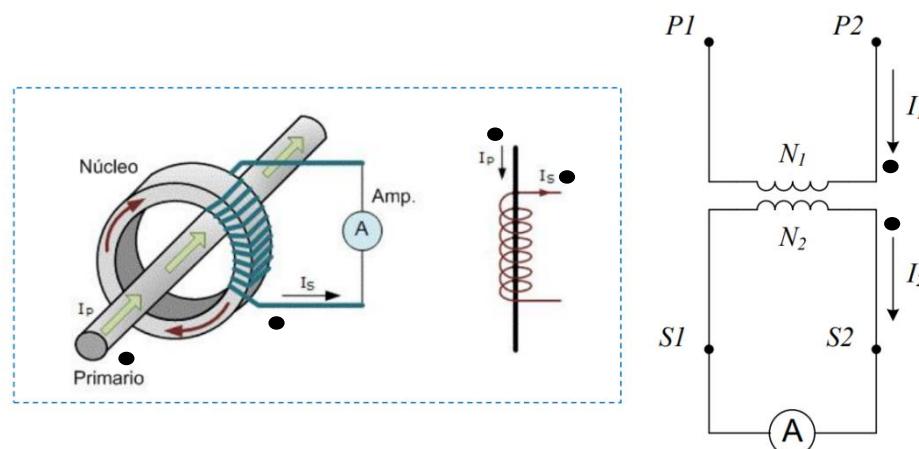
2.10. Bornes Homólogos

Para que un transformador trabaje solo necesitamos conectarlo a una tensión alterna, siendo totalmente indistinto que terminal del bobinado primario conectemos al positivo y cual el negativo. Lo que no sabremos en este caso es cual extremo del bobinado secundario sería el positivo y cual el negativo, a menos que visualicemos la señal primaria y secundaria en un osciloscopio para así determinar la correspondencia:



En la figura se grafican parte de las ondas de tensión existentes en dos bornes homólogos de un transformador reductor (U_1 =tens primario y U_2 =tens secundaria), donde se ven que se encuentran en fase.

La determinación de los llamados **bornes o extremos homólogos de un transformador** es precisamente indicar esta relación entre bobinas: **son los extremos** de los devanados de un transformador (generalmente primario y secundario), **en los que el sentido de la corriente** es el mismo, como si no hubiera interrupción en el circuito eléctrico; es decir son aquellos extremos de los bobinados por los que “entrando la corriente primaria por uno de ellos, sale por su homólogo secundario”.



P1 y S1 son bornes homólogos (al igual que P2 y S2)

Note que **no hablamos de “polaridad” ya que el borne homólogo no se refiere específicamente a ello** sino al sentido de circulación de la corriente (que el

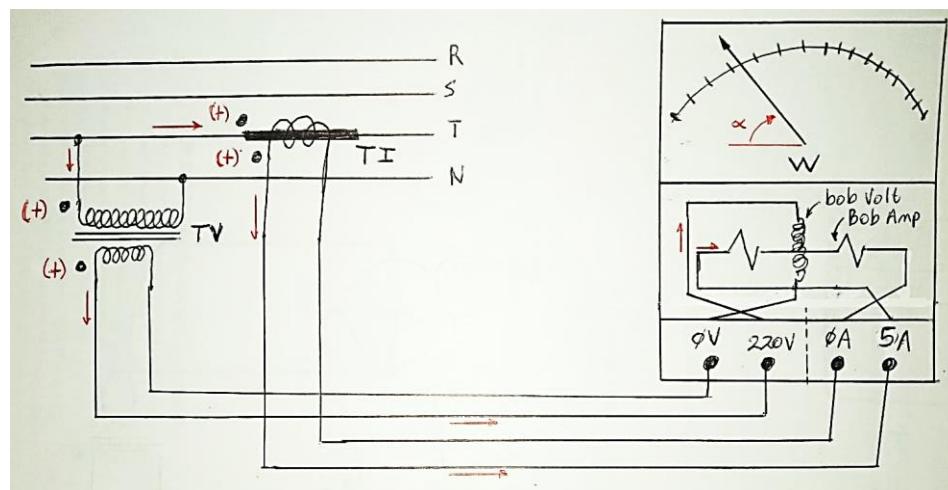


Alumno:

Pág:

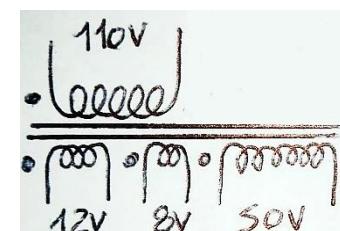
mismo se mantenga); **aunque implícitamente** al determinar que bornes son homólogos también **quedan determinados** los bornes con igual polaridad, sin saber si serán “+” o “-“ (esto lo determinará el conexiónada externo que se haga).

Los bornes homólogos se identifican en cada bobinado con un punto y sirven para interconectar correctamente combinaciones de bobinados, ya sea de transformadores monofásicos o trifásicos, o también para conectar correctamente instrumentos de medición, por ejemplo, vatimétricos mediante TI y TV (donde un sentido de circulación incorrecto de la corriente hará que el instrumento deflecte en sentido opuesto y no en el indicado por α).



Nota: La asignación de los terminales homólogos quedará establecida durante la fabricación mediante el sentido en que se arrollen los devanados (Los terminales que se arrollan en el mismo sentido son homólogos).

En transformadores monofásicos con varios bobinados secundarios (figura der), la interconexión de ellos resultará en mayores o menores niveles de tensión secundaria total.



Un transformador monofásico convencional, tendrá dos terminales homologos, uno en el lado primario y otro en el lado secundario; mientras que uno trifásico tendrá seis bornes homólogos, un juego primario-secundario por cada

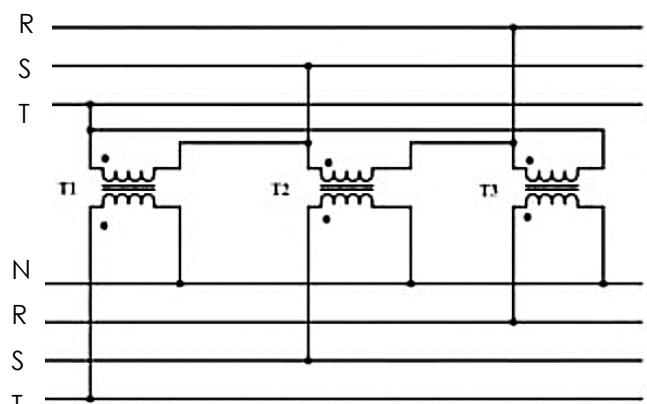


Alumno:

Pág:

fase (no de una fase con respecto a otra).

En el gráfico de la derecha se representa una configuración triángulo en las conexiones superiores, y una configuración estrella en las conexiones inferiores; como puede ser cualquier transformador de alta a baja tensión. Aquí es de vital importancia conocer y respetar los bornes homólogos para conformar correctamente el centro estrella (N) y no generar un cortocircuito.



Nota: Actualmente los fabricantes no dejan identificados los extremos con un punto sino que, a cambio, ofrecen esquemas de conexión y los parámetros resultantes de ellos, en la hoja de datos



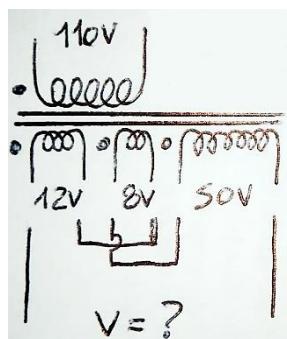
del dispositivo (fig derecha); o identifican los bornes con las tensiones resultantes por lo que los bornes de igual polaridad serán los homólogos (fig inferior)



2.10.1. Conexión Aditiva y Sustractiva de Devanados

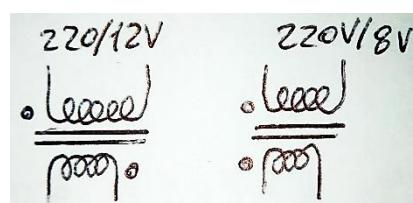
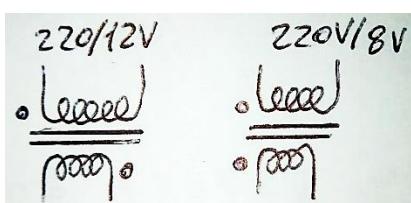
Estas conexiones son análoga a las que realiza cuando coloca las pilas en un control remoto o juego y se fija en que polo de una pila conectarán con la otra; dependiendo de la conexión de polaridades que se realicen entre las pilas ó, en el caso de transformadores de los bobinados, resultará en una tensión aditiva o sustractiva entre los extremos del circuito. Si se desea combinar transformadores, es imperativo que se respeten los bornes homólogos de los mismos para obtener el efecto deseado.

Por ejemplo si realizásemos la conexión, entre los bobinados secundarios, indicada en la figura ¿Qué tensión tendremos entre los extremos finales? y que tipo de conexión se dá entre dichos bobinados?



C O M P L E T E

Ahora realice una conexión aditiva y una sustractiva, de las tensiones secundarias, entre los dos transformadores de la figura inferior; indicando en ambos casos la polaridad y tensión resultante:



C O M P L E T E

2.10.2. Conexión serie/paralelo de transformadores



Alumno:

Pág:

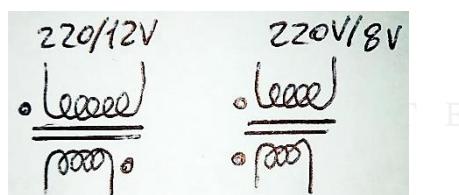
Para realizar estas conexiones es recomendable que ambos transformadores posean las mismas características, de lo contrario se pueden generar desbalances durante el funcionamiento que sobrecargen a uno de los transformadores, deteriorándolo o sacándolo de servicio, en cuyo caso el restante no tendrá la capacidad de sostener la carga y también se deteriorará.

La conexión serie/paralelo de los bobinados de los transformadores, tiene las mismas implicancias que las obtenidas cuando conectamos baterías de auto en serie/paralelo:

- a) En la conexión serie podremos obtener en el secundario una mayor tensión; o soportar mayor tensión de fuente si son los primarios los que están en serie. Ejemplo típico son los transformadores con secundario partido: 12V+12V; o los que permiten seleccionar la tensión de la red a la cual conectarse: 110V/220V
- b) En la conexión paralela de los secundarios podremos obtener una mayor corriente secundaria total.

Nota: En el video del enlace se muestra un método de determinación de los bornes homólogos; y conexiones serie y paralelo de transformadores monofásicos: [Transformadores en serie/paralelo](#)

Ejercitación: Determine, de ser posible, los parámetros de tensión y corrientes resultantes en las diferentes combinaciones de conexión serie/paralelo de los transformadores de la figura

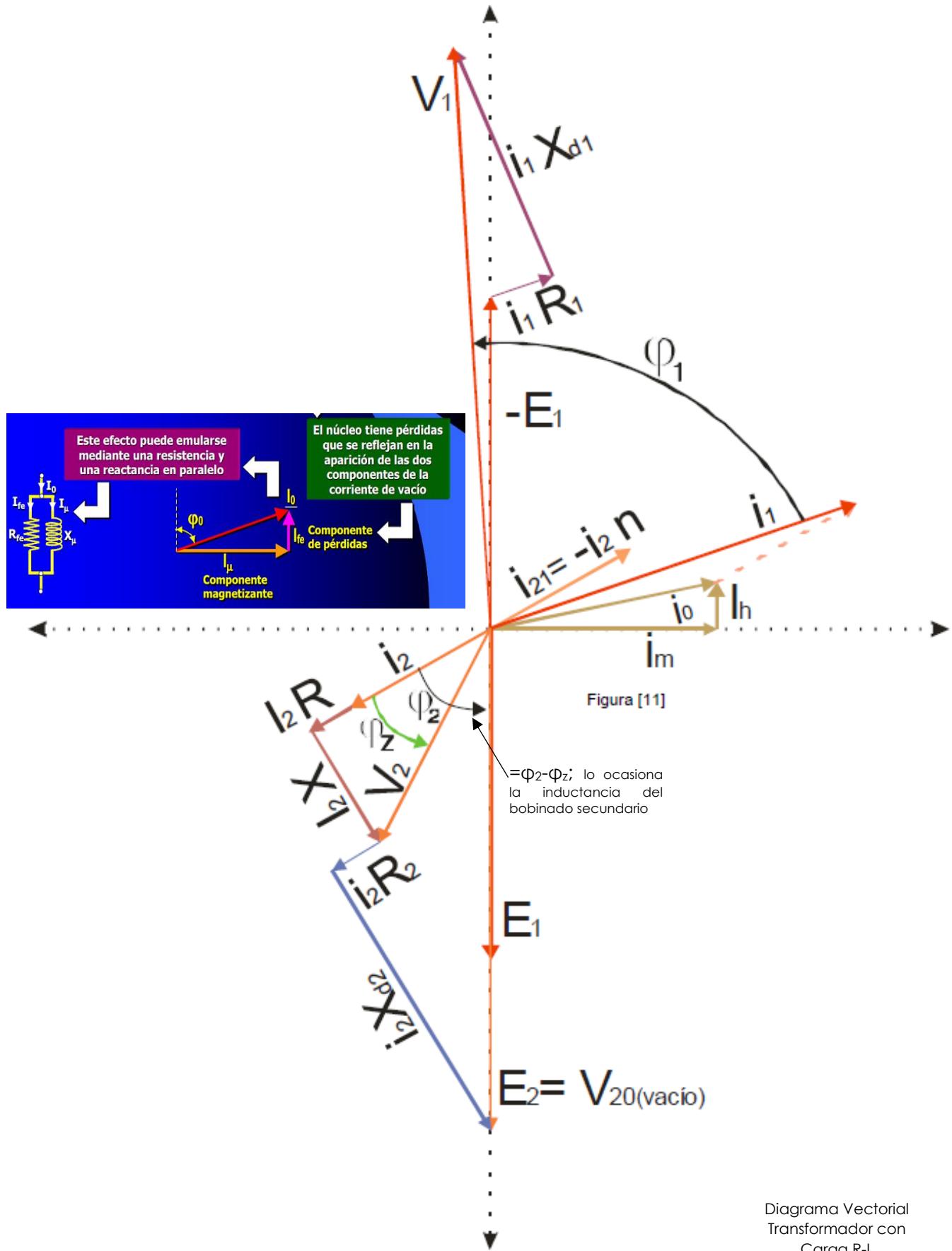




Alumno:

Pág:

2.11. DIAGRAMA VECTORIA





Alumno:

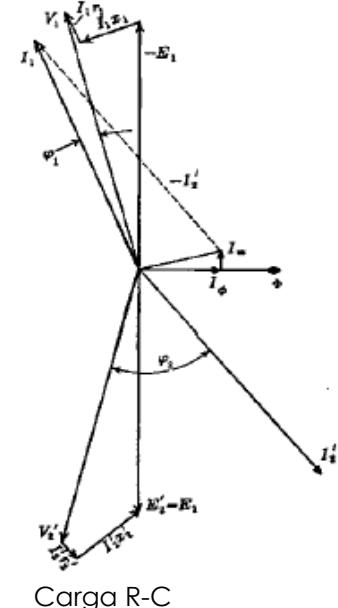
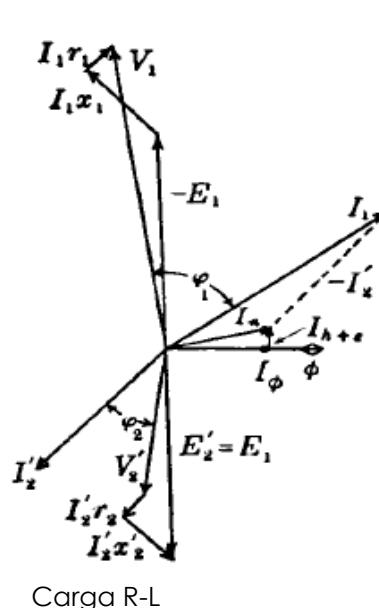
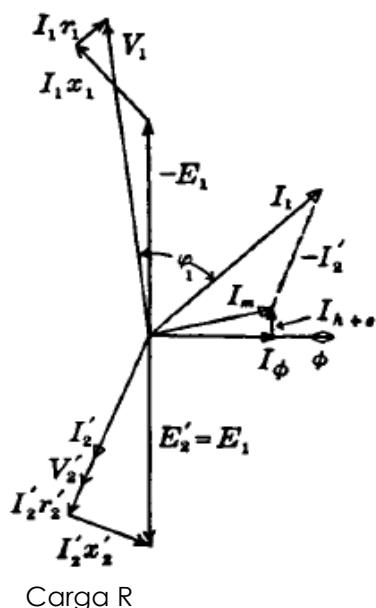
Pág:

Es importante aclarar que el gráfico no está a escala ni se corresponde con alguna relación de transformación determinada, además representa el caso de una carga (Z) resistivo-inductiva.

En un diagrama vectorial real, como los tres siguientes, la escala de los parámetros primarios (hemisferio superior) es distinta a la de los secundarios (hemisferio inferior); por ejemplo con una relación de transformación de 60, que corresponde para una transformación de 13200V a 220V, sería engorroso dibujar la tensión primaria y secundaria en una misma escala.

Hasta ahora hemos trabajado, en general, con valores eficaces; sin embargo en un diagrama vectorial tenemos vectores compuestos por un módulo y ángulo, que como están girando a velocidad "w" ($2\pi f$) pasan a llamarse Fasores.

Variaciones del diagrama vectorial según distintos tipos de cargas: R, R-L, R-C





2.11.1. Construcción del Diagrama Vectorial

Como referencia y punto de partida se toma al flujo concatenante ($\vec{\Phi}_c$), ya que este es común a ambos circuitos eléctricos. En fase a este tendremos la corriente que lo produce: la corriente magnetizante (\vec{i}_m), que es una de las componentes de \vec{i}_o . A 90° en adelanto esta \vec{i}_{pm} (corriente de pérdidas por histéresis y foucault). La composición de \vec{i}_{pm} e \vec{i}_m me dan la \vec{i}_o , única corriente que circula en el transformador, en el primario, cuando está en vacío. La composición vectorial de \vec{i}_o es un modelo, inventado, para explicar sus causas y consecuencias.

De acuerdo a la ley de Faraday, en una espira: $e = - \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8}$ [V] y tomando un flujo senoidal

Por didáctica se toma senoidal, podría tomar uno cosenoidal y el resultado es equivalente

$$\vec{\Phi} = |\vec{\Phi}| \sin(\omega t) \Rightarrow \vec{e} = -w |\vec{\Phi}| \cos(\omega t) \cdot 10^{-8} = w |\vec{\Phi}| \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cdot 10^{-8} \Rightarrow \text{para un bobinado}$$

$$\text{de } N_1 \text{ espiras: } \vec{E}_1 = \underbrace{N_1 e}_{\substack{\text{cte. = módulo} \\ \text{fase ó ángulo}}} = N_1 w |\vec{\Phi}| \underbrace{10^{-8} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})}_{\substack{\text{fase ó ángulo}}}$$

lo que nos indica que la femi \vec{E}_1 está $-\frac{\pi}{2} = -90^\circ$ respecto del flujo: $\vec{\Phi} = |\vec{\Phi}| \sin(\omega t)$; y debido a que se opone a la causa que lo produce (el “-“ de Lenz) está defasada 180° de \vec{V}_1 . En realidad el defase respecto a \vec{V}_1 es aproximadamente 180° (en vacío es debido a las pérdidas que introduce \vec{i}_o ; en carga es ya es una composición vectorial).

El mismo flujo que da lugar a \vec{E}_1 concatena a la bobina secundaria por lo que en ella tendremos:

$$\vec{E}_2 = N_2 w |\vec{\Phi}| \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cdot 10^{-8}, \text{ por lo que la femi } \vec{E}_2 \text{ está en } -\frac{\pi}{2} = -90^\circ \text{ respecto del flujo.}$$

Si conectamos una carga $Z = |Z| \angle \varphi_Z$, aparecerá una \vec{i}_2 defasada φ_Z de \vec{V}_2 ; a su vez \vec{V}_2 es menor y defasada de \vec{E}_2 debido a las pérdidas resistivas del arrollamiento secundario $i_2 R_2 = V_{R2}$ que está en fase a \vec{i}_2 debido a su carácter “resistivo”; y a la pérdida producida por la reactancia inductiva $i_2 X_{d2} = V_{xd2}$, quien está adelantada en 90° de \vec{i}_2 por su carácter inductivo. Una vez que tenemos \vec{i}_2 podemos calcular la corriente primaria como la composición vectorial de: $\vec{i}_1 = \vec{i}_0 + \vec{i}_{21} = \vec{i}_0 - (i_2/n)$, con lo que hemos obtenido \vec{i}_1 .

La diferencia de tensión entre $-\vec{E}_1$ y \vec{V}_1 se debe a las pérdidas calóricas del arrollamiento primario ($i_1 R_1$) y a las pérdidas introducidas por la reactancia de dispersión ($i_1 X_{d1}$); entonces al componer estos vectores a continuación de $-\vec{E}_1$ obtenemos \vec{V}_1 . Con ello hemos completado el diagrama fasorial.

En el diagrama se han expresado las cantidades en módulo y fase, sin embargo si queremos corroborar los cálculos con mediciones habrá que trabajar con valores eficaces ya que los instrumentos vienen calibrados en dichos valores; entonces si queremos el valor eficaz de, por ejemplo, la tensión $|E_1|$:

$$E_1 = \overline{|E_1|} = \overline{N_1 w |\vec{\Phi}| 10^{-8}} = \overline{2 \prod f N_1 w |\vec{\Phi}| 10^{-8}} = \overline{4,44 f N_1 |\vec{\Phi}| 10^{-8}} [V]$$

donde la tensión por espira en una red de 50 Hz será:

$$e = E/N = 4,44 \cdot 50 \cdot \overline{|\vec{\Phi}| 10^{-8}} [V] = 222 \overline{|\vec{\Phi}| 10^{-8}} [V]$$



Alumno:

Pág:

2.12. Análisis de funcionamiento de un transformador de 60Hz en una red de 50Hz y viceversa

Tomemos un transformador diseñado para 220V y 60Hz, en el mismo tendremos:

$$E_1 = 4,44 \cdot 60 \cdot N \cdot |\phi| \cdot 10^{-8} [V], \text{ donde } E_1 \text{ son los } 220V$$

Entonces

$$220V = 4,44 \cdot 60 \cdot N \cdot |\phi| \cdot 10^{-8} \Rightarrow N \cdot |\phi| \cdot 10^{-8} = 0,82$$

Si ahora lo hacemos trabajar a 50 Hz, la tensión primaria requerida para conservar la cte será:

$$E_1 = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,82 = 182V$$

Al producto $N \cdot |\phi| \cdot 10^{-8}$, se lo denomina "concatenaciones", y no se debe modificar su valor una vez construido si se desea un correcto funcionamiento, es decir debe ser una cte una vez construido el transformador.

182 < 220, por lo que al alimentarlo con una tensión mayor, los 220V/50hz de la red, el núcleo se saturará, aumentará sus pérdidas y no dará la tensión secundaria esperada (la indicada según su relación de transformación de diseño), aunque mayor a la esperada si se alimentara con 182V.

Es importante notar que con un núcleo saturado la relación de transformación "n" ya no se cumple.

Ahora tomemos el caso inverso, un transformador diseñado para 220V y 50 Hz:

$$220V = 4,44 \cdot 50 \cdot N \cdot |\phi| \cdot 10^{-8} \Rightarrow N \cdot |\phi| \cdot 10^{-8} = 0,99$$

Si ahora lo hacemos trabajar a 60 Hz, la E_1 necesaria para mantener cte las concatenaciones sera de:

$$E_1 = 4,44 \cdot 60 \cdot 0,99 = 264V$$

264 > 220, por lo que al alimentarlo con una tensión menor, los 220V/60hz de la red, el transformador funcionará sin saturar el núcleo y con menos pérdidas, entregando la tensión secundaria acorde a su relación de transformación.

Algunas conclusiones sobre el Transformador:

- El transformador desfase entre la entrada y la salida aproximadamente 180°
- Al ser el transformador una carga netamente inductiva, el mismo desmejora el $\cos \phi$
- En los transformadores de medición TI y TV, el error de angulo provocado por el desfase que no es exactamente 180° (entre los parámetros electricos de entrada y de salida), origina errores sobre los aparatos de medición y/o protección acoplados/conectados a los secundarios de los transformadores.
- Cuando la frecuencia de red difiere de la de diseño, se pueden originar



Alumno:

Pág:

inconvenientes en el funcionamiento del transformado.

3. TIPOS DE CARGAS ELÉCTRICAS

Para nuestro estudio definamos como “Carga” a aquellos componentes del circuito eléctrico que nos ocasionan un consumo de energía eléctrica, ya que en los mismos se desarrolla una potencia eléctrica, determinada por las características propias de la carga.

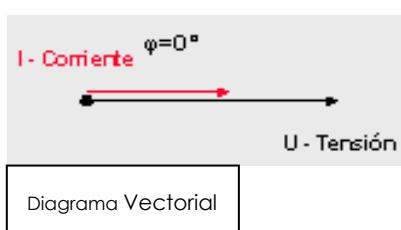
3.1.1. En corriente continua:

Solo existen cargas resistivas: R

3.1.2. En corriente alterna

Tenemos tres tipos básicos (y sus posibles combinaciones):

3.1.2.1. Cargas resistivas

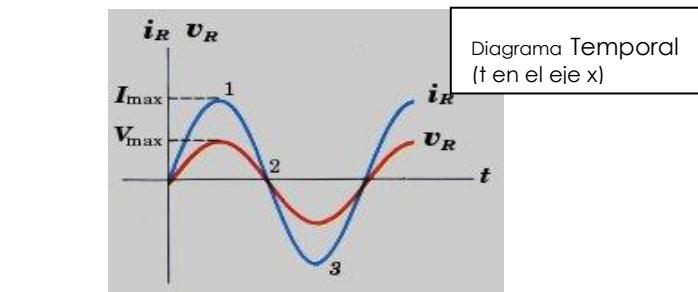
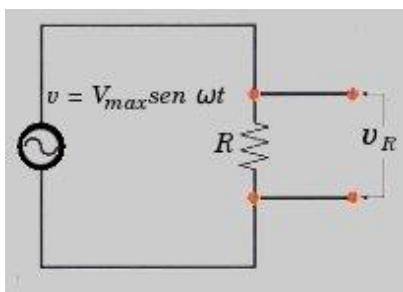


▲ En circuitos resistivos las formas de onda de la tensión y de la corriente alcanzan sus picos, valles y cruces por cero en el mismo instante de tiempo.

▲ Se dice que la tensión y la corriente están en fase ($\varphi = 0^\circ$) y toda la potencia de entrada se convierte en potencia activa. Por lo tanto, los circuitos resistivos tienen un factor de potencia unitario.

▲ La resistencia ohmica no depende de la frecuencia.

Curvas de tensión y corriente en el tiempo (CA)



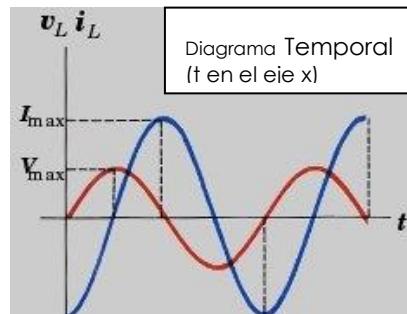
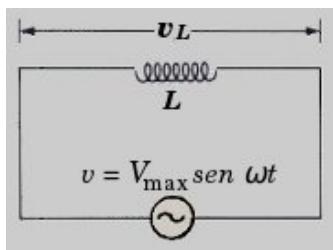
3.1.2.2. Cargas inductivas

- La mayoría de las cargas industriales son inductivas por naturaleza (resistivo-inductivas más precisamente); por ejemplo: motores, transformadores, balastos, etc. Debido a la reactancia inductiva de la carga, la corriente absorbida por la carga se retrasa eléctricamente respecto de la tensión aplicada, en un ángulo φ .

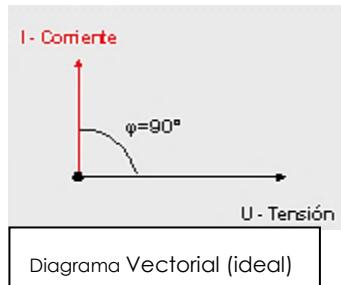
Diagrama Vectorial (Inductancia Ideal)

- La magnitud de φ es proporcional a la reactancia inductiva.
- La reactancia $XL = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

Curvas de tensión y corriente en el tiempo (CA)



3.1.2.3. Cargas Capacitativas

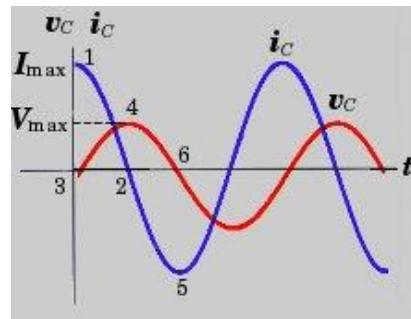
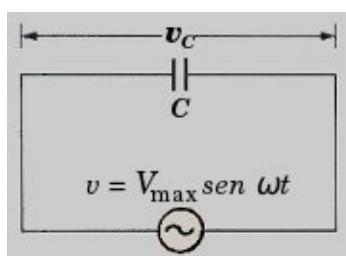


▲ Debido a la reactancia capacitiva de la carga, la corriente tomada por la carga se adelanta a la tensión en un ángulo φ .

▲ La magnitud de φ es proporcional a la reactancia capacitiva.

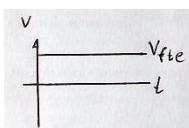
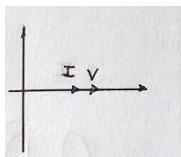
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Curvas de tensión y corriente en el tiempo (CA)



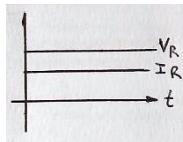
¿Cómo serán los diagramas vectoriales y temporales para estos tres tipos de cargas vistos, pero en CC constante (no variable), unos segundos luego de energizar el circuito?:

Diagrama Vectorial



C O M P L E T E

Diagrama Temporal



R en CC

L en CC

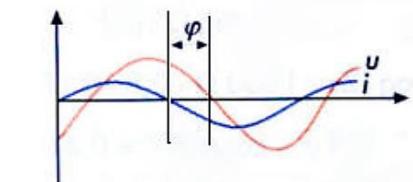
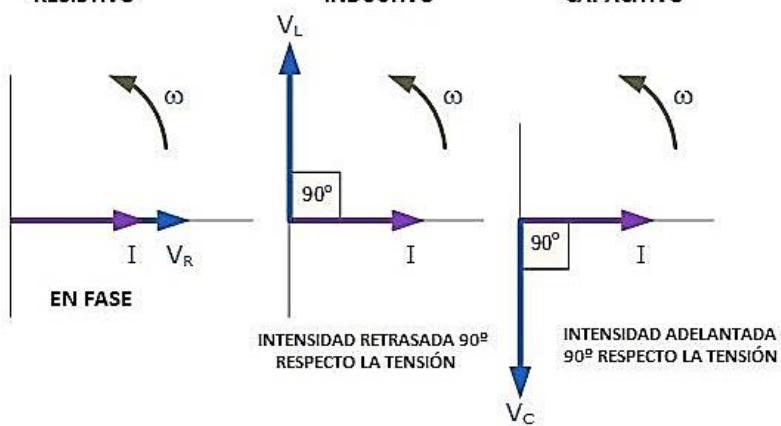
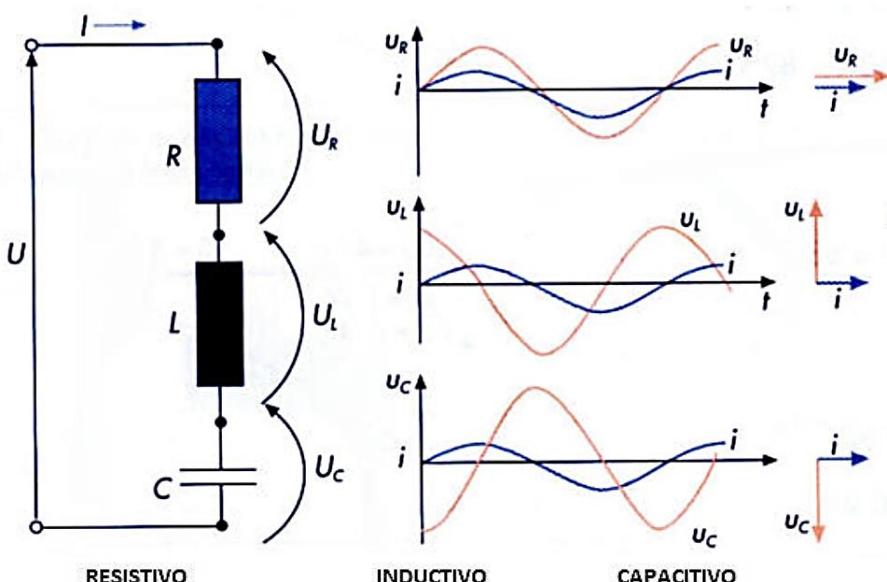
Equivalente a un

C en CC

Equivalente a un

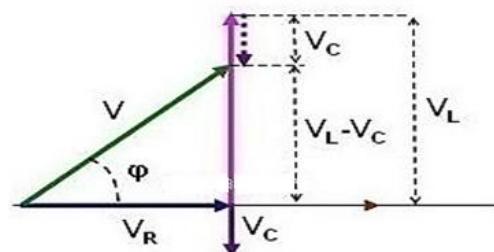
3.1.3. Diagrama vectorial circuito RLC

En el caso que el circuito sea Serie utilizaremos a la corriente como referencia, es decir es el vector que colocaremos sobre el eje X, ya que por ser “serie” la corriente que circula por **las** cargas es la misma; siendo la tensión quien sufrirá el desfasaje:



En este caso la componente capacitativa

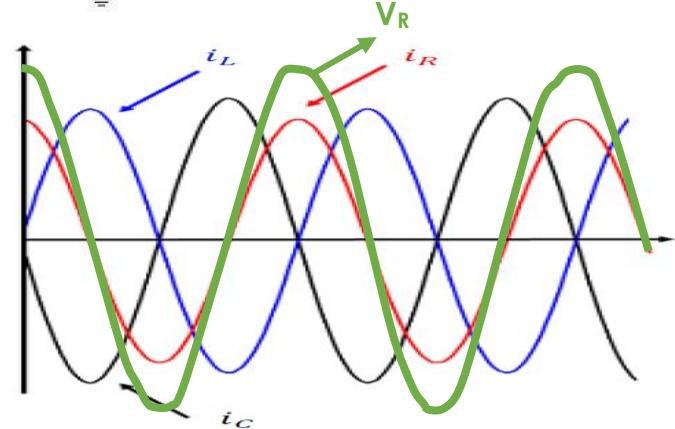
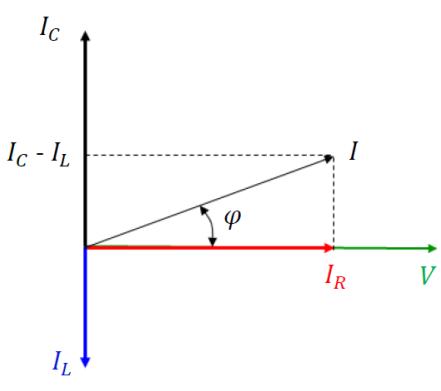
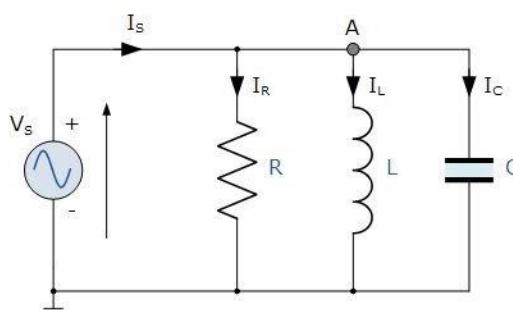
Triángulo de Tensiones



Este triángulo representa

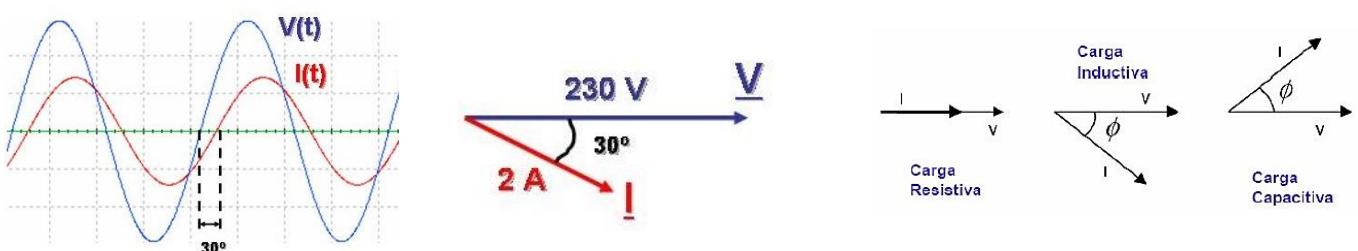
el comportamiento de una

En cambio, en el caso de un circuito Paralelo, es la tensión a quien utilizamos como punto de referencia, ya que la misma es igual en todo el circuito, siendo la corriente quien sufrirá el desfasaje (este r



3.1.4. Ángulo ϕ

Como se ha estudiado en los temas de inductancia y capacitor, éstas cargas reactivas (X_L , X_C) producen un efecto de desfase entre V e I ; dicho desfasaje es reflejado por medio del ángulo que denominamos ϕ ; que para el ejemplo de la figura vale 30° y corresponde a una carga conectada en paralelo (ya que se toma al vector de V como referencia):



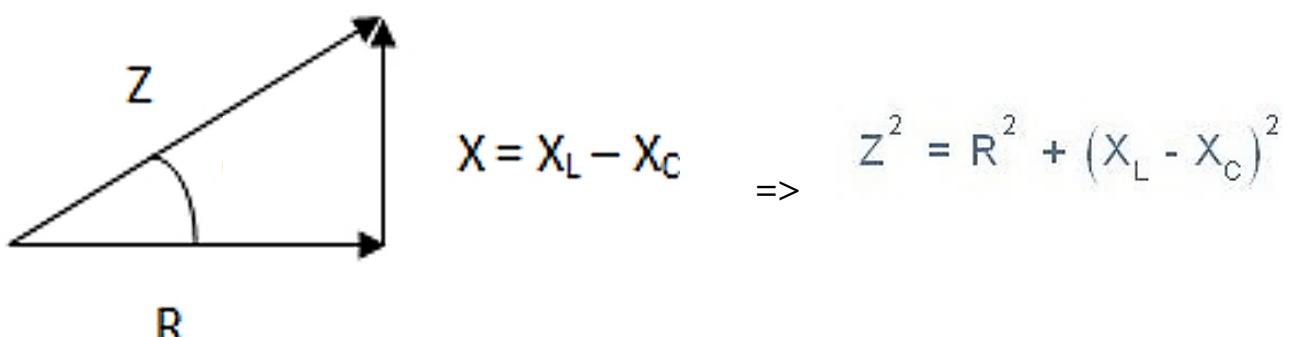
3.2. IMPEDANCIA

En CC al hablar de carga se entendía solamente una resistencia “ R ”, en cambio en CA la carga puede ser no solo resistiva sino una combinación resistivo-reactiva, es por ello que en CA hablamos de IMPEDANCIA “ Z ”, la cual es una expresión mas completa y general para expresar el valor de la carga (en Ω) y es válida tanto en CC como en CA:

$$Z = R + j X_{L-C}$$

La composición de Z la podemos representar graficamente mediante el **Triángulo de Impedancia**: en el mismo se dibuja la parte resistiva (R) sobre el eje X ; y j , la parte reactiva (X), sobre el eje $+Y$ para X_L y sobre $-Y$ para X_C (ya que la parte imaginaria de Z es “ $+X_L - X_C$ ”).

Se suele indicar de forma genérica con jX a la resultante de $X_L - X_C$:



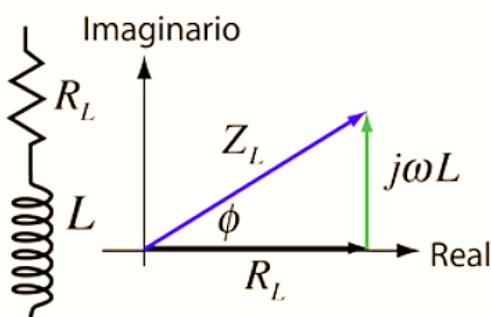
Siendo:

$$\left. \begin{array}{l} X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L \\ \text{circuito} \\ X_C = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C) \\ \text{Abierto} \end{array} \right\} \text{En CA ; } \Rightarrow \text{En CC} \quad (f=0)$$

$X_L = 0 \Omega \Rightarrow \text{cable / corto}$

$X_C = \infty \Omega \Rightarrow \text{circuito abierto}$

Individualmente, para cada carga reactiva, el triángulo quedará:

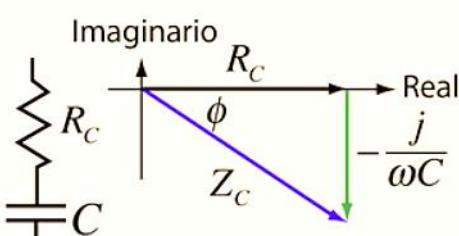


Forma cartesiana: $Z_L = R_L + j\omega L$

Forma polar: $Z_L = |Z_L| \angle \Phi$

donde $|Z_L| = \sqrt{R_L^2 + \omega^2 L^2}$

$\phi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R_L}$



Forma cartesiana: $Z_C = R_C - \frac{j}{\omega C}$

Forma polar: $Z_C = |Z_C| \angle \Phi$

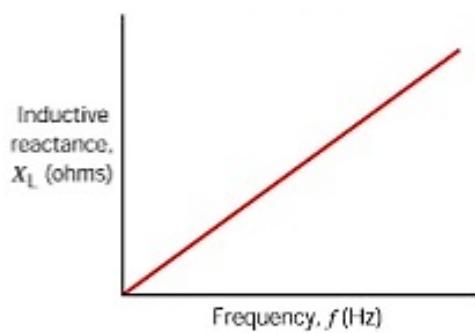
donde $|Z_C| = \sqrt{R_C^2 + \left[\frac{-1}{\omega C}\right]^2}$

$\phi = \tan^{-1} \frac{-1}{\omega C R_C}$

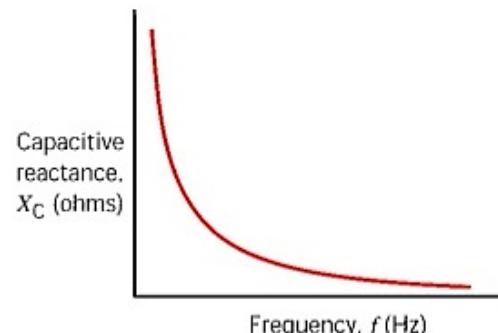
[Link \(9-8-2023\):](#) Página web con calculadora de impedancia y otros parámetros de circuitos RLC serie y paralelo, graficas, fórmulas y explicaciones:

- RLC Serie: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/es-ES/calculator/series-rlc-impedance/>
- RLC paralelo: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/es-ES/calculator/parallel-rlc-impedance/>
- RLC paralelo: https://hosting.systemlinkcloud.io/webapps/ea228ec4-859e-47a8-b464-9ee15824fc7b/content/ApplicationFiles_64/index.html

3.2.1. Respuesta en frecuencia de las reactancias



$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$



$$X_C = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C)$$

Note el valor que toma la reactancia (que se mide en $[\Omega]$) cuando la frecuencia es nula, es decir cuando estamos en

C O M P L E T E

4.

POTENCIA MONOFÁSICA

Con la incorporación de los nuevos tipos de cargas que aparecen en CA (ya no es solo resistiva pura como en CC) también se nos produce un cambio en la potencia como la conocíamos. Hasta ahora calculábamos la potencia como:

$$P = V \cdot I \cdot 1 \text{ (ya que el } \cos \varphi \text{ de una resistencia es 1)}$$

En CA nos aparece el componente reactivo de las cargas (X), por lo que ahora trabajaremos con impedancias (Z) en vez de solo resistencias (R); y como vimos en el triángulo de impedancia, este agregado reactivo de las nuevas cargas hace que el φ ya no sea 0, por lo que el $\cos \varphi$ ya no será 1 y se lo deberá tener en cuenta:

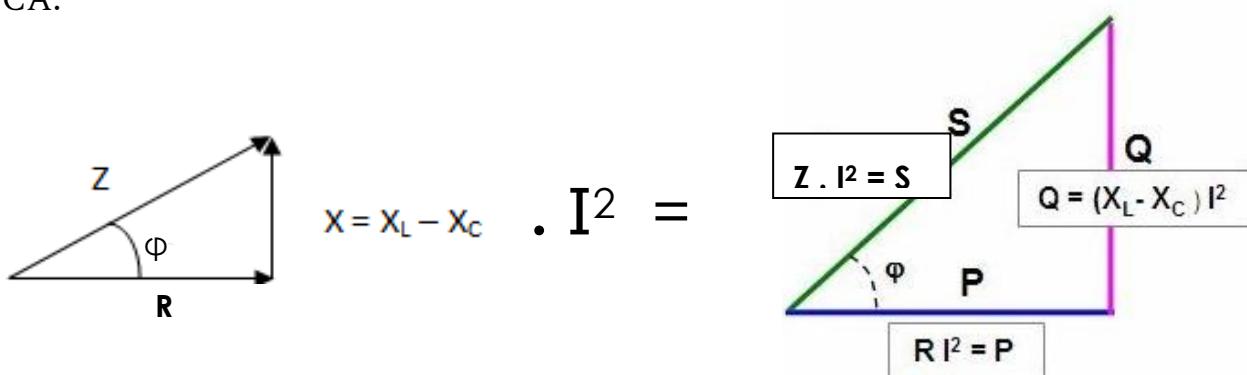
$$P = V \cdot I \cdot 1 = I^2 \cdot R \quad \text{E} \quad I^2 \cdot Z = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

CC

CA

Al observar la fórmula vemos que si multiplicamos a la carga por I^2 obtenemos la potencia, en este caso activa.

En forma mas general, si tomamos el triángulo de impedancia de cualquier carga y lo multiplicamos por I^2 , obtendremos el **Triángulo de Potencias** desarrolladas sobre dicha carga; siendo éstas: P, Q y S, las potencias que tendremos en CA:



Note que el ángulo φ es el mismo en ambos triángulos, siendo éste el ángulo de desfase entre V e I que introducirá dicha carga Z en el circuito.

Como vemos, en CA ya no basta con conocer V e I, ahora es necesario conocer el angulo entre ellas (φ) para poder calcular la magnitud de cada una de las

tres potencia presentes en CA. Para la medición de estas potencias utilizaremos los instrumentos de: vatímetro para la potencia activa (P), varímetro para la potencia reactiva (Q) y voltímetro + amperímetro para la potencia aparente (S).

Entonces, en base a lo desarrollado, podemos relacionar que:

$$\text{Potencia Activa (P)} = \mathbf{R} \cdot I^2 = V \cdot \underbrace{I \cdot \cos \phi}_{\mathbf{I}_{\text{activa}}} = V^2/R$$

donde P y R se expresarán sobre el eje X, ya que ambos representan un valor puramente real. Del mismo modo:

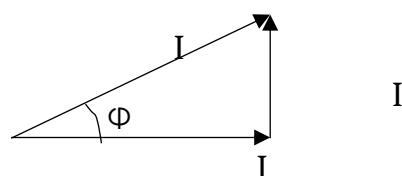
$$\text{Potencia Reactiva (Q)} = \mathbf{X} \cdot I^2 = V \cdot \underbrace{I \cdot \sin \phi}_{\mathbf{I}_{\text{reactiva}}} = V^2/X_{(L-C)}$$

donde Q y X se expresarán sobre el eje Y, ya que ambos representan un valor puramente imaginario. Del mismo modo:

$$\text{Potencia Aparente (S)} = \mathbf{Z} \cdot I^2 = V \cdot \mathbf{I}_{\text{aparente}} = V^2/Z$$

donde S y Z son las respectivas resultantes de las componentes real e imaginaria.

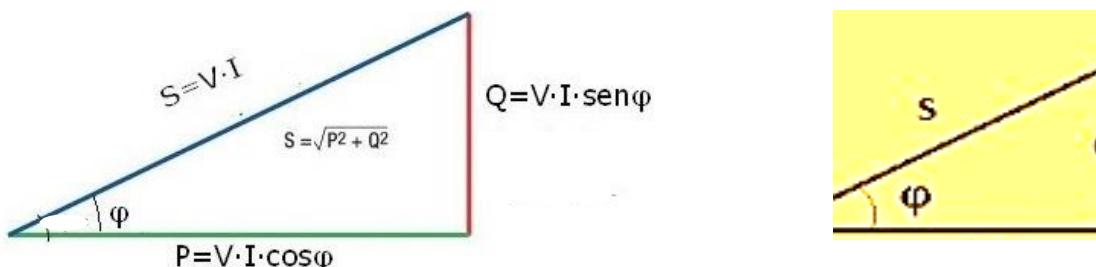
En base al último término de las ecuaciones anteriores podemos inferir un **triángulo de corriente**:



La relación que se dé entre los módulos de los vectores del triángulo de potencia, se verán proporcionalmente reflejados en los módulos de los vectores de corriente de este triángulo.

4.1. TRIÁNGULO DE POTENCIA

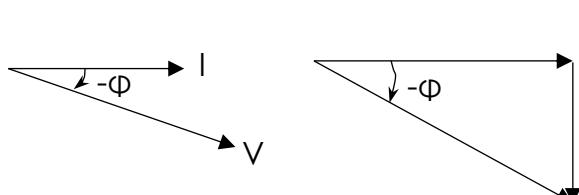
Al igual que con la impedancia, podemos representar los vectores de potencia S , P y Q mediante un triángulo, denominado triángulo de potencia:



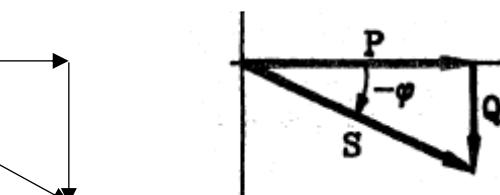
Este triángulo lo podemos obtener partiendo del triángulo de Impedancia, si al mismo lo multiplicamos por I^2

- - - - -

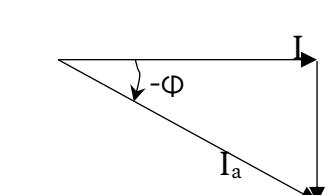
Comparativa:



Desfase entre V e I
potencias

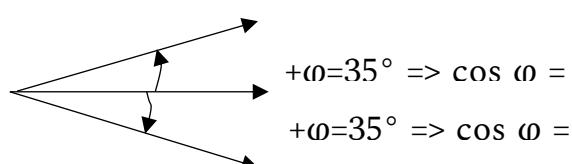


Triángulo de impedancia
Triángulo de corrientes



Triángulo de

Notar que φ es el único parámetro que no cambia, y que me relaciona los cuatro graficos vectoriales; también note que el ángulo φ puede ser positivo (triángulo hacia "arriba") o negativo (triángulo hacia "abajo"), sin embargo el cos φ (factor de potencia) será el mismo valor (ya que la función coseno es una función par).



Por tanto si como dato solo cuenta con el valor del $\cos \varphi$, no podrá saber si

el tipo de carga es preponderantemente inductiva o capacitiva; sólo puede asegurar que hay carga reactiva (si $\cos \varphi \neq 1$)

4.2. MÉTODO CORTO/LARGO en la MEDICIÓN DE POTENCIA:

4.2.1. En CC:

Por simplicidad comenzemos con la determinación de potencia en cc: para ello necesitaremos conocer la V y la I; por lo que para poder determinar **la potencia consumida por una determinada carga** realizaremos la medición de dichos parámetros **sobre la carga** y luego el cálculo de:

$$P_{\text{carga}} = V_{\text{carga}} \cdot I_{\text{carga}}$$

La disyutiva aparecerá al realizar prácticamente las conexiones del voltímetro y amperímetro:

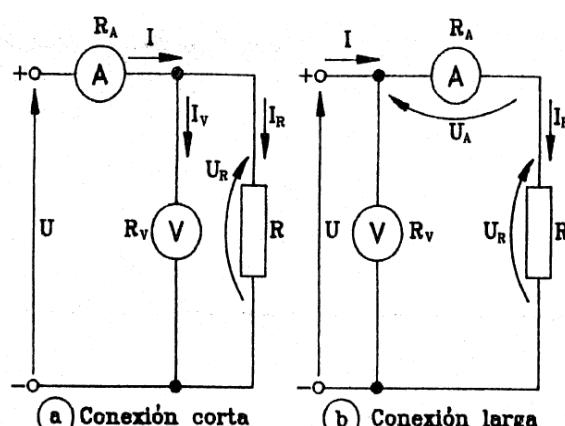
Pregunta: ¿es lo mismo conectar primero el amperímetro que el voltímetro?, recuerde que lo que necesitamos es la tensión en la carga y la corriente que consume la carga:

SI NO

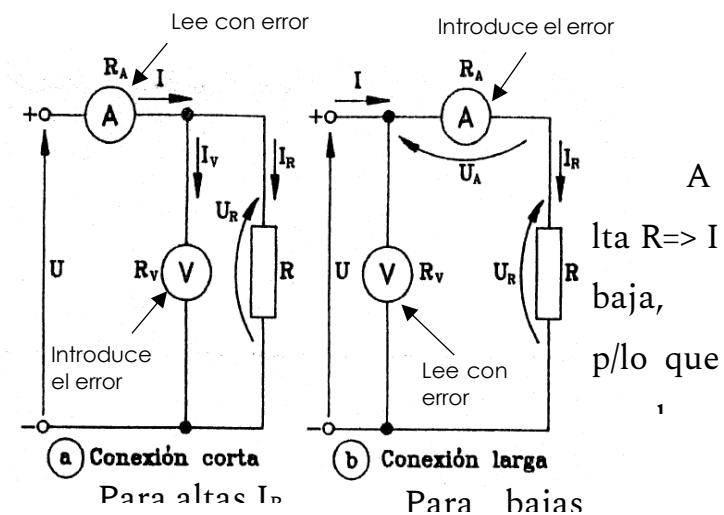
(encierre en un círculo la respuesta correcta)

C O M P L E T E

Las dos posibles conexiones están reflejadas en los circuitos de la derecha; recibiendo el nombre de **conexión corta** aquella en la que el voltímetro está mas cerca de la carga que el amperímetro y **conexión larga** en la que se encuentra más alejado.



Si los instrumentos fuesen ideales no habría diferencia entre ellas, sin embargo los instrumentos “reales” sí tienen un pequeño “consumo” propio que distorsionará la medición que necesitamos realizar. En la conexión corta el amperímetro está midiendo la corriente que consume la carga más la que se deriva por el voltímetro, mientras que el voltímetro sí mide efectivamente la tensión en la carga (en este caso es el voltímetro quién introduce el error y el amperímetro, que funciona perfectamente, el que mide con error); en cambio en la conexión larga es el voltímetro el que mide la caída de tensión en la carga más la producida en el amperímetro (siendo el que mide con el error que le provoca el amperímetro).



Como vemos, **indistintamente que conexión utilicemos, siempre habrá una distorsión en el cálculo de la potencia.** Entonces volvamos a la pregunta: ¿es lo mismo conectar primero el amperímetro que el voltímetro?: la respuesta es NO, ya que dependerá del consumo de la carga cual circuito utilizar.

Si la carga es de bajo valor ohmico, es decir consume una alta corriente, utilizaremos el circuito corto; esto porque la corriente que se deriva por el voltímetro es MUY chica en comparación a la que circula por la carga, entonces la distorsión que se produce en la lectura del amperímetro es mínima, por lo que el cálculo de potencia como = $V_{\text{carga}} \cdot I_{\text{circuito}}$ tendrá un mínimo error; diferente sería si utilizamos la conexión larga para la misma carga, en dicho caso el bajo valor resistivo de la carga puede ser comparable al bajo valor de la resistencia interna del amperímetro por lo que la caída de tensión producida en el amperímetro será de un valor cercano al desarrollado en la carga, es decir la medición de tensión que realiza el voltímetro tendrá un gran componente de error (ya que también mide la $V_{\text{amperímetro}}$).

Si la carga es de alto valor ohmico, es decir consume poca corriente, utilizaremos el circuito largo; esto porque debido a la baja resistencia interna del amperímetro, la caída de tensión en él será mínima en comparación a la que produce la misma corriente en la alta resistencia de carga, por lo que el cálculo de $V_{fuente} \cdot I_{carga}$ tendrá un mínimo error. El resto del análisis del error es análogo al del caso anterior.

Como vemos, la utilización de estos métodos en la medición de potencia NO ELIMINAN EL ERROR, sino que LO MINIMIZAN.

Para obtener la potencia real desarrollada en la carga, el objetivo principal del cual partimos, deberemos restar la potencia que se desarrolla en el instrumento que introduce el error:

-Para la conexión corta la potencia en la carga será:

$$P_R = V \cdot I - P_{Voltímetro} = V \cdot I - V^2/R_{interna\ voltímetro}$$

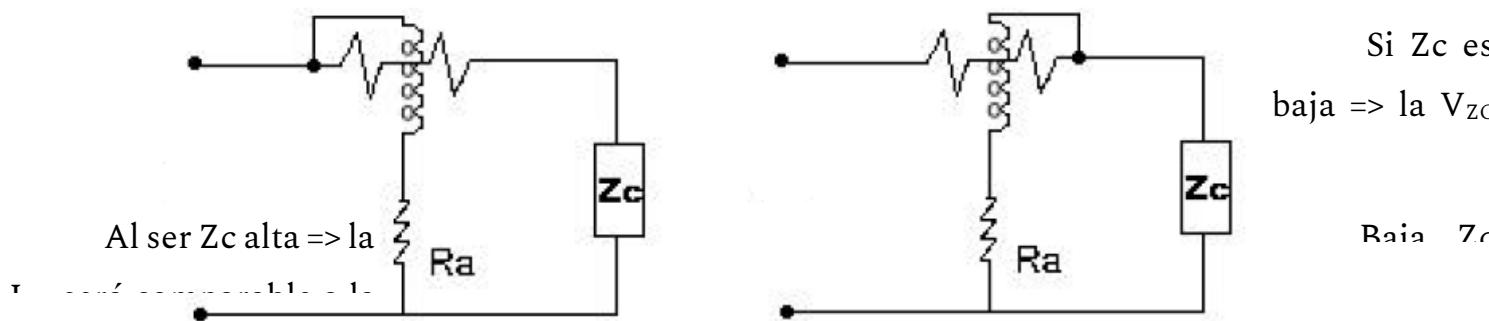
-Para la conexión Larga la potencia en la carga será:

$$P_R = V \cdot I - P_{Amperímetro} = V \cdot I - I^2 \cdot R_{interna\ amperímetro}$$

Nota: En la realización de medidas industriales, y dado que el consumo de los aparatos de medida es muy pequeño comparado con las potencias que se miden, estos errores se puede despreciar. No obstante, se puede minimizar si se tiene la precaución de utilizar el esquema de conexión correcto.

4.2.2. En CA:

Aquí ejemplificaremos realizando la medición de potencia activa mediante un vatímetro, instrumento que tiene implícito un amperímetro y un voltímetro (rama amperométrica y voltmétrica, respectivamente), además de tener en cuenta el $\cos \varphi$. Por lo que, análogamente al caso de CC, deberemos tener en cuenta en qué orden conectamos las ramas amperométrica y voltmétrica:



Aquí, al igual que lo analizado para el caso de CC, dependiendo del valor de Z_c conectaremos antes o después la bobina voltímetrica respecto de la amperométrica (con el mismo criterio con el cual se analizó el método corto/largo para el caso de CC); en este caso la Z_c se comparará con la Z_i de la bobina voltímetrica o amperométrica del vatímetro, según el caso.

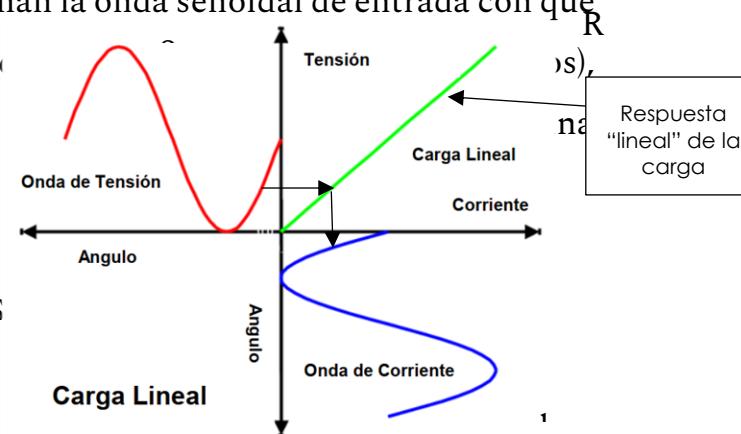
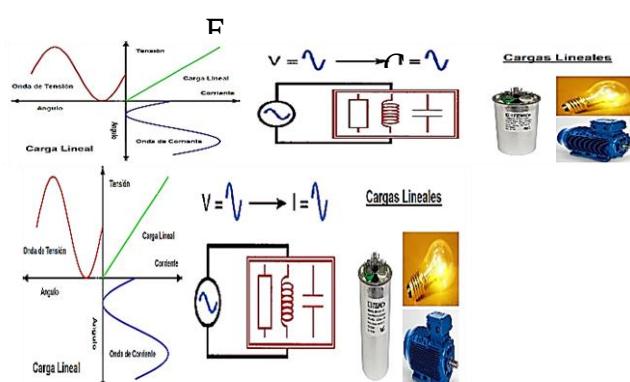
En CA podríamos seguir utilizando el voltímetro y amperímetro e incorporar un cosfímetro para determinar la potencia: $P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$. A diferencia de la medición directa con solo un vatímetro, esta medición resultaría ser indirecta y mas propensa a errores, principalmente los propios del método de medición que se verán agravados por la incorporación de un nuevo instrumento; los errores de lectura de tres instrumentos y la propagación del error durante el cálculo; etc.

4.3. FACTOR DE POTENCIA, $\cos \phi$ y $\operatorname{sen} \phi$

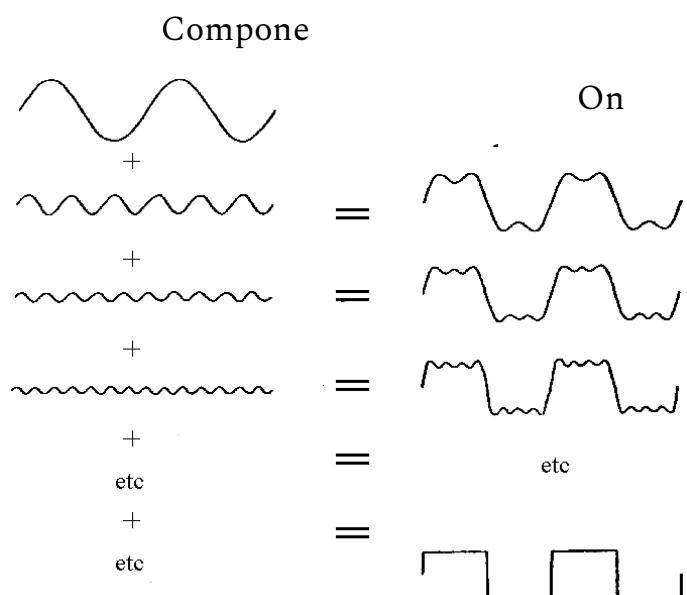
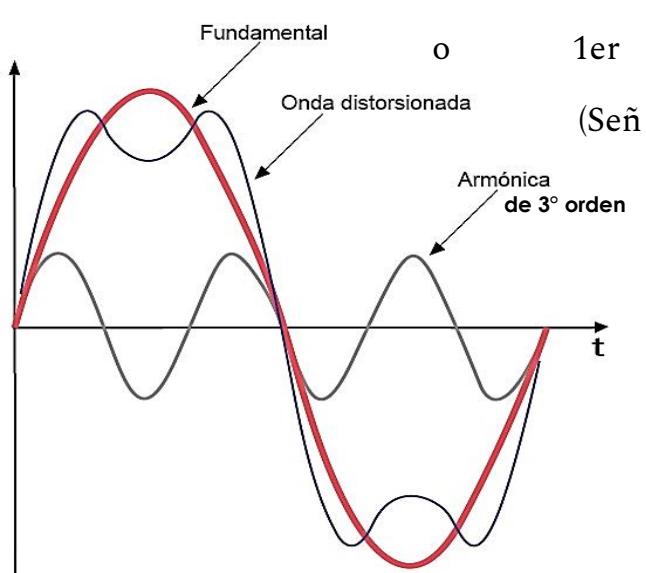
Al tratar este tema lo haremos desde el punto de vista de **cargas lineales**, las que hemos estado estudiando hasta ahora: R, L, C y combinaciones de ellas, ya que éstas, en su funcionamiento, **no modifican en la salida la forma senoidal de la onda** con que son alimentadas, porque tienen una relación lineal y constante entre tensión y corriente (ley de ohm); y vamos a excluir las cargas no lineales, aquellas que por su comportamiento deforman la onda senoidal de entrada con que son alimentadas, entregando una onda porque a pesar de ser alimentadas con intensidad no senoidal, es decir la relación



entre tensión y corriente (ley de ohm); y vamos a excluir las cargas no lineales, aquellas que por su comportamiento deforman la onda senoidal de entrada con que son alimentadas, entregando una onda porque a pesar de ser alimentadas con intensidad no senoidal, es decir la relación

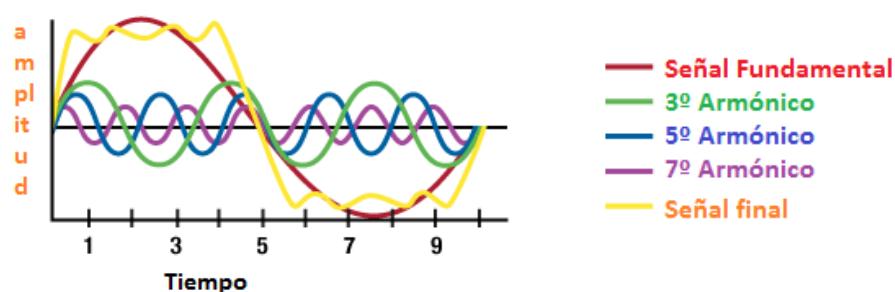


Con la inclusión, cada vez mayor, de la electrónica en los circuitos eléctricos, principalmente la parte de potencia, comienzan a tomar importancia los denominados “Armónicos” en la línea eléctrica, por lo que ya no se los puede despreciar (la magnitud del armónico está en relación a la potencia de la carga no lineal).



El concepto de armónicos nace con la teoría de las Series de Fourier, este es un desarrollo matemático que permite expresar a cualquier onda periódica como una sumatoria de **ondas senoidales de frecuencias múltiplo de la primera o “fundamental”, los llamados armónicos**; por ejemplo, la onda con mayor cantidad de armónicos es la onda cuadrada, esta requiere que se sumen ondas senoidales de todas las frecuencias: de $(0 ; \infty)$; el resto de las ondas periódicas se conforma con la sumatoria de una cantidad variable de armónicos, que dependerá de la complejidad de la onda.

En sistemas eléctricos de corriente alterna los armónicos son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema (para nosotros 50 Hz) y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo ($2 \times 50 = 100$ Hz, 150Hz, 200Hz....). Este “múltiplo” es quien le da el número u orden a los distintos armónicos. Por ejemplo la señal senoidal de 200 Hz es el múltiplo n° 4 de los 50Hz, es decir es el armónico de 4 orden para la onda fundamental de 50Hz (también llamada armónico de primer orden, ya que $50 \cdot 1 = 50$ Hz).



Estos **armónicos, generados por las cargas no lineales**, producen un cambio al calcular lo que hasta ahora denominábamos Factor de Potencia y calculábamos como coseno del ángulo φ . Está muy extendido el término factor de potencia en alusión al resultado del “cos φ ”; sin embargo, bajo esta nueva condición de las líneas en la actualidad, no son lo mismo; aunque por el momento no es tenido en cuenta por la distribuidora al determinar el factor de potencia de la instalación.

Bajo la restricción de cargas lineales los términos Factor de Potencia y cos φ , representan lo mismo: fdp = factor de potencia = cos φ .

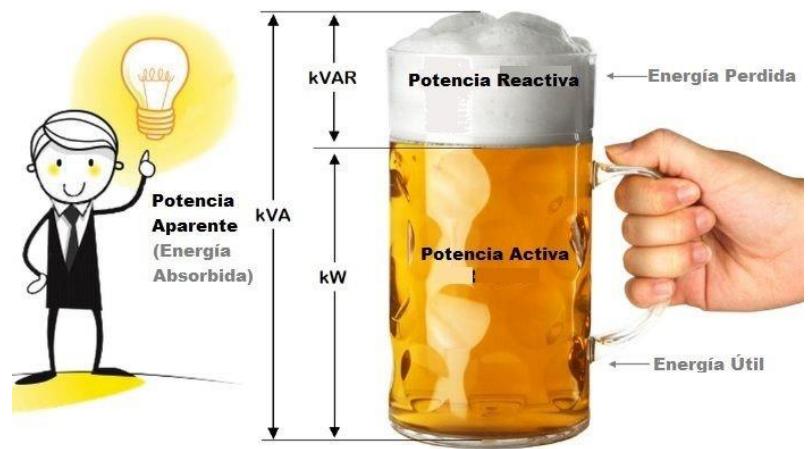
Hemos calculado la potencia activa y reactiva multiplicando la tensión y la corriente por cos φ y sen φ , siendo φ el ángulo entre la tensión y la corriente (de fase en el caso de tratarse de cargas trifásicas). **Al cos φ se lo conoce como factor de potencia o factor de potencia activo y al seno φ como factor de potencia reactivo.** Esto es válido mientras no incluyamos el efecto de los armónicos (en ese caso cos φ y factor de potencia son distintos).

El cos φ es un indicativo del rendimiento eléctrico de una carga, ya que indirectamente nos indica cuanta de la potencia absorbida es transformada en potencia activa; pero ojo, no discrimina en util en el eje del motor o en rozamiento, calor, y cualquier otra que impilque potencia activa. *En electricidad la potencia que realmente produce trabajo “util” en el motor o en la resistencia de una estufa, es la potencia activa; ya que será ésta la transformada en trabajo en el eje del motor o en calor en la estufa.* A la potencia absorbida de la red (la total) se le llama potencia aparente, y a la potencia “no útil o entretenida” en las cargas reactivas, se le llama potencia reactiva.



La potencia aparente del motor (o de cualquier carga) será la suma vectorial de estas dos potencias: la activa y la reactiva.

Veamos esta simpática analogía: cuando adquiere un envase con cerveza, no solo adquiere el líquido, también adquiere "espuma"; si bien no es cerveza si no tiene espuma, no querán que sea 90% de espuma y 10 de líquido....



O sea, la espuma es requerida para que sea cerveza, pero mientras menos mejor.... Lo mismo ocurre con la potencia reactiva.

Para comprender el impacto del $\cos \varphi$ en la instalación, veamos el consumo que representa una misma carga pero con diferentes $\cos \varphi$:

- Primer caso, $\cos \varphi$ de 0,96:

$$I_1 = \frac{P_1}{U \cos \varphi_1} = \frac{1000W}{230V \cdot 0,96} \simeq 4,53A$$

$$S_1 = UI_1 = 230V \cdot 4,53A \simeq 1042VA$$

Esto nos dice que para obtener los mismos 1000W de trabajo útil circulará una corriente de 4,53A.

- Segundo caso, $\cos \varphi$ 0,25:

$$I_2 = \frac{P_2}{U \cos \varphi_2} = \frac{1000W}{230V \cdot 0,25} \simeq 17,39A$$

$$S_2 = UI_2 = 230V \cdot 17,39A \simeq 4000VA$$

Esto nos dice que para obtener los mismos 1000W de trabajo útil circulará una corriente de 17,39A.

Al comparar ambos resultados podemos concluir:

- Un $\cos \varphi$ bajo en comparación a uno alto origina una mayor demanda de corriente, lo que implica la necesidad de cables con mayor sección; para cargas con la misma potencia activa.
- La potencia aparente requerida por la carga aumenta a medida que baja el $\cos \varphi$ de la misma; esto provoca un dimensionamiento mayor en los generadores, a pesar de entregar la misma potencia activa o útil

Estas conclusiones implican que la generación y distribución de la energía

será mas costosa, ya que se deberán sobredimensionar las mismas para soportar la corriente requerida por la carga de bajo $\cos \varphi$. Es por ello que las empresas suministradoras penalizan la existencia de un bajo $\cos \varphi$, incentivando monetariamente (multas) al usuario a que mantenga un buen $\cos \varphi$.

- - - - -

Ejemplo real:

El fabricante de un protector por sobre/baja tensión colocó la siguiente leyenda en las especificaciones de carga máxima del instrumento:

para Carga Resistiva =>5000 W ; para Carga Inductiva=>2500 VA

Otro ejemplo para comprender la importancia del factor de potencia: Tomemos un generador dimensionado para entregar 200A a una tensión de 400V, significa que estos valores son máximos y la capacidad del generador está dada por

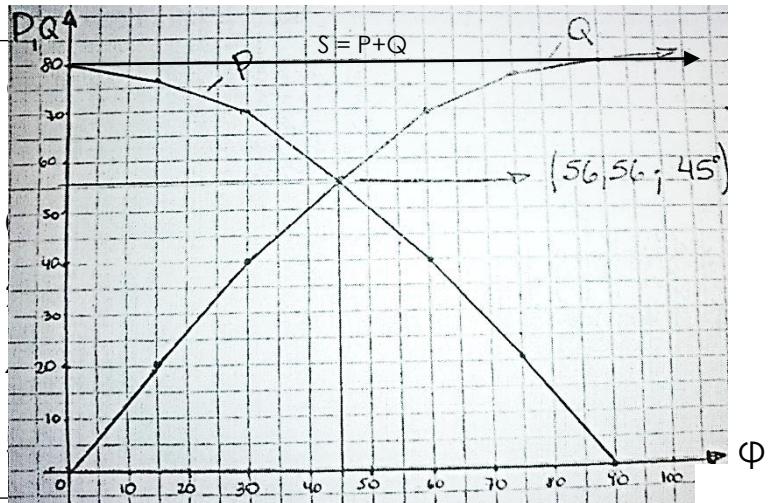
$$S = 400V \cdot 200A = 80000VA = 80KVA$$

La diferencia de fase entre V e I NO depende del generador sino de la naturaleza de la carga, esto implica, para nuestro ejemplo, que si el factor de potencia de la carga fuese de 0,5, la máxima potencia útil desarrollada en ella será de 40KW; **aunque el generador está suministrando todos sus 80KVA** (el generador entrega potencia aparente, siendo la potencia activa una componente vectorial de ella).

Para una potencia de carga dada en [W], cuanto menor sea el factor de potencia de la carga mayor potencia aparente tendrá que suministrar el generador para mantener la entrega de esa potencia activa, entonces mayor será el costo de generación y transmisión de la energía eléctrica; este es el motivo por el cual se debe hacer todo lo posible por mantener un alto factor de potencia, ya sea instalando condensadores o máquinas especiales para evitar que haya excesiva potencia reactiva o “entretenida” en algún elemento.

En la siguiente tabla, y posterior gráfico, observamos la relación entre potencias activa y reactiva, según la variación del ángulo φ , siempre para una misma potencia aparente entregada:

Cos φ	Sen φ	P [W]	Q [Var]
1	0	80	0
0.966	0.258	77.28	12.64
0.866	0.5	69.28	20.72
0.707	0.707	56.56	28.48



4.4. Optimización técnico-económica de la instalación

Un buen factor de potencia permite optimizar técnica y económicamente una instalación; evitando sobredimensionar los equipos y mejorar el rendimiento de los ya instalados. El siguiente ejemplo muestra como cambia la sección del conductor a medida que el $\cos \varphi$ de una misma carga desmejora (se entiende que la Pot activa es constante):

Para un $\cos \varphi$: 1 0.8 0.6 0.4

Necesitamos Sección: 1 1.25 1.67 2.5

(la P absorvida por la carga no cambia, si lo hará Q y la I, que aumentan a menor $\cos \varphi$)

Beneficios:

- **Disminución de la sección del conductor:** el cuadro anterior indica el aumento de sección del conductor a medida que empeora el $\cos \varphi$. Allí podemos observar como la mejora del factor de potencia (aproximarnos a 1) implica una menor sección del conductor para la misma potencia activa entregada.
- **Disminución de las pérdidas de potencia en la línea:** la corriente que circula por la línea produce un potencia de pérdida: $P = I^2 \cdot R$, notar que la corriente está al cuadrado; por lo que mejorar el $\cos \varphi$, y con ello disminuir la corriente a suministrar, disminuye notablemente la potencia perdida en el tendido eléctrico; la cual está integrada en el consumo registrado por los contadores de energía.
- **Reducción de la caída de tensión:** la instalación de condensadores permite reducir, incluso eliminar, la energía reactiva transportada y por tanto reducir las caídas de tensión en la línea ($V = I \cdot R$).
- **Aumento de la potencia activa disponible:** para una potencia aparente dada, la disminución de la potencia reactiva permite aumentar la potencia activa a entregar ($S = P + Q$).

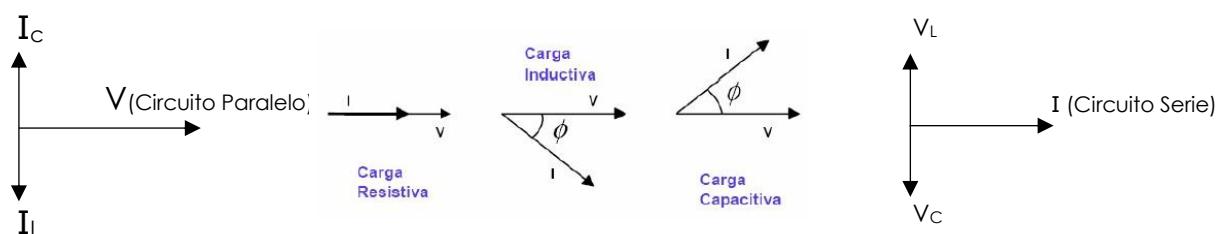


Conclusión: la mejora del $\cos \varphi$ optimiza técnico-económicamente la instalación, optimizando el dimensionamiento de los transformadores y cables, reduciendo pérdidas de potencia en las líneas y caídas de tensión en las mismas.

4.4.1. Influencia del tipo de carga

El valor del $\cos \varphi$ viene determinado por el tipo de cargas conectadas en una instalación. De acuerdo con su definición, el $\cos \varphi$ es adimensional y solamente puede tomar valores entre 0 y 1. En un circuito resistivo puro, recorrido por una corriente alterna, la intensidad y la tensión están en fase ($\varphi = 0^\circ$), esto es, cambian de polaridad en el mismo instante en cada ciclo, siendo por lo tanto el $\cos \varphi = 1$. Por otro lado, en un circuito reactivo puro, la intensidad y la tensión están en cuadratura ($\varphi = 90^\circ$) siendo el $\cos \varphi = 0$, y si es parcialmente reactivo $\varphi > 0^\circ$.

En realidad los circuitos no pueden ser puramente resistivos ni inductivos, observándose desfases más o menos significativos entre las ondas de corriente y tensión. Así, cuando el $\cos \varphi$ está cercano a la unidad se dirá que es un circuito fuertemente resistivo y por lo tanto su $\cos \varphi$ es alto; cuando está cercano a cero se dirá que es fuertemente reactivo y su $\cos \varphi$ es bajo. *Cuando el circuito sea de carácter inductivo, caso más común, se hablará de un $\cos \varphi$ en atraso, mientras que se dice en adelanto cuando lo es de carácter capacitivo.* Esto resulta de observar el diagrama vectorial entre tensión y corriente de cargas conectadas en paralelo (la conexión más usual), donde tomaremos al vector de tensión como referencia y tendremos un atraso de la corriente en el caso de carga inductivas. También lo podremos observar en el caso del triángulo de tensiones o de corrientes, **pero no así en el de potencias** (**← ojo no confundirse**).





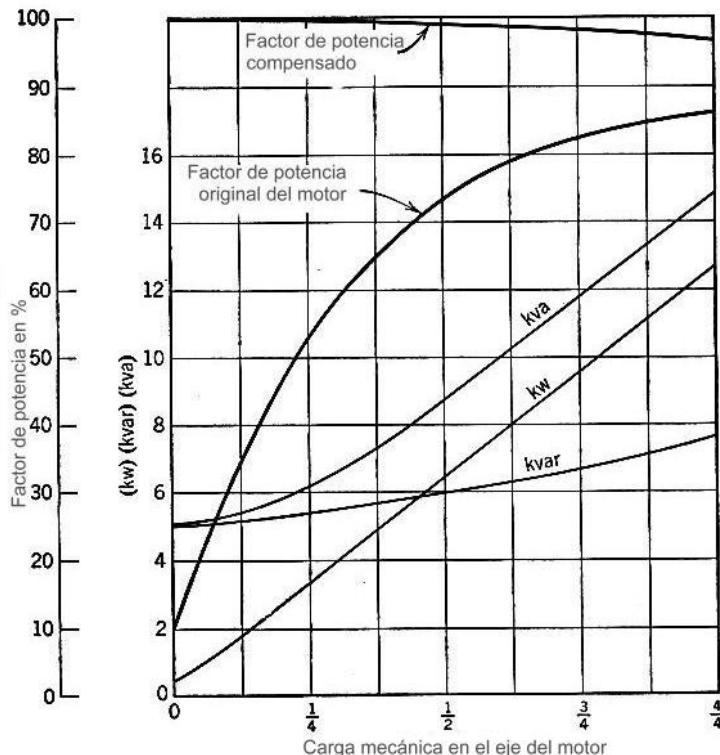
Las cargas inductivas, tales como transformadores, motores de inducción y, en general, cualquier tipo de inductancia (como las que acompañan a las “viejas” lámparas fluorescentes con balastos y arrancador) generan potencia inductiva con la intensidad retrasada respecto a la tensión. Las cargas capacitivas, tales como condensadores o cables enterrados, generan potencia capacitiva con la intensidad adelantada respecto a la tensión.

4.4.2. **Cos φ de las cargas más usuales**

Factor de potencia de los receptores más usuales		
Aparato	Carga	$\cos \varphi$
Motor asincrónico ordinario	0 %	0,17
	25 %	0,55
	50 %	0,73
	75 %	0,8
	100 %	0,85
Lámparas de incandescencia		1
Lámparas de fluorescencia		0,5
Lámparas de descarga		0,4 a 0,6
Hornos de resistencia /Plancha/estufa eléctrica		1
Hornos de inducción		0,85
Hornos de calefacción dieléctrica		0,85
Máquinas de soldar por resistencia		0,8 a 0,9
Centros estáticos monofásicos de soldadura al arco		0,5
Grupos rotativos de soldadura al arco		0,7 a 0,9
Transformadores-rectificadores de soldadura al arco		0,7 a 0,9
Hornos de arco		0,8

4.4.2.1. **cos φ en Motores asincrónicos**

El factor de potencia de un motor de inducción es bueno a plena carga, generalmente entre un 80 ó 90%, dependiendo de la velocidad y carga del motor. Sin embargo, para cargas pequeñas, el factor de potencia disminuye rápidamente, como está ilustrado en la figura. Generalmente los motores de inducción no trabajan a plena carga, lo que da un relativo bajo factor de potencia durante la operación.



Aunque el factor de potencia de un motor de inducción varía con la carga, obsérvese en la figura que la potencia reactiva del motor es relativamente constante. Esta característica hace del motor de inducción una aplicación interesante para los capacitores de compensación del factor de potencia, ya que compensando el motor con un capacitor adecuado, el factor de potencia resulta del orden del 95% al 98% a plena carga, y aún mayor, a cargas parciales.

Supongamos que compensamos el motor que tiene las curvas de la figura, con un capacitor de 5KVAr que corresponde a los requerimientos magnetizante del motor en vacío (es la Q de dicho motor en vacío); entonces, dado que el capacitor compensa toda la corriente magnetizante del motor, el factor de potencia en vacío es unitario. La razón por la cual la curva del factor de potencia en función de la carga es tan constante, es que los Kvar netos en vacío valen cero y a plena



carga solo 2,6 Kvar que es poco comparado con los 7,6 Kvar que demandaría el motor para operar a plena carga sin dicho capacitor.

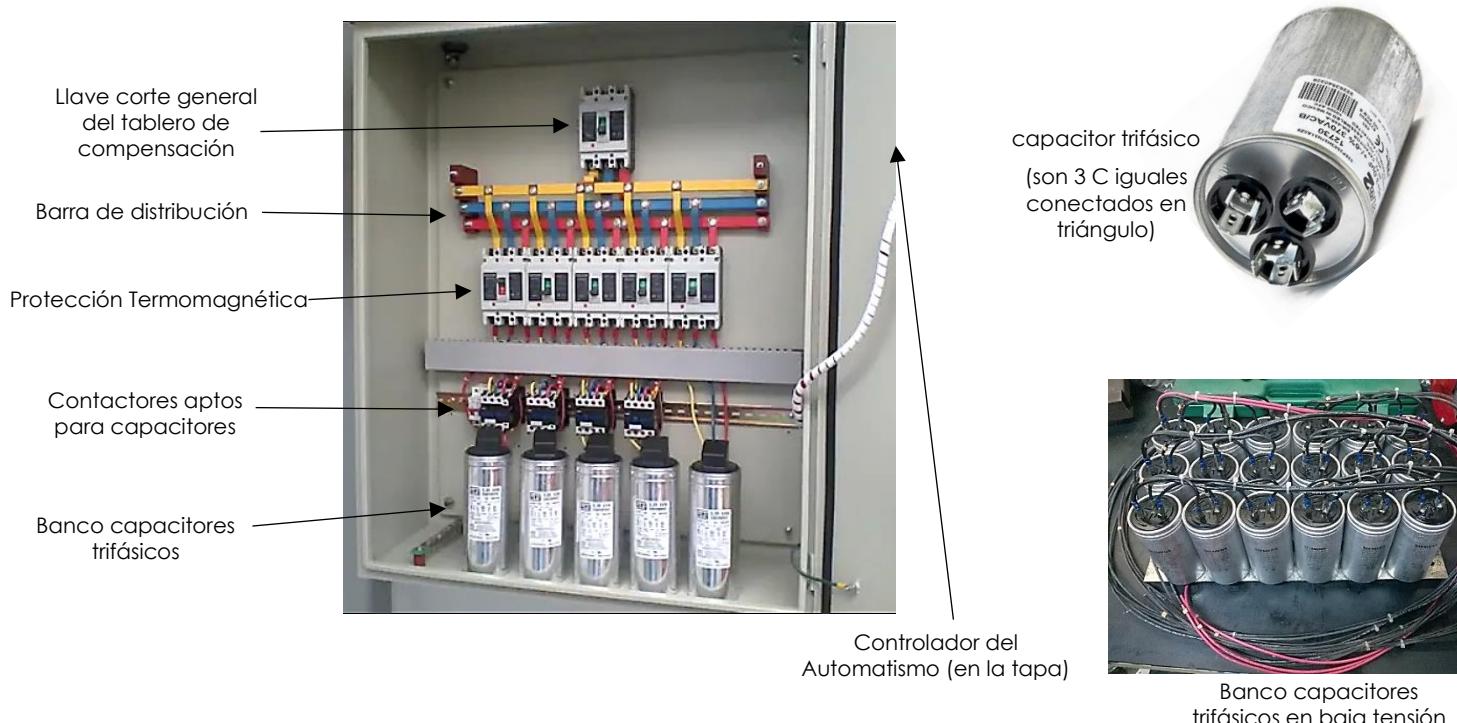
La conexión de capacitores para el mejoramiento del factor de potencia no cambia las características de funcionamiento del motor.

En general, el factor de potencia del motor disminuye al aumentar la tensión nominal y aumenta al disminuir la misma, de allí que sea importante mantener la tensión de la planta en niveles razonables, teniendo, por otro lado, la ventaja de menores pérdidas en el hierro, ya que éstas son proporcionales al cuadrado de la tensión ($P=V^2/Z$).

4.4.3. Mejora del cos φ

Está práctica es comúnmente conocida como “**corrección del factor de potencia**” y se realiza mediante la conexión, generalmente automatizada, de bancos de capacitores o inductancias, según el tipo de carga a compensar. Estos “bancos” son un conjunto de capacitores (o inductancia) que se conectan en paralelo.

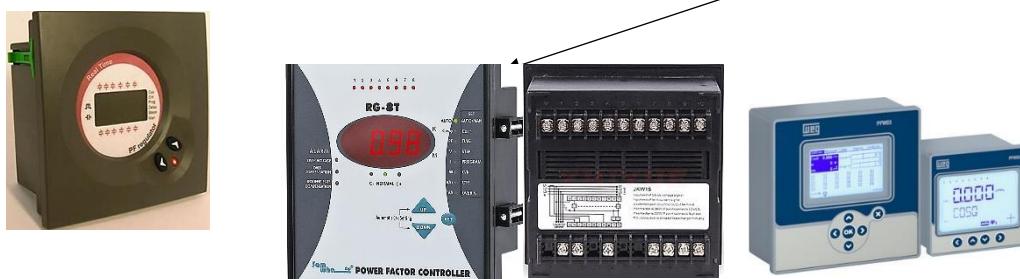
Ejemplo de tablero compensador de energía reactivo-inductiva (mediante un banco de capacitores):





Alumno:

Pág:

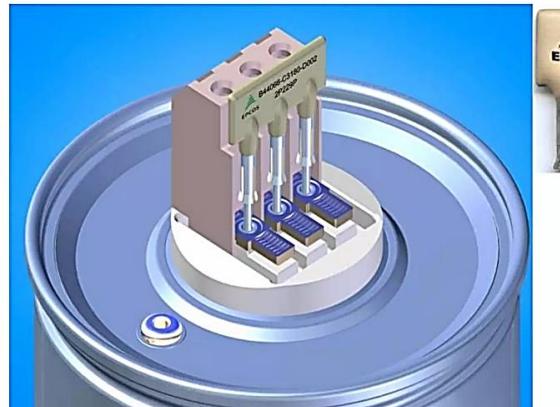


Resistencias de pre carga
Evitan las altas corrientes de in-rush

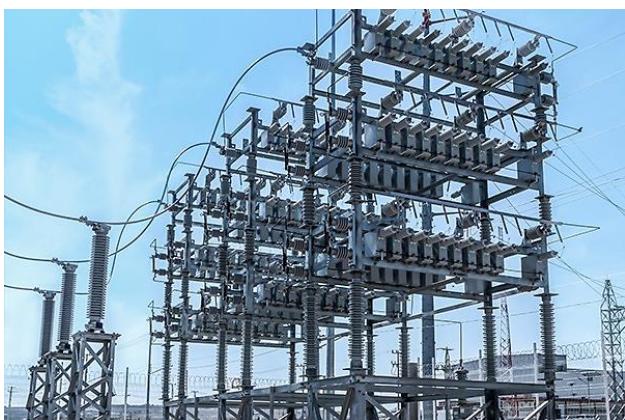
Bloque de contacto adelantado
Conecta los resistores de pre carga
y desconecta despues de 5 ms.

La unidad de precarga se
utiliza para controlar la conexión
de un banco de capacitores de
manera segura y eficiente. Su

Módulo Resistor de Descarga



Banco capacitores trifásicos en media o alta tensión





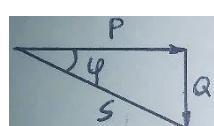
Debido a que en su **gran mayoría las cargas** que nos encontraremos **son resistivo-inductivas**, generalmente dicha corrección se lleva a cabo mediante la conexión bancos de capacitores. En determinadas ocasiones se puede aprovechar la propiedad de los motores síncronos, el cual nos permite, mediante la variación de su corriente de excitación, variar el tipo de carga que le representa a la línea: inductiva o capativa; y utilizarlo según nuestra necesidad de compensación de carga.

Como estudiamos en los temas anteriores, las pérdidas de energía eléctrica aumentan con el incremento de la corriente reactiva, siendo un indicador de estas pérdidas el bajo valor del $\cos \varphi$ y la razón por la cual las distribuidoras comandan a mantener un relativo alto valor del $\cos \varphi$. Si bien no podemos cambiar la naturaleza de las cargas y el consecuente desmejoramiento del $\cos \varphi$ de la línea, si podemos conectar a la misma cargas opuestas que mejoren dicho valor; este proceso es el que llamamos corrección del $\cos \varphi$ (o corrección del factor de potencia, pero en este caso no se está teniendo en cuenta que la línea puede contener armónicos).

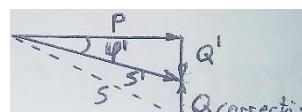
4.4.4. Cálculo para la CORRECCIÓN DEL $\cos \varphi$

La corrección del $\cos \varphi$ se hace modificando el ángulo φ , lo cual se logra modificando la componente reactiva del sistema; esto lo podemos visualizar en el triángulo de potencia, donde tenemos que:

$$\tan \varphi = Q / P \Rightarrow$$



$$Q = P \cdot \tan \varphi$$



En el triángulo con φ' (el φ corregido) tenemos que:

$$Q' = Q_{\text{Deseado}} = Q_{\text{Actual}} - Q_{\text{Correctivo}}$$



$$\Rightarrow Q_{\text{Correctivo}} = Q_{\text{Actual}} - Q_{\text{Deseado}} = |Q| - |Q'| = P \cdot |\operatorname{tg} \varphi| - P \cdot |\operatorname{tg} \varphi'|$$

$$Q_{\text{Correctivo}} = P \cdot |\Delta \operatorname{tg} \varphi|$$

Esto nos plantea dos caminos para variar el ángulo φ , según la potencia reactiva que debamos corregir:

4.4.4.1. Mediante Corrección con Capacitor (C):

En este caso buscamos disminuir o contrarrestar la potencia Reactivo *inductiva* del sistema, para lo cual deberemos introducir elementos que interpongan potencia reactivo *capacitiva*; es decir capacitores. Para encontrar el valor del capacitor que nos proporcione la potencia que requerimos para nuestro sistema:

Ya sabemos que $\text{Pot} = V \cdot I$, es decir: $\text{Pot Activa} = V \cdot I_{\text{Activa}}$ \Rightarrow

$$\text{Pot Reactiva} = Q = V \cdot I_{\text{Reactiva}} = V \cdot V/X_C = V^2 / (1/w \cdot C) \quad ; w = 2 \cdot \pi \cdot f$$

y nosotros ya calculamos la Q que queremos, que en este caso será capacitiva:

$$Q_{\text{Correctivo capacitivo}} = P \cdot |\Delta \operatorname{tg} \varphi|$$

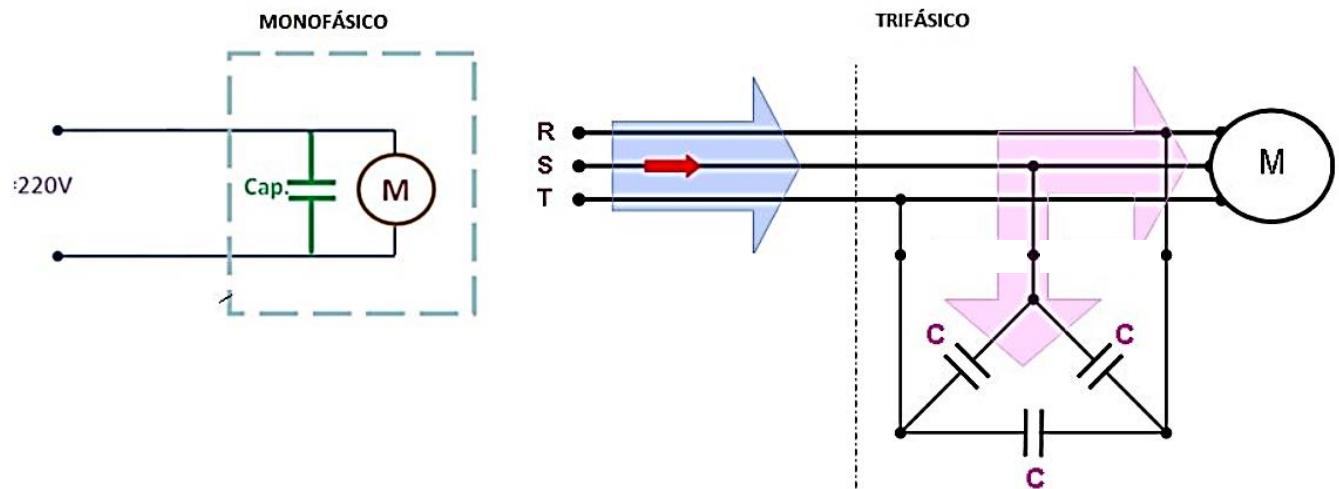
$$\Rightarrow \text{igualando ambas potencias reactivas: } P \cdot |\Delta \operatorname{tg} \varphi| = V^2 \cdot C / w$$

Despejando C :

$$C = P \cdot |\Delta \operatorname{tg} \varphi| / V^2 \cdot w \quad [F]$$



CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA CON CONDENSADORES EN PARALELO



4.4.4.2. Mediante Corrección con Inductancia (L):

Realizando el análisis análogo al caso anterior pero para compensar una potencia reactivo capacitiva; tendremos:

$$\text{Pot Reactiva} = Q = V \cdot I_{\text{Reactiva}} = V \cdot V/X_L = V^2 / (\omega \cdot L)$$

$$Q_{\text{Correctivo Inductivo}} = P \cdot |\Delta \tan \phi|$$

$$P \cdot |\Delta \tan \phi| = V^2 / (\omega \cdot L)$$

$$L = V^2 / (\omega \cdot P \cdot |\Delta \tan \phi|) \quad [\text{H} \cdot \text{m}]$$



4.4.4.3. Dónde conectar el elemento corrector del $\cos \varphi$

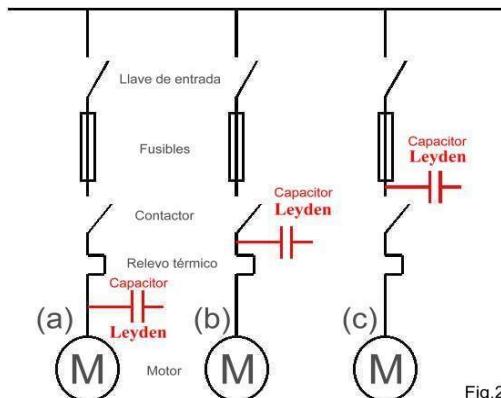


Fig.2

VER APUNTE EN TEORÍA DE UNIDAD 2

Los capacitores pueden ser conectados a cada motor y maniobrados con el motor, como se muestra en la fig. 2 (a) o (b), o pueden ser conectados permanentemente al circuito de alimentación como se muestra en la fig. 2 (c).

La mejor y más ventajosa ubicación desde un punto de vista general es la de la fig.2 (a) ó (b). En ambos casos el motor y el capacitor son maniobrados como una unidad por el elemento de maniobra del motor, en consecuencia el capacitor está siempre en servicio cuando está el motor en operación, constituyendo una compensación individual automática.

La conexión de la fig. 2 (a) puede ser usada solo en instalaciones nuevas, ya que la protección de sobrecarga del motor puede ser elegida al momento de la compra, sobre la base de la reducción de la corriente de línea y cambio de la curva de protección del motor debida al capacitor. Esta conexión exige por lo tanto, alterar la curva y ajustes de protección que normalmente establece el fabricante del motor, lo cual debe realizarse con mucho cuidado de modo que para cualquier posible sobrecarga el motor no quede desprotegido, y por otro lado no tenga falsas actuaciones.

La conexión de la fig. 2.1 (b) es la mas recomendable, tanto mejor para instalaciones existentes en función que no se debe cambiar la protección se sobrecarga, ya que la corriente a través de la protección de sobrecarga es la corriente del motor y no se altera por haber incorporado la compensación.



La conexión de la fig. 2.1 (c) es empleada cuando los capacitores están conectados permanentemente al sistema. Su ventaja principal es la eliminación de un elemento de maniobra para los capacitores, aunque en situaciones de baja carga general puede producir sobrecompensación, con efectos secundarios indeseables.

4.5. POTENCIA Y ENERGÍA

¿¿Potencia = Energía??

NO, si bien están intimamente relacionados **no son lo mismo**

Por física, sabemos que *trabajo es el desplazamiento de un cuerpo producido por una fuerza*; la cantidad de energía que se invierte en ese desplazamiento, de un punto a otro, es igual al trabajo realizado:

$W = \text{Trabajo} = \text{Energía}$ (no confundir el símbolo de trabajo: W, con la unidad de medida vatio: [w]).

En electricidad, y de forma semejante, decimos que se produce un trabajo cuando una fuente de energía hace mover una carga eléctrica “q” de un punto a otro entre los que hay una diferencia de potencial V:

$$W = \text{Trabajo} = V \cdot q = W_{\text{eléctrico}}$$

Si en vez de mover una sola carga se mueve una cantidad de cargas Q, tendremos una I, y si también tomamos en cuenta el tiempo durante el cual lo hacemos, la expresión anterior se convierte en:

$$W = V \cdot Q = V \cdot I \cdot t = P \cdot t = \text{Energía [Wh] o trabajo eléctrico}$$



donde llamamos Energía a la potencia consumida en cierto tiempo, teniendo por unidad el [Wh]; y denominamos Potencia a la velocidad con la cual la energía se consume, genera, transporta o almacena (p/seg, o instantánea si consideramos la hora de la energía); la misma tiene por símbolo la P, por unidad el Vatio [w] y su expresión será:

$$P = V \cdot I [w]$$

Como vemos existe una íntima relación entre ambas ya que mientras la energía es la capacidad del sistema para realizar un trabajo, la potencia es la velocidad con la que el sistema realiza ese trabajo; pudiendo el sistema ser eléctrico, mecánico, térmico, etc.

Si hablásemos de una batería, la misma tendrá una capacidad de realizar trabajo según su carga, es decir según la energía potencial acumulada. Los datos de una batería estándar de alarma de casa son 12V 7AH, esto significa que la batería podrá entregarte en 12V, 7A durante 1 hs, ó dicho de otra forma, entregar 84Wh en 12V. Esto significa que la batería puede sostener los 12v durante:

1hs hasta alcanzar los 84wh de consumo => entrega 7Ah

2hs hasta alcanzar los 84wh de consumo => entrega 3,5 Ah

$\frac{1}{2}$ hs hasta alcanzar los 84wh de consumo => entrega 14 Ah (esto es en teoría ya que habrá que corroborar si físicamente la batería es capaz de entregar ese pico de corriente)

Ejemplo:

Un calentador de tabletas insecticidas tiene una Potencia de 4 W, entonces el trabajo que puede realizar durante 15 minutos es de 1 Wh, es decir la Energía utilizada o consumida por él en $\frac{1}{4}$ de hora: $4 \text{ W} \cdot \frac{1}{4} \text{ h} = 1 \text{ Wh}$. Dicho de otra forma, es el trabajo realizado, o energía consumida, por el calentador en $\frac{1}{4}$ de hora.



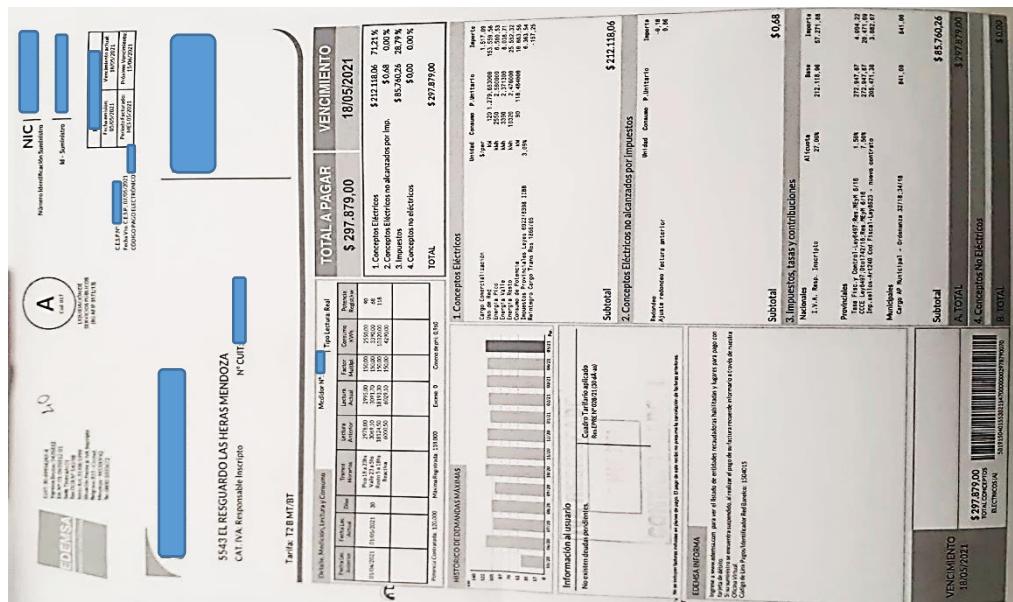
4.6. FACTURACIÓN ELÉCTRICA

4.6.1. Industrial

CLAVES

- 1 Identificación.** Es el número que identifica al usuario.
 - 2 Nombre de titular y usuario.** Menciona al dueño del inmueble y a quien paga el servicio.
 - 3 Monto.** Es el total a pagar.
 - 4 Detalles.** Diferencia conceptos eléctricos e impuestos.
 - 5 Otros importes.** Detalla los conceptos "no eléctricos".
 - 6 Consumo.** Se detalla la medición, lectura y consumo.
 - 7 Gráfico.** Muestra la evolución del consumo eléctrico.
 - 8 Deudas.** Informa las facturas vencidas y el cuadro tarifario.
 - 9 Vencimientos.** Un código de barra permite cancelar el total de la factura y el otro adelantar el pago de los conceptos eléctricos.

Factura de energía real de una empresa en Mendoza (trifásica industrial).





Alumno:

Pág:

4.6.1.1. Desglose:

2.10.1.1.1 (1) Identificación y (2) Datos del Usuario

The screenshot shows a scanned document of an electricity bill. At the top left is the EDEMSA logo. To the right is a circular seal with the letter 'A' and 'Cód. 811'. Below the seal is the text 'LLENACION DE SERVICIOS PÚBLICOS (BIAFIP 2575/18)'. On the right side, there's a section for 'NIC' (Número Identificación Suministro) and 'Id - Suministro' (both with blue redacted boxes). Below this are fields for 'Fecha-emisión' (05/05/2021), 'Vencimiento actual' (16/05/2021), 'Periodo Facturado' (MES 05/2021), and 'Próximo Vencimiento' (15/06/2021). In the center, it says '5543 EL RESGUARDO LAS HERAS MENDOZA' and 'CAT. IVA: Responsable Inscripto'. To the right is 'Nº CUIT' (with a blue redacted box). A bracket on the left points to a box containing '21 % Consumidor final. Usuario residencial', '27 % Responsable inscripto', and '27+ 13,5% No Inscriptos'.

2.10.1.1.2 (6) Lectura y Consumos

Factura de energía de una empresa industrial en Mendoza

Detalle, Medición, Lectura y Consumo				Medidor N°: [REDACTED]		Tipo Lectura: Real		
Fecha Lec. Anterior	Fecha Lec. Actual	Días	Tramos Horarios	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor Multipl.	Consumo KWh	Potencia Regist.kw
01/04/2021	01/05/2021	30	Pico 18 a 23hs Valle 23 a 5hs Resto 5 a 18hs Reactiva	2978,00 3069,10 18124,50 6000,50	2995,00 3091,70 18193,30 6029,10	150,00 150,00 150,00 150,00	2550,00 3390,00 10320,00 4290,00	90 68 118
Potencia Contratada: 120.000			Máxima Registrada: 118.000			Exceso: 0		
						Coseno de phi: 0,960		

Factura de energía de un pozo para riego en Mendoza (trifásica).

Detalle, Medición, Lectura y Consumo				Medidor N°: 144438 Tipo Lectura: Real			
Fecha Lec. Anterior	Fecha Lec. Actual	Días	Tramos Horarios	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor Multipl.	Consumo KWh
01/08/2019	01/09/2019	31	Alta 14 a 23hs Baja 23 a 14hs Reactiva	38982,90 70317,80 24768,20	39261,60 70847,10 25296,20	1,00 1,00 1,00	279,00 529,00 528,00
Potencia Contratada: 0,600							



Bandas Horarias: para usuarios con tarifa T1, T2 y G la energía se factura sin distinción del horario en que se consume. Para tarifa T3 (**usuarios industriales**), la energía se factura en tres bandas horarias durante el día:

- **Horas pico** (o punta): Horas durante las cuales el sistema está muy solicitado y, por ende, más caro. En general de 18 hs a 23 hs.
- **Horas valle** (o nocturnas): Horas durante las cuales el sistema está menos solicitado y, por ende, más barato. De 23 hs a 5 hs.
- **Horas resto:** El resto de las horas que no corresponden a ninguna de las otras dos categorías, con costo intermedio. De 5 hs a 18 hs.

Para **riego agrícola** se segmenta en dos bandas horarias: **Alta**, desde las 14hs hasta las 23 hs; **Baja**, desde las 23hs a las 14hs. El Kwh en tarifa baja es un 40% mas económico que en alta.

Esta distinción de costos según la hora es para descongestionar las líneas eléctricas en los horarios de mayor demanda; de esta forma todo consumo que se pueda realizar en horarios donde es más barato el Kw significara un ahorro en la factura de energía para el usuario y en una optimización de uso de la red de distribución para la distribuidora.

Por ejemplo, todo proceso de calentamiento, como el de un horno eléctrico para templado de vidrios (llega a 700°C) durante la madrugada, antes de que el personal ingrese, significará un ahorro monetario en la factura de luz.

Potencia contratada: en grandes demandas es necesario especificar la potencia requerida y durante que mese se requiere; es decir se puede segmentar la contratación de potencia para ahorrar en los costos fijos de la factura de energía y liberar durante el período de bajo consumo la energía excedente para otros



usuarios. Caso típico es el de las bodegas, que durante la época de cosecha trabajan a toda capacidad y luego, el resto del año, el consumo es mínimo ya que el vino ya está procesado y se está añejando en toneles, barrica o tanques.

2.10.1.1.3 (4) Detalle del Consumo Eléctricos

Factura de energía real de una empresa industrial en Mendoza

1. Conceptos Eléctricos

	Unidad	Consumo	P.Unitario	Importe
Cargo Comercialización	\$/per			1.517,09
Uso de Red	kW	120	1.279,663000	153.559,56
Energía Pico	kWh	2550	2,580600	6.580,53
Energía Valle	kWh	3390	2,371300	8.038,71
Energía Resto	kWh	10320	2,476000	25.552,32
Consumo de Potencia	kW	90	118,484000	10.663,56
Impuestos Provinciales Leyes 6922/8398 IIBB		3,09%		6.363,54
Reintegro Cargo Trans Res 1866/05				-157,25

Factura de energía de un pozo para riego en Mendoza (trifásica)

1. Conceptos Eléctricos

	Unidad	Consumo	P.Unitario	Importe
Cargo Comercialización	\$/per			645,80
Uso de Red	kW	8	80,408000	643,26
Energía Alta	kWh	223	3,766300	839,88
Energía Alta Excedida	kWh	56	3,766300	210,91
Energía Baja	kWh	423	2,388600	1.010,38
Energía Baja Excedida	kWh	106	2,388600	253,19
Cargo Transitorio Res. SE 1866/05 FONINVEMEM	kWh	808	0,004107	3,31
Exceso de Potencia	kW	14	80,408000	1.125,71
Recargo Factor Potencia	kVAh	27	2,150000	58,05

- El $\cos \phi$ es un número ≤ 1 , y está relacionado a la cantidad de potencia reactiva:
 - Usuarios con potencia contratada ≤ 100 Kw deben tener un $\cos \phi \geq 0,85$
 - Usuarios con potencia contratada > 100 Kw deben tener un $\cos \phi \geq 0,95$
 - El “uso de red” es un cargo fijo y tiene que ver con la potencia que contratamos y que la distribuidora nos reserva de su capacidad total; es un importe fijo que se paga se utilice o no (como cuando contrata un servicio de tv satelital, el mismo se paga lo utilice o no).
 - Los valores máximos y/o mínimos de los parámetros eléctricos, en función de los cuales les cobrarán penalizaciones por no respetarlos, quedan registrados cuando se los ha tenido por mas de 15 minutos



corridos. Por ejemplo: excesos en la potencia consumida (Kw); así como un como el bajo $\cos \varphi$, que genera un exceso de energía reactiva consumida (“recargo factor de potencia” [KVArh]).

- Los cargos de energía Pico, Resto, Valle, Alta y Baja, corresponden a la **energía** consumida en las respectivas bandas horarias, y se facturan de acuerdo al valor unitario del Kwh en ese horario.
- El consumo de potencia (Kw), que se factura en régimen industrial y no agrícola, corresponde al máximo de potencia consumido en el horario pico solamente. En caso de exceder la potencia contratada se nos facturará ese exceso de **potencia (Kw)** y de persistir en el tiempo se nos intimará a iniciar el trámite de recategorización. En la facturación agrícola nos facturarán los excesos de **energía (Kwh)** además del de potencia.

2.10.1.1.4 (5) Otros Importes

3. Impuestos, tasas y contribuciones			
Nacionales			
I.V.A. Resp. Inscripto	Alícuota 27,00%	Base 212.118,06	Importe 57.271,88
Provinciales			
Tasa Fisc.y Control-Ley6497;Res.MEyM 6/16	1,50%	272.947,87	4.094,22
CCCE Ley6497;Dto1742/16;Res.MEyM 6/16	7,50%	272.947,87	20.471,09
Imp.sellos-Art240 Cod Fiscal-Ley8523 - nuevo contrato		205.471,30	3.082,07
Municipales			
Cargo AP Municipal - Ordenanza 32/18;34/18		841,00	841,00



Alumno:

Pág:

4.6.2. Domiciliaria



CUIT: 30-69954245-4
Ingresos Brutos: 0415812
Ext. N°: 01-04035312-01
Sede Timbrado C1.
Res.DGR N° 590/98
Inicio Act. 31/03/1998
Situación Jurídica FVA Inscripción
Belgrano 815 - Ciudad
Mendoza - M5500FQ
Tel: 0600-3033672



Nº Identificación Suministro
NIC | 1055

Id. - Suministro

11055

FACTURA N°: 0003-242	
Fecha emisión: 01/08/2023	Vencimiento actual: Ver Talón
Periodo Facturado: 01/04/2023	Próximo Vencimiento: 07/10/2023
CÓDIGO PAGO ELECTRÓNICO 1055643	

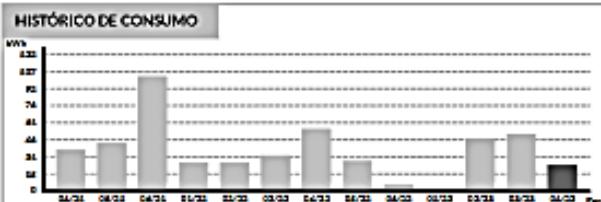
C.E.S.P.NP: 34304004791584
Fecha Vto. C.E.S.P.: 07/08/2023
CÓDIGO PAGO ELECTRÓNICO 1055643

Domicilio suministro:
CL PANAMERICANA
5509 VISTALBA LUJAN DE CUYO MENDOZA
Id Factura: 10555

5521 VILLA NUEVA GUAYMALLEN MENDOZA
CAT. IVA: Consumidor final
Nº CUIT:

Tarifa: T1R1-N2-T1 Res. Sub Rural

Detalle, Medición, Lectura y Consumo								Medidor N°: 3402131 Tipo Lectura: Real	TOTAL A PAGAR		VENCIMIENTO	
Fecha Lic. Anterior	Fecha Lic. Actual	Días	Tramos Horarios	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor Multpl.	Consumo kWh	Fecha Registruv.	\$ 2.109,00	Ver Talón		
01/04/2023	31/07/2023	90	Energía Activa	1226,00	1226,00	1,00	33,00					





En la factura eléctrica domiciliaria NO HAY BANDAS HORARIAS de tarifa eléctrica, se cobra una única tarifa; SÓLO SE MIDE POTENCIA ACTIVA, por lo que NO SE MIDE $\cos \varphi$; si bien al momento de contratar el servicio se debe especificar la potencia total requerida, aquí NO FIGURA POTENCIA CONTRATADA NI USO DE RED, por lo que no se cobran excesos (mientras estemos en el rango de potencias domiciliarias: ≤ 14 KW). Tampoco se puede contratar potencias estacionales como en la industria de frutos de temporada: 120 KW en época de cosecha y 20 KW el resto de los meses, por ejemplo.

Estas diferencias con la factura industrial las veremos reflejadas en la ausencia de los correspondientes items en las secciones 4 (Detalles) y 6 (Consumos).

Tarifa: T1R1-N2-T1 Res. Sub Rural

Detalle, Medición, Lectura y Consumo				Medidor N°: [REDACTED]		Tipo Lectura: Real		
Fecha Lec. Anterior	Fecha Lec. Actual	Días	Tramos Horarios	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor Multipl.	Consumo KWh	Potencia Regist.kw
01/06/2023	31/07/2023	60	Energía Activa	1235,00	1258,00	1,00	23,00	

1. Conceptos Eléctricos

	Unidad	Consumo	P.Unitario	Importe
Cargo Fijo	\$ /per			389,63
Cargo Variable	kWh	23	34,180100	786,14
Consumo mínimo	kWh	22	34,180100	751,96
Subsidio Estado Nacional				-1.140,21
Subsidio Residencial Rural				-157,50
Impuestos Provinciales Leyes 6922/8398 IIBB	3,09%			19,49



4.6.3. Cálculo del f.d.p. medio de una instalación

Algunas instalaciones antiguas cuentan a la entrada con dos contadores de energía, uno de energía reactiva (kVArh) y otro de energía activa (kWh). Con la lectura de ambos contadores podemos obtener el factor de potencia medio de la instalación, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{f.d.p.} = \cos\left(\tan^{-1} \frac{\text{kVArh}}{\text{kWh}}\right)$$

Hoy en día los medidores digitales y microprocesador permiten obtener toda esta información en un solo medidor, además de otros parámetros eléctricos.



Medid



C
ircuito



Medid

Medidor



Energía Solar

<https://solar-energia.net/>

Solar Energía, el portal de la energía solar

Solar Energía es un sitio web centrado en la difusión de todo lo que se refiere al aprovechamiento de la energía del Sol.

El término energía solar se refiere al aprovechamiento de la energía que proviene del Sol. Mediante la instalación de paneles solares y otros sistemas se puede utilizar para obtener energía térmica o para la generación eléctrica.

Se trata de una fuente de energía renovable ya que se considera inagotable a escala humana. Por lo tanto, es una alternativa a los combustibles fósiles sin la emisión de gases contaminantes en la atmósfera terrestre.

¿Qué puedes encontrar en Solar Energía? En este sitio web ofrecemos información sobre la energía solar y algunos aspectos físicos relacionados con esta fuente de energía.

5. ¿Qué es la energía solar?

La energía solar es la energía contenida en la radiación solar. El origen de la energía que emite el Sol se debe a las reacciones de fusión nuclear que se producen en el núcleo de la estrella del sistema solar. La radiación viaja hacia la Tierra mediante la radiación electromagnética y, posteriormente, puede ser aprovechada.

En este apartado analizamos los conceptos generales de la energía solar tales como:

- La definición del concepto de radiación solar.
- Las ventajas y desventajas de la utilización de instalaciones de energía solar.
- Ejemplos de energía solar: presentamos algunos ejemplos en los que se utiliza esta energía para obtener energía térmica o electricidad tanto en el día a día como en el mundo industrial.
- Tipos de energía solar: explicamos las diferentes formas en que se puede aprovechar la energía del Sol.

6. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se utiliza para producir electricidad. Este tipo de instalaciones fotovoltaicas están formadas por paneles solares fotovoltaicos. Estos paneles se componen de



celdas solares que generan un movimiento de electrones cuando los fotones de luz inciden sobre ellas.

En esta sección explicamos los siguientes conceptos:

- Características de instalaciones eléctricas conectadas a la red e instalaciones autónomas.
- Elementos esenciales para una instalación solar fotovoltaica.
- En qué consiste el efecto fotovoltaico que convierte la luz en una corriente eléctrica.

7. Energía solar térmica

La energía solar térmica es otra forma de aprovechar la radiación solar para obtener calor. El principio de funcionamiento se basa en utilizar colectores solares para aumentar la temperatura de un fluido caloportador aumentando su energía interna.

En este apartado analizamos los siguientes conceptos:

- Usos y aplicaciones de esta tecnología: ejemplos del uso de la energía solar térmica.
- Tipos de plantas termosolares: estas plantas se clasifican por temperaturas dependiendo de la aplicación para la que están diseñadas
- Componentes esenciales en este tipo de instalaciones.

8. Fuentes de energía

La energía solar es una fuente de energía renovable. En este apartado abordamos las diferentes formas de obtener energía. En este apartado podrás encontrar información sobre:

- Energías renovables: además de la energía solar, existen muchas otras fuentes de energía renovables. En esta sección listamos los diferentes tipos de recursos renovables para obtener electricidad.
- Energías no renovables: definición y características de los recursos energéticos que no se regeneran por sí solos. Explicamos de forma sencilla qué son los combustibles fósiles y cómo se aprovechan para obtener energía eléctrica o mecánica.

9. Electricidad

El propósito de la energía solar fotovoltaica es la obtención de electricidad. Por ello, es necesario conocer los aspectos básicos de la electricidad. En esta sección podrás encontrar información acerca de:



Alumno:

Pág:

- Los diferentes [tipos de electricidad](#).
- Las [leyes de la electricidad](#): descripción sencilla de las principales leyes, principios y teoremas que regulan la electricidad.
- Conceptos básicos tales como: corriente eléctrica, circuitos y campos eléctricos.

Energía solar Fotovoltaica



9.1. Contador de Energía Activa Monofásico: (ME PARECE QUE ES PARA 5^{TO} ESTO)

Expresar el funcionamiento de los campos magnéticos sobre el plato (así vinculo con la primer unidad)

(lo necesito para explicar teorema de Blondel en siguiente unidad. Dar solo una reseña de cómo funciona, necesito presentarlo como un vatímetro acumulativo, es decir que tienen una rama voltmétrica y una amperométrica...)

Hablar del neutro, de por qué me lo suministra edemsa ya que si yo clavo una jabalina puedo hacer mi neutro; pero qué pasaría en ese caso en los medidores viejos y en los medidores nuevos...

Poner formula integral de energía

Este es un instrumento eléctrico que mide y registra la integral con respecto al tiempo, de la potencia activa del circuito en que se conecta. **Esta integral de la potencia es la energía consumida por el circuito durante el intervalo de tiempo en que se realiza.**

Este es el instrumento que utilizan las compañías distribuidoras de energía eléctrica para cobrar la energía que consumimos en nuestros domicilios. Tradicionalmente ha sido electromecánico y unidireccional; es decir que cuenta *toda* la energía que pasa por él, sin importar si la consumimos o la generamos). Hoy en día, con la inclusión de la electrónica, bidireccionales y con mayores prestaciones que solo contar la potencia consumida.

Los Contadores bidireccionales son utilizados cuando el domicilio donde se instalan es de un usuario generador, denominados “Prosumidores” en nuestra legislación; es decir cuando el usuario por momentos consume energía de la red y por momentos suministra energía a la red, ya que cuenta con un sistema de generación propio (fotovoltaico principalmente, aunque puede ser eólico, hidroeléctrico, motogenerador, etc...)

9.1.1. MEDIDORES O CONTADORES DE ENERGIA ELECTRICA



Alumno:

Pág:

Este es un instrumento eléctrico que mide y registra la integral con respecto al tiempo, de la potencia activa del circuito en que se conecta. Esta integral de potencia es la energía consumida por el circuito durante el intervalo de tiempo en que se realiza.

Generalmente no se encuentra en los laboratorios pero es muy usual verlos en cada domicilio, este es el instrumento que utilizan las compañías para cobrar la energía que consumimos

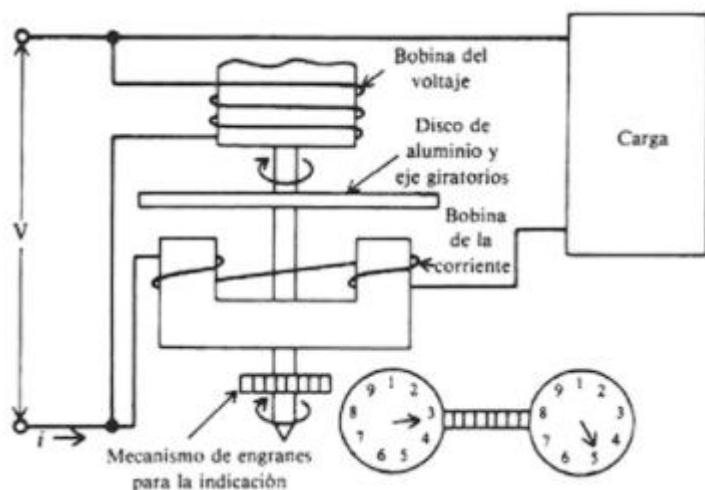
Hay diferentes tipos, existen los electromagnéticos, los electrónicos; también hay algunos más adelantados y permiten medición eléctrica bidireccional, mientras que hay otros que solamente permiten la medición eléctrica de una única dirección.

El medidor que permite la medición eléctrica bidireccional, sirve para cuando la persona es un usuario generador, es decir, para una persona que genera energía con paneles solares o cualquier tipo de energía limpia.

9.1.2. Contador Analógico de Energía Activa

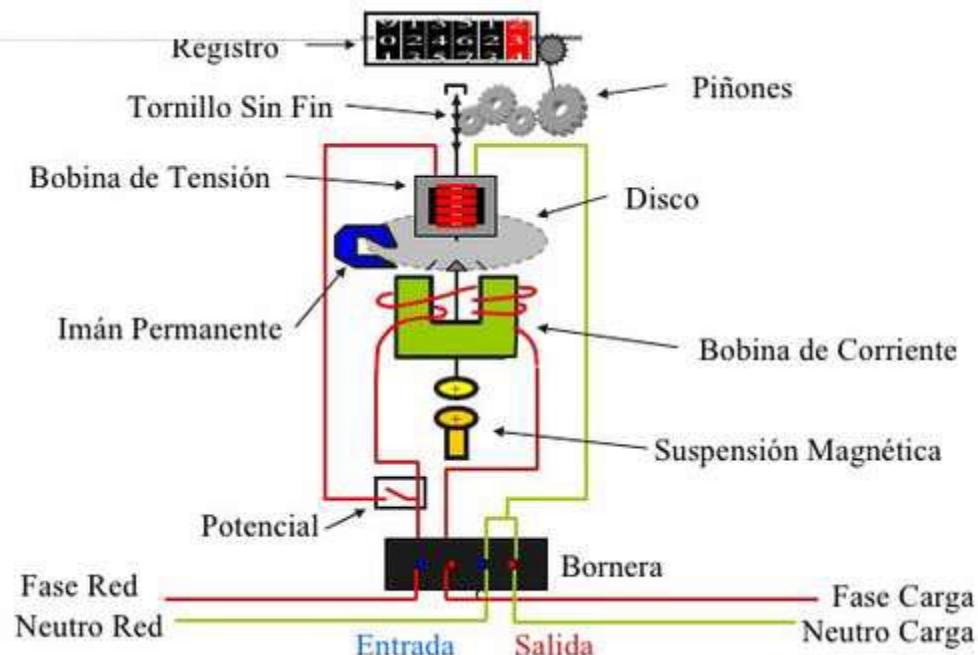
Este tiene un disco con dos bobinas, una de tensión y otra de corriente que permiten a su vez, ajustado a un eje, que se realice un movimiento y pueda así, mediante el giro del disco, determinar la cantidad de energía

Se puede ver en esta vista que el medidor contiene una bobina de corriente que se encuentra en serie con la línea y también tenemos una bobina de voltaje, que se encuentra conectada entre la línea

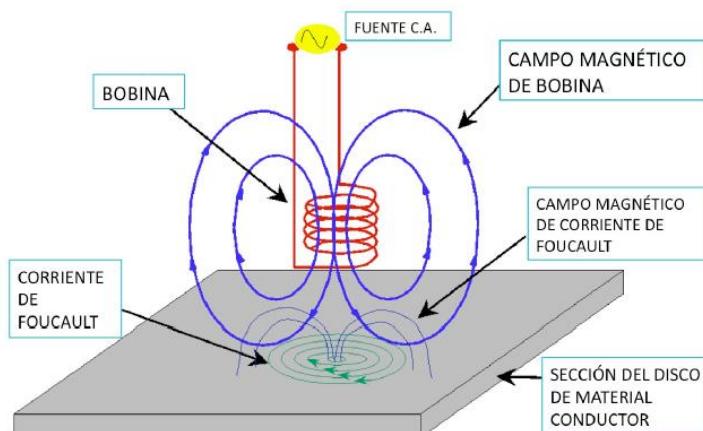




Toda esta parte mecánica es parte de un núcleo magnético que usualmente está partido en una serie de pequeñas porciones para evitar así corrientes de fuga o corrientes de foucault que es una pérdida interna de los núcleos magnéticos.



Ambas bobinas son devanadas en un marco metálico de un diseño especial con lo que se llega a tener dos circuitos magnéticos.



La bobina de tensión tiene muchas espiras y muy alta inductancia, a esa bobina se aplica la tensión de la red que alimenta al receptor, la bobina de corriente tiene pocas espiras, es de gran sección y muy baja impedancia, intercalada en serie con el consumidor.

La bobina de tensión genera un flujo magnético \emptyset_V proporcional a la tensión V y la bobina de corriente, por el cual circula corriente del consumidor, produce un flujo



magnético $\varnothing I$. El disco móvil corta las líneas de fuerza del campo magnético creado por los electroimanes (bobinas), por lo que en su superficie se generan corrientes de Foucault en la superficie están sujetas a la fuerza del campo magnético, en este momento el disco obtiene un par y comienza a girar, cuanto mayor sea la potencia que coma la carga, mayor va a ser la corriente a través de la bobina y así va a ser mayor la corriente inducida en el disco, y así va a ser mayor la velocidad del disco.

Su funcionamiento se basa en el principio de Ferraris, que dice que si sobre un conductor que pueda girar actúan dos campos magnéticos que estén apartados geométricamente y que tengan entre sí un desfase eléctrico, el conductor se pondrá en movimiento.

. El número de vueltas del disco es proporcional a la energía consumida por la carga en un determinado periodo de tiempo y se mide en kWh, la energía eléctrica es especificada en watts-hora debido a que es de uso común en la industria y a demás por que los W es la unidad de medida de la potencia.



El eje del disco se conecta a través de un sistema de engranajes a un mecanismo de relojería, que se encuentra situado en el frente del medidor, esto proporciona una lectura calibrada en forma decimal de números de kilovatios hora.

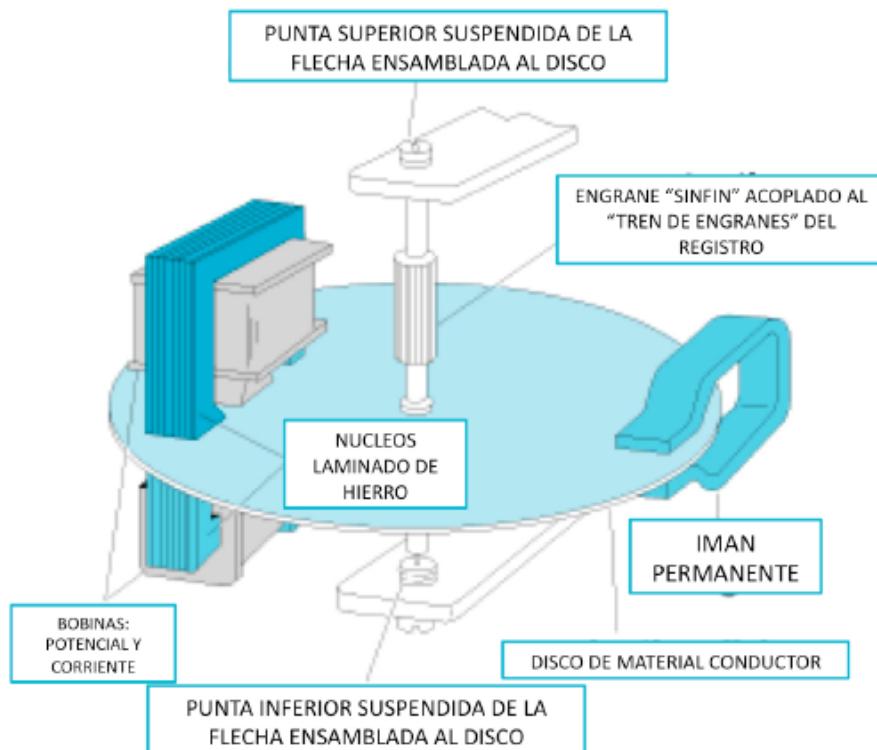
Cuando un determinado usuario deja de utilizar potencia el disco del medidor deberá frenar evitando así integraciones erróneas, considerando que el disco está "flotando" entre los imanes, lo cual elimina cualquier efecto de fricción, cuando el usuario deja de utilizar potencia, el disco va a seguir girando debido a la propia inercia. Para evitar esta situación y hacer proporcional la integración del medidor con la utilización de la carga por parte del usuario; es necesario la utilización de



Alumno:

Pág:

imanes permanentes con la función de incluir un par de frenado.



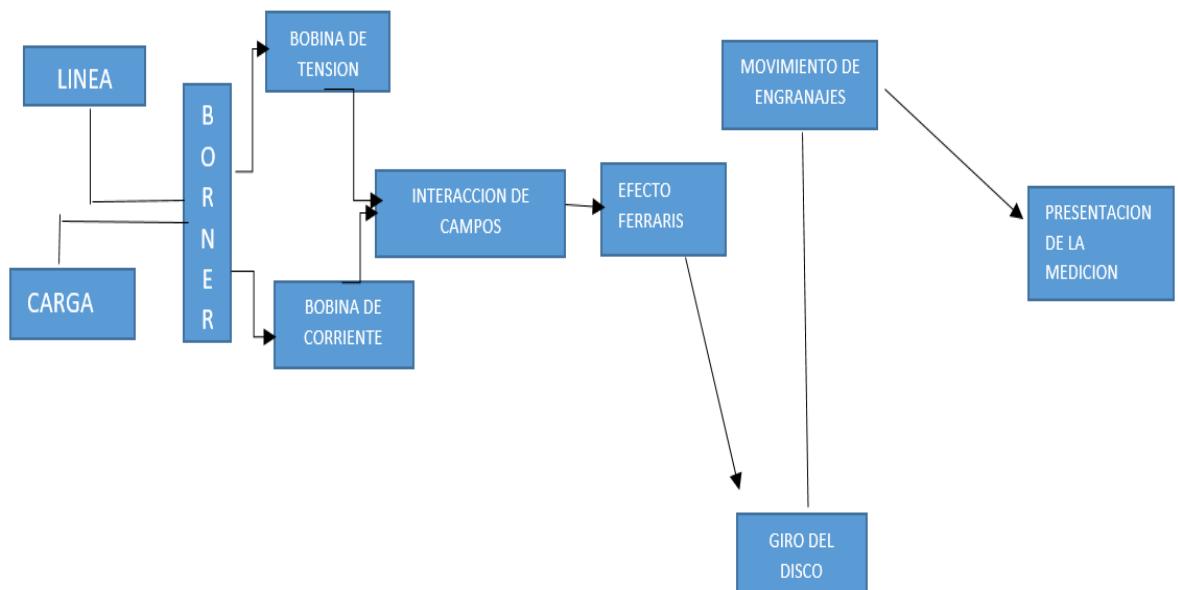
Estos imanes se usan para inducir o proveer una fuerza de frenado que es proporcional a la velocidad del disco, la fuerza magnética de estos imanes regulan la velocidad del disco para cualquier carga dada, de esta manera que cada revolución del disco siempre mide la misma cantidad de vatios.

El imán permanente como vimos en la imagen anterior abraza al disco, esto produce un flujo magnético que incide sobre las corrientes de Foucault, produciendo un par de frenado, la velocidad del disco se va a aumentar o disminuir cuando aumentemos potencia consumida por la carga.

9.1.2.1. DIAGRAMA

EN

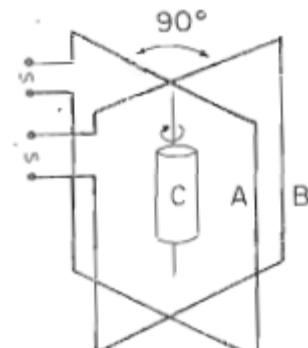
BLOQUE



La línea y la carga entran en la bornera, y van desde la bornera hasta la bobina de tensión y la bobina de corriente, (la carga va a la bobina de corriente y la línea a la bobina de tensión), se producen en dichas bobinas campos magnéticos debido al flujo de corriente en las bobinas, estos campos magnéticos que están con un entrehierro interactúan entre sí. Las líneas de campo cortan el disco y generan corrientes de foucault. se produce el efecto ferraris, comienza a girar el disco, se mueven los engranajes y se presenta la medición de la energía

9.1.2.2. PRINCIPIO DE FERRARIS

Galileo ferraris demostró la existencia del flujo magnético giratorio que tiene la propiedad de arrastrar en movimiento giratorio una masa metálica. Como un instrumento sencillo formado por 2 circuitos dispuestos en ángulo recto entre sí



y en el medio un pequeño tambor pendiente de un hilo.



Los dos circuitos van a estar alimentados por corrientes alternas y van a estar desfasadas Fisicamente entre sí 90° .

La reacción de las corrientes inducidas y los flujos magnéticos que los producen crean un par motor en el cilindro metálico.

El campo magnético así producido puede compararse con el campo de una sola bobina que está conectada a una fuente de corriente continua que gira alrededor de un eje perpendicular al eje del campo.

El par motor producido por el campo giratorio depende de la magnitud de flujos alternos $\emptyset 1$ y $\emptyset 2$ que producen las bobinas.

$$M = c \emptyset 1 \times \emptyset 2 \times F \times \sin \alpha$$

Donde $\emptyset 1$ y $\emptyset 2$ son los flujos magnéticos de ambas bobinas

F es la frecuencia común de ambos flujos

α es el ángulo entre los dos flujos, igual al desfase de las corrientes

C es una constante.

Como la frecuencia f es constante, resulta que el momento M es proporcional solamente a la variación de los dos flujos y de ahí a la variación de las dos corrientes que circulan por las bobinas A y B



9.1.3. Contadores digitales:

Un contador es un circuito secuencial construido a partir de bistables y puertas lógicas capaces de almacenar y contar los impulsos, que recibe en la



Alumno:

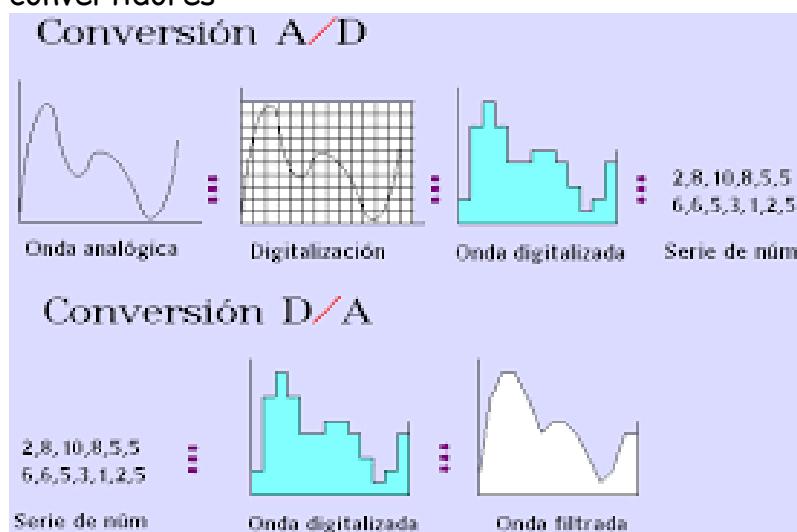
Pág:

entrada destinada a tal efecto, así mismo también actúa como divisor de frecuencia.

9.1.3.1. FUNCIONAMIENTO

En el módulo de medición se toma la medida o la magnitud de la señal análoga.

Las señales análogas obtenidas se convierten en los códigos digitales en los convertidores analógico-digital



Para la medición de corriente se van a usar transformadores precisos de corriente y para la tensión los divisores resistivos de tensión

En el microcontrolador los códigos digitales se multiplican por las constantes de calibración obteniendo los valores de potencia promedia $P(t)$. En los medidores que miden energía reactiva para el cálculo de la energía reactiva se utiliza el valor de tensión con desplazamiento de fase por 90° .

Integrando valores de potencia se obtienen valores de energía. Los valores obtenidos se guardan en los registros de respectivas tarifas de potencia y energía de el medidor de acuerdo con el programa tarifario vigente. El microcontrolador del medidor también realiza el mando de la pantalla de cristal líquido (LCD), interfaces de comunicación, módulo de tarifas y reloj interno

Para almacenamiento de los datos el medidor tiene un módulo de memoria no volátil EEPROM en que se guardan los datos medidos, parámetros del medidor y la



información sobre los eventos. Los datos guardados en la EEPROM al desconectar la tensión de alimentación se almacenan como mínimo 20 años (a temperatura de ambiente de -20°C a +70°C).

El medidor cuenta con una pantalla de cristal líquido que tiene 84 segmentos controlables. La pantalla de cristal líquido del medidor permite desplegar los datos almacenados en la memoria del medidor y las constantes programadas.



9.1.3.2. Comprobacion de funcionamiento

El medidor digital tiene una luz que proporciona información principal sobre el dispositivo.

- Si esta luz está apagada, significa que no hay suministro eléctrico.
- Si esta luz parpadea de forma continua, significa que se está produciendo un consumo eléctrico. Un parpadeo de la luz muy rápido indica que el consumo eléctrico se ha disparado.
- Por último, si sale una luz fija de color rojo en el medidor de luz digital, en algunos modelos de contadores significa que has superado la potencia contratada y el suministro se interrumpe.

9.1.3.3. Partes de un contador digital:

Un contador de potencia inteligente tiene las siguientes partes:



- Pantalla de lectura: nos muestra información sobre el consumo eléctrico y el estado de la potencia contratada.



- Indicador de consumo: es el encargado de asegurarnos que el contador está recibiendo datos sobre el consumo realizado. Cuanto mayor sea este parpadeo quiere decir que mayor consumo eléctrico tenemos en la vivienda.
- Botón de bloqueo: es el equivalente al ICP (Interruptor de control de potencia), este botón saltará cuando la potencia se haya superado. Cuando esto ocurre, lo normal es mantener presionado el botón durante 5 segundos y reiniciar el medidor eléctrico



- Número de serie o identificación: el número asociado a tu contrato con la compañía eléctrica.

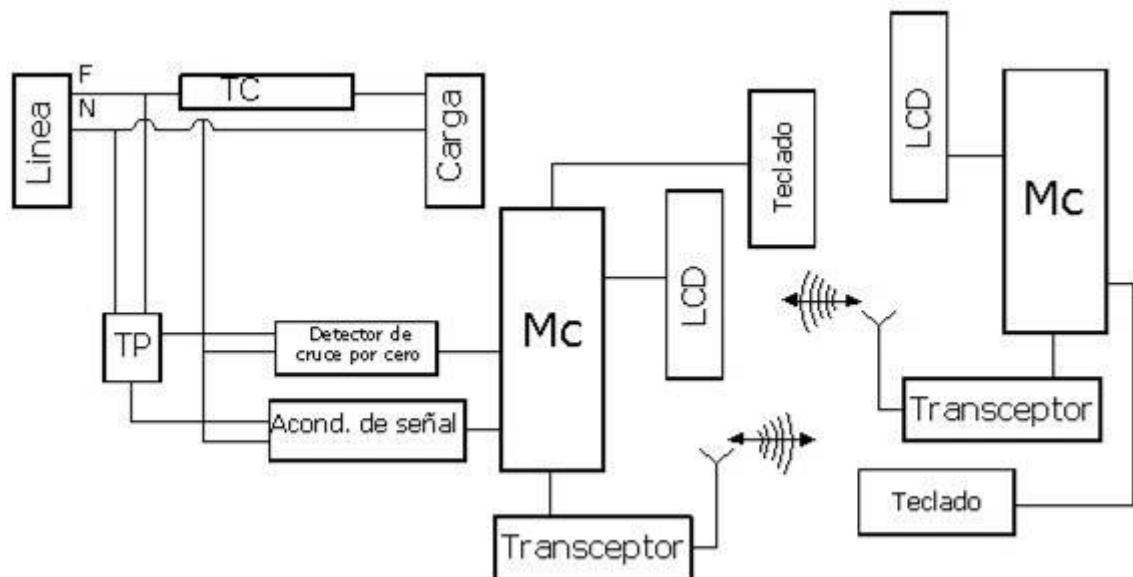
9.1.3.4. Ventajas de los medidores de luz digitales

- Posibilitan una rápida identificación de problemas y averías cuya solución, por consiguiente, será más rápida.
- Ofrecen una sencilla opción de modificar la potencia contratada de forma remota, sin que tenga que acudir un técnico.



- Proporcionan una mayor seguridad para evitar manipulaciones, puesto que el medidor inteligente está monitorizado de forma continua y automática.

9.1.3.5. DIAGRAMA EN BLOQUE MEDIDOR DIGITAL



El contador digital toma datos de la línea, en este caso la tensión e intensidad a medir, en el sensado de señales se cuenta con un transformador de tensión "TV" y un transformador de corriente "TI", y tienen la tarea de muestrear la señal de voltaje y corriente respectivamente.

La etapa anterior es la que se necesita para realizar el acondicionamiento de la señal antes de que entre al microcontrolador. En el acondicionamiento de la señal, entra la señal y en la salida se coloca un filtro, para acondicionar la señal de entrada.

En el MC o microcontrolador convierte la señal análoga en digital, y va a procesar la información de los transformadores de corriente y los transformadores de tensión.

Los datos en el medidor se presentarán en una pantalla de cristal líquido LCD, recibiendo la información procesada del microcontrolador, en el cual se realiza un programa para efectuar la comunicación entre ellos.

Los datos se almacenarán en la memoria del microcontrolador que es una memoria RAM



9.1.4. DIFERENCIAS ENTRE CONTADORES DIGITALES Y ANALÓGICOS.

El medidor de energía analógico adopta el principio del ratán electromagnético para convertir el voltaje, la corriente y la fase en un par magnético, lo que empuja al disco de aluminio a girar. El proceso de rotación es el proceso de acumulación de tiempo. Por lo tanto, los beneficios de los medidores de energía inductiva son intuitivos, dinámicos y continuos, sin perder potencia.

En cambio los medidores electrónicos de energía utilizan circuitos analógicos o digitales para obtener el producto de los vectores de voltaje y corriente, y luego realizan la función de medición de energía a través de circuitos analógicos o digitales. En comparación con los medidores mecánicos tradicionales de vatios-hora, los medidores electrónicos de vatios-hora pueden realizar tres funciones importantes de registro del tiempo de consumo de electricidad, prepago, lectura automática del medidor, y tienen alta precisión, bajo consumo de energía, detección de bajo factor de potencia y potencia activa precisa. Características funcionales como la medición de potencia y la detección de conexión anti-aleatoria. Realicé la administración inteligente de energía e implementé la lectura y facturación de contadores centralizados automáticos remotos.

Contadores digitales	Contadores analógicos
Cualquier gestión se puede realizar a través de la telegestión.	Para realizar alguna modificación, es necesario que se desplace un técnico
Es compatible con tarifas con discriminación horaria	No admite una tarifa nocturna
La medición es fácil de leer y se toma cada 60 segundos	La medición se toma cada vez que el disco gira

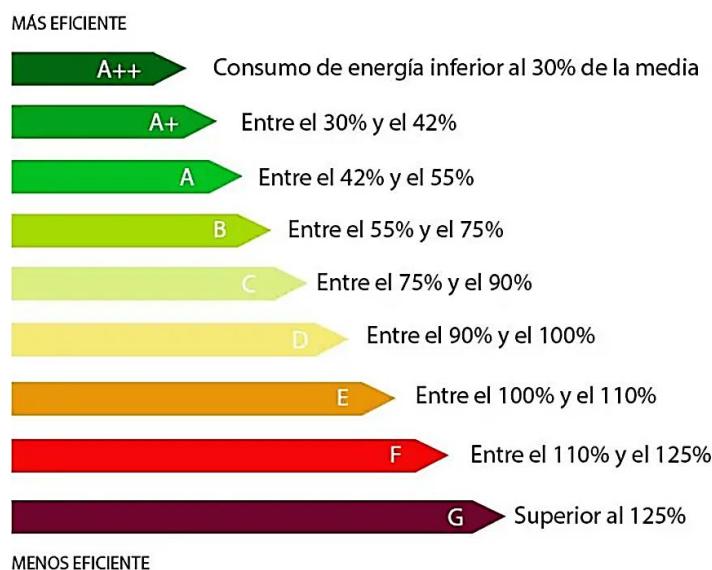
Pregunta, ¿cómo podemos hacer para tener un medidor de energía reactiva?

Respuesta a corroborar: Será suficiente con defasar la bobina voltmétrica, como cuando construimos el varímetro??



9.1.5. Categorías de eficiencia energética de artefactos eléctricos

Según el consumo que realiza ese artefacto respecto al consumo medio de ese tipo de artefactos, se dividen en las siguientes categorías:



Aquellos artefactos que consumen el 100%, es decir no ahorran pero tampoco gastan de más, se los considera que tienen el consumo medio; según nuestras categorías son los que están en el límite entre la categoría D y E.

Cuánta energía consumo tu casa (wh) – Interactivo:

<https://www.unidiversidad.com.ar/interactivo-cuanto-consumen-los-electrodomesticos-del-hogar>

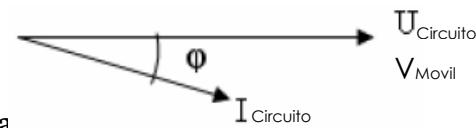


9.2. MEDICIÓN DE POTENCIA REACTIVA

Como hemos visto, la Potencia Reactiva Monofásica queda expresada por la siguiente fórmula:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [\text{VAR}]$$

Siendo φ el ángulo de desfasaje entre I y U en la carga.

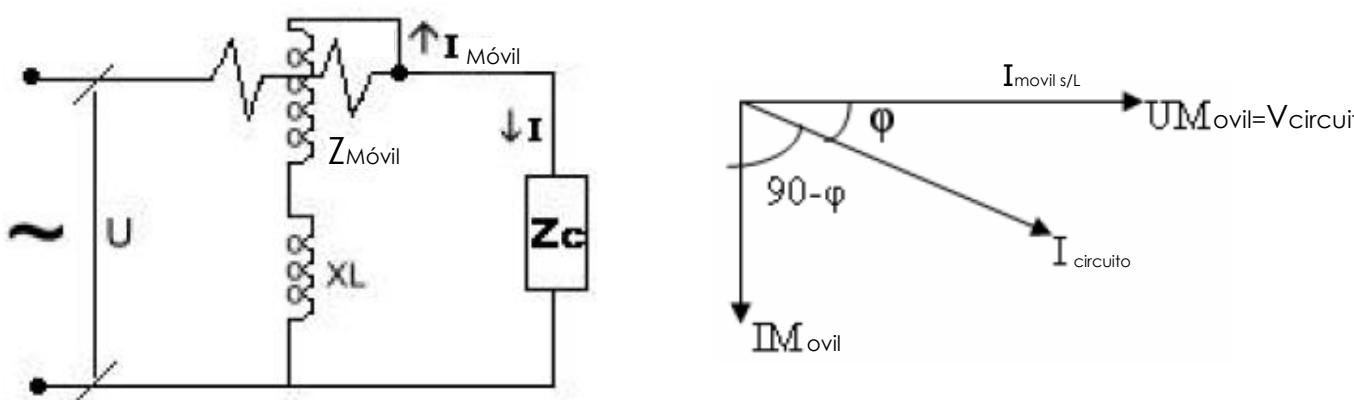


9.2.1. Método directo: El VARÍMETRO

El varímetro es un instrumento de lectura directa para la medición de potencia reactiva (Q). Es un instrumento muy similar al vatímetro y al igual que él está constituido por dos bobinas: una fija y una móvil; en serie con ésta última se conecta una bobina adicional (auto inductancia), de forma tal que los flujos magnéticos que ambas generan (bobina fija respecto de móvil) están desfasados 90° entre sí.



Entonces, si tomando un vatímetro y en su rama voltmétrica colocamos en serie una reactancia inductiva pura (ideal: $I_{\text{Móvil}}$ atrasada 90° de V_M), el diagrama vectorial será:



En este caso la deflexión de la aguja del instrumento "modificado" va a responder a:

$$\alpha_{\text{eq}} = K_1 V \cdot I \cdot \cos(90 - \varphi) = V \cdot I \cdot \sin \varphi$$



$90 - \varphi$ = es el ángulo entre los campos electromagnéticos de las bobinas del instrumento.

α_{eq} = ángulo de deflexión de la aguja en el instrumento



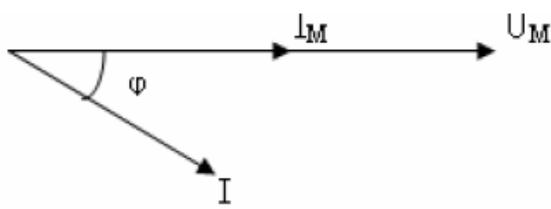
Por lo que la lectura que nos dará el instrumento es la potencia reactiva en el circuito:

$Q_{(leida)} = V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \operatorname{Sen}(\varphi)$; donde φ es el desfasaje que impone la carga (entre V e I)

Entonces: haciendo circular una corriente I_M desfasada 90° respecto a U_M , por la rama voltímetrica, de modo que esté desfasada un ángulo ($90-\varphi$) respecto de I , el instrumento medirá la potencia reactiva. Recordemos que el par eléctrico (M_e) para instrumentos electrodinámicos es proporcional al producto de dos corrientes: I e I_M (las que dan origen a los campos que interactúan y producen la deflexión de la aguja).

Un bobinado es excitado por la corriente I_M , proporcional a la tensión aplicada, por lo que la ecuación del par eléctrico queda en función de esta tensión, de la corriente que circula por la bobina fija (determinada por la carga) y del ángulo que forman entre si ambas magnitudes. Este ángulo depende solamente del tipo de carga del circuito, pero la función trigonométrica que lo afecta dependerá del tipo de potencia que deseemos medir: activa ó reactiva.

En el caso de un vatímetro, el ángulo entre las bobinas móvil y fija es el existente entre I_M e I , que es el mismo ángulo entre V e I en la carga; por tanto, como el instrumento responde al coseno de dicho ángulo, entonces estamos midiendo potencia activa:



Vatímetro:

I_M está en fase con U_M

Mide directamente potencia activa

$$\alpha_{eq} = K1 \cdot U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$$

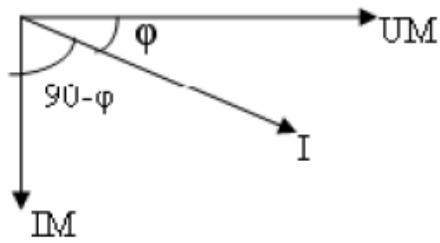
En el caso de un varímetro, el ángulo entre las bobinas móvil y fija es el



Alumno:

Pág:

existente entre I_M e I : $(90 - \varphi)$, que NO es el ángulo existente entre V e I en la carga (φ); por tanto, como el instrumento responde al coseno $(90 - \varphi) = \operatorname{sen}(\varphi)$, entonces estamos midiendo potencia reactiva:



Varímetro:

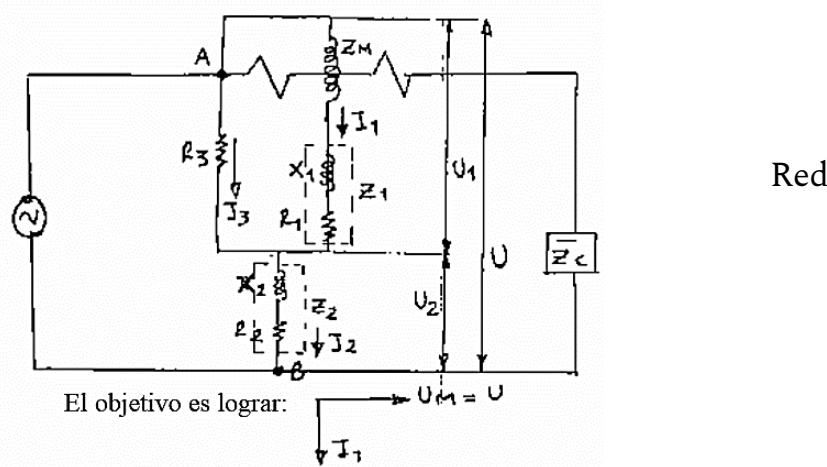
I_M está a 90° respecto de U_M

Para medir potencia reactiva deberemos desfasar a I_M $(90 - \varphi)$ respecto de I .

$$M_g = K \cdot I \cdot I_M$$

$$\alpha_{eq} = K_1 \cdot U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \operatorname{sen} \varphi$$

Si en lugar de conectar una autoinductancia en la rama voltmétrica, conectásemos una capacidad para lograr el desfasaje de 90° entre U_{Movil} e I_{Movil} , no se altera en nada todo el razonamiento (sólo deflectará en sentido contrario). Pero, tanto autoinductancia como capacidades, en la práctica no son puras, es decir que el mayor desfasaje que se puede conseguir es de unos 80° , de esto surge la necesidad de recurrir a otro método para lograr los 90° requeridos, esto se logra utilizando una red desfasadora denominada "Conexión Hümmer".



9.2.2. Método indirecto:

En este caso podemos obtener la potencia reactiva trifásica con ayuda de un



Alumno:

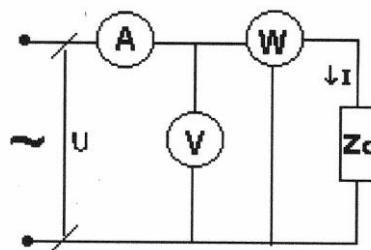
Pág:

vatímetro, un voltímetro y un amperímetro. Con la lectura de estos instrumentos obtenemos el $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{vatímetro}}}{U I} = \frac{P_{\text{activa}}}{P_{\text{aparente}}}$$

y de aquí obtenemos el ángulo φ mediante: $\varphi = \arco \cos \varphi$; luego de conocido éste, podemos calcular la **potencia reactiva monofásica**:

$$Q = V \cdot I \cdot \operatorname{Sen} \varphi$$



¿Qué conexión falta en el circuito?, dibujela CORRECTAMENTE:

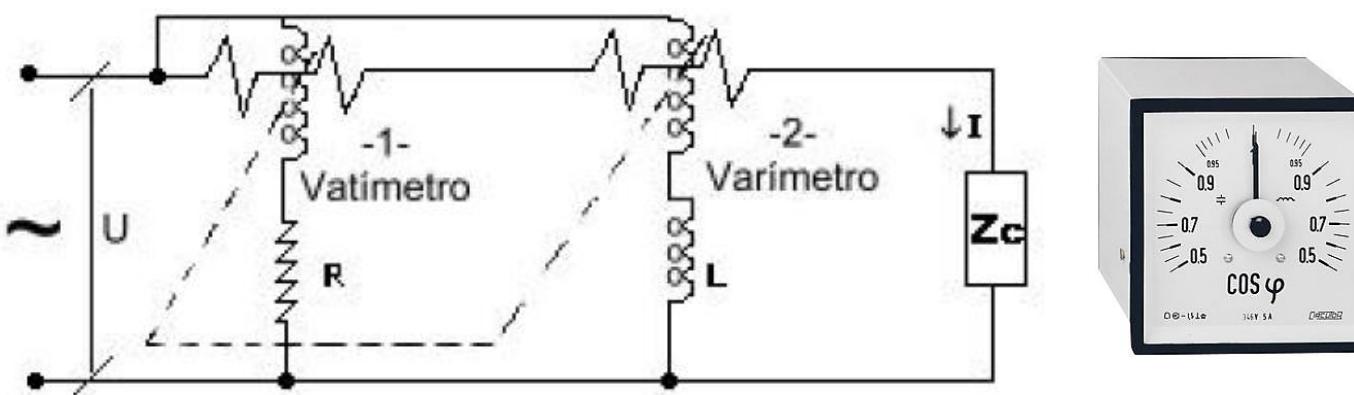
C O M P L E T E



9.3. MEDICIÓN DEL $\cos \varphi$

9.3.1. Método directo: El COSFÍMETRO

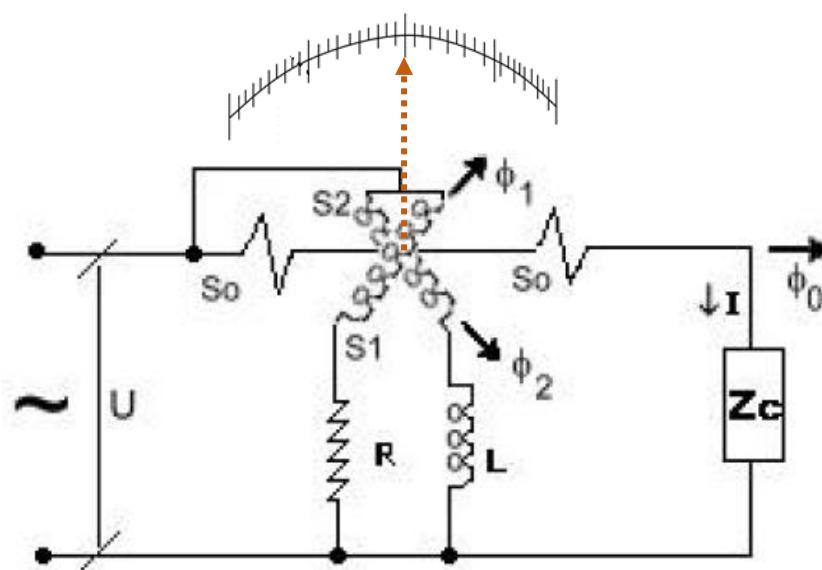
Hemos visto cómo funciona un vatímetro y un varímetro; ahora tomamos ambos instrumentos y los conectamos como en la figura, donde los ejes de las bobinas móviles están unidos mecánicamente (línea punteada):



La aguja del vatímetro que responde a la potencia activa, tenderá a deflexionar hacia un lado, y la aguja del varímetro tenderá a deflexionar en sentido opuesto; ambas aplicarán una fuerza sobre el eje proporcional a la potencia que representan y que posea el circuito. Al estar solidarias (ejes unidos) se realizará sobre el eje una sumatoria de fuerzas opuestas, cuya resultante, desplazará la aguja un cierto ángulo (similar al juego de tirar la cuerda, donde el equipo que más fuerza hace mueve al otro). Este mecanismo constituye un cosfímetro.

Para el caso de potencia activa pura, el sistema posee un par resistente que posiciona a la aguja en el centro de la deflexión, graduado como $\cos \varphi = 1$ (ya que no hay par debido a la potencia reactiva nula).

La construcción real es un poco más simple, ya que ambas bobinas móviles (voltimétricas) se montan cruzadas 90° entre si y sobre un mismo eje:



El cosfímetro se conecta a la

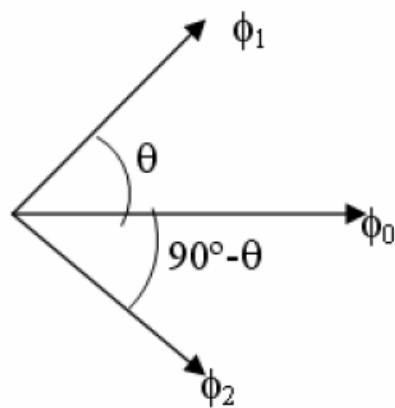
Los flujos magnéticos Φ_0 y Φ_1 son proporcionales a las corrientes I_0 e I_1 . El campo Φ_0 está en fase con I_0 . Entre V e I hay un desfase φ .

La bobina S_1 está en serie con una resistencia antiinductiva R_1 de modo que la corriente I_1 está en fase con V (vatímetro)

La bobina S_2 está en serie con una autoinductancia pura (L), por lo que la corriente por esa rama (I_2) está retrasada 90° respecto de la tensión V (varímetro).

El ángulo que forman las bobinas móviles con la fija dependerá del balance de "fuerzas" que ejerzan las potencias P y Q del circuito.

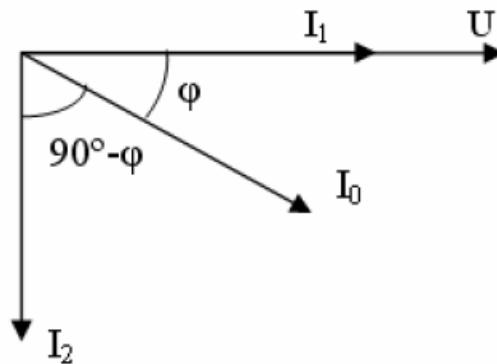
a) Flujos en el espacio: decalaje o ángulo geométrico.





b) Corrientes en el tiempo: ángulos eléctricos.

Tomando como referencia la tensión U :



Este aparato no tiene par antagónico mecánico, el par que siempre hemos logrado con espirales elásticos, simplemente posee dos pares que se oponen entre sí, es decir que la bobina S1 tiende a girar en sentido horario y la S2 en sentido antihorario, por lo tanto un par hace las veces de antagónico del otro. A continuación veremos que un par es función del $\sin \theta$, y el otro, del $\cos \theta$, esto significa que un par se atenúa mientras que el otro aumenta, de tal manera que el par mayor hará girar el sistema.

Respuesta del sistema:

Los pares eléctricos que se forman entre la bobina S1 y S, y S2 y S son:

$$M_{E_{10}} = K_1 \overset{\wedge}{\phi_1} \overset{\wedge}{\phi_0} \cdot \underset{\text{espacio}}{\underbrace{\sin(\overset{\wedge}{\phi_1} \overset{\wedge}{\phi_0})}} \cdot \underset{\text{tiempo}}{\underbrace{\cos(\overset{\wedge}{\phi_1} \overset{\wedge}{\phi_0})}}$$

$$M_{E_{10}} = K_1 \overset{\wedge}{\phi_1} \overset{\wedge}{\phi_0} \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi$$

$$M_{E_{20}} = K_2 \overset{\wedge}{\phi_2} \overset{\wedge}{\phi_0} \cdot \sin(90^\circ - \theta) \cdot \cos(90^\circ - \varphi)$$

Hemos dicho que los flujos son proporcionales a las corrientes:

$$(\overset{\wedge}{\phi_1} \overset{\wedge}{\phi_0}) = (\overset{\wedge}{I_1} \overset{\wedge}{I_0})$$

$$\phi_1 = K' I_1 \quad , \quad \phi_2 = K'' I_2 \quad , \quad \phi_0 = K I_0$$

En el equilibrio, los pares M_{10} y M_{20} se igualan:

$$M_{E_{10}} = M_{E_{20}}$$



Alumno:

Pág:

$$[K_1 \cdot K' \cdot K \cdot I_1 \cdot I_0 \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi = K_2 \cdot K'' \cdot K \cdot I_2 \cdot I_0 \cdot \cos \theta \cdot \sin \varphi] \quad (1)$$

Constructivamente puede lograrse que:

a) $\begin{cases} K' = K'' \\ K_1 = K_2 \end{cases}$

b) $|I_1| = |I_2|$

$$I_1 = \frac{U}{R} = K_3 \cdot U \quad , \quad I_2 = \frac{U}{\omega \cdot L} = K_4 \cdot U$$

$$\text{Si } |R| = |\omega \cdot L| \Rightarrow K_3 = K_4 \Rightarrow |I_1| = |I_2|$$

La expresión (1) queda:

$$[K_1 \cdot K' \cdot K \cdot I_1 \cdot I_0 \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi = K_2 \cdot K'' \cdot K \cdot I_2 \cdot I_0 \cdot \cos \theta \cdot \sin \varphi]$$

$$\sin \theta \cdot \cos \varphi = \cos \theta \cdot \sin \varphi$$

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}$$

$$\tan \theta = \tan \varphi$$

Entonces:

$$\boxed{\theta = \varphi}$$

El aparato se construye de tal forma que el ángulo que adopta en la porción de equilibrio, sea el ángulo de desfasaje θ .

La escala del instrumento se podrá graduar en ángulos o en coseno del ángulo. En el primer caso tendremos un fasímetro, en el segundo un cosfímetro.

Existen cosfímetros monofásicos y trifásicos. Generalmente se fabrican para 5A y 100V, para intensidades y tensiones mayores se los conectan a través de transformadores de medición. (TI y TV)

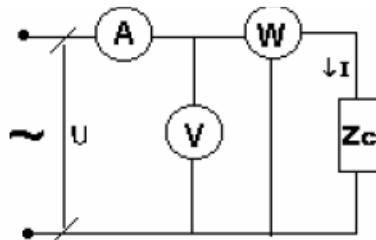


Alumno:

Pág:

9.3.2. Método indirecto

9.3.2.1. Amperímetro, voltímetro y vatímetro:

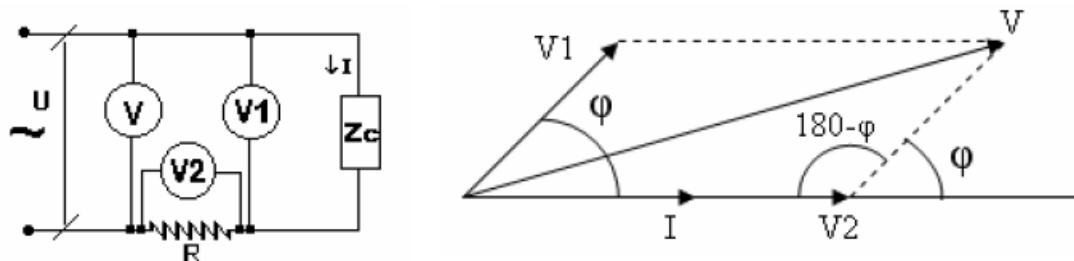


Donde aplicaremos la fórmula:

$$\cos \varphi = \frac{\text{Lectura del vatímetro}}{\text{Lectura del amperímetro} \times \text{Lectura del voltímetro}}$$

9.3.2.2. Tres voltímetros

Utilizaremos una resistencia auxiliar no inductiva, R



Considerando una carga inductiva, la intensidad I atrasa un ángulo φ , respecto de la tensión V_1 . Por otra parte la resistencia R es no inductiva, por lo tanto, la intensidad I está en fase con la tensión V_2 . Además la lectura del voltímetro V es la suma vectorial de V_1 y V_2 . Aplicando el teorema del coseno:

$$V^2 = V_2^2 + V_1^2 - 2.V_1.V_2.\cos(180 - \varphi)$$

$$\cos(180 - \varphi) = -\cos \varphi$$

$$V^2 = V_2^2 + V_1^2 + 2.V_1.V_2.\cos \varphi$$



Alumno:

Pág:

$$\boxed{\cos \varphi = \frac{V^2 - V_2^2 - V_1^2}{2.V_1.V_2}}$$

Como podemos ver, es fácil obtener el valor del coseno φ , contando con las lecturas de los voltímetros.

Este método se utiliza, además para obtener la potencia activa de un sistema monofásico, cuando la potencia es pequeña y por consiguiente también la intensidad (alrededor de los 15 mA), de este modo los errores producidos en los instrumentos son ínfimos.

$$P_{act.} = V_1.I_1.\cos \varphi$$

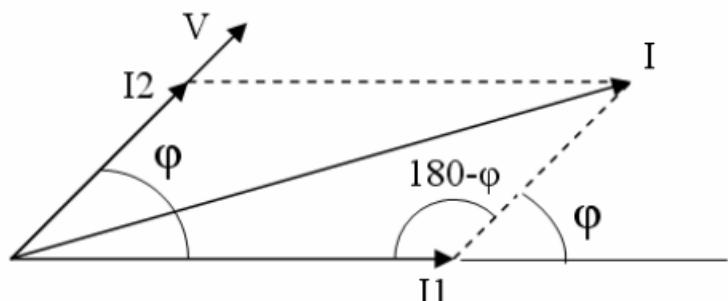
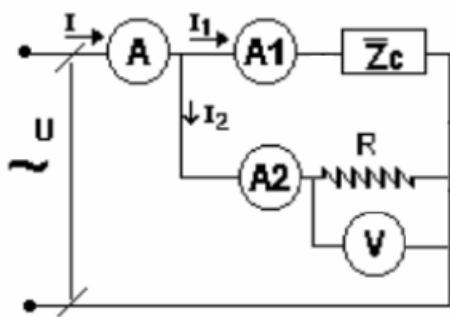
$$P_{act.} = V_1.I_1 \left(\frac{V^2 - V_1^2 - V_2^2}{2.V_1.V_2} \right) = I_1 \left(\frac{V^2 - V_1^2 - V_2^2}{2.V_2} \right)$$

$$V_2 = R.I_1 \Rightarrow P_{act.} = I_1 \left(\frac{V^2 - V_1^2 - V_2^2}{2.R.I_1} \right)$$

$$\boxed{P_{act.} = \left(\frac{V^2 - V_1^2 - V_2^2}{2.R} \right)}$$

9.3.2.3. Tres amperímetros (ESTE TEMA NO ENTRA EN EVALUACIÓN)

Análogamente al método anterior es posible obtener el valor del factor de potencia contando con tres amperímetros y una resistencia auxiliar no inductiva, además consideraremos que la caída de tensión en los amperímetros es cero.





Alumno:

Pág:

Aplicando el teorema del coseno:

$$I^2 = I1^2 + I2^2 - 2.I1.I2.\cos(180 - \varphi)$$

$$\cos(180 - \varphi) = -\cos \varphi$$

$$I^2 = I2^2 + I1^2 + 2.I1.I2.\cos \varphi$$

$$\boxed{\cos \varphi = \frac{I^2 - I1^2 - I2^2}{2.I1.I2}} \quad (1)$$

Este método también permite medir la potencia activa monofásica:

$$P_{act.} = V1.I1.\cos \varphi$$

$$P_{act.} = V1.I1 \left(\frac{I^2 - I1^2 - I2^2}{2.I1.I2} \right) = V1 \left(\frac{I^2 - I1^2 - I2^2}{2.I2} \right)$$

$$V = RI2 \Rightarrow \frac{V}{R}$$

$$P_{act.} = V \left(\frac{I^2 - I1^2 - I2^2}{2.V/R} \right)$$

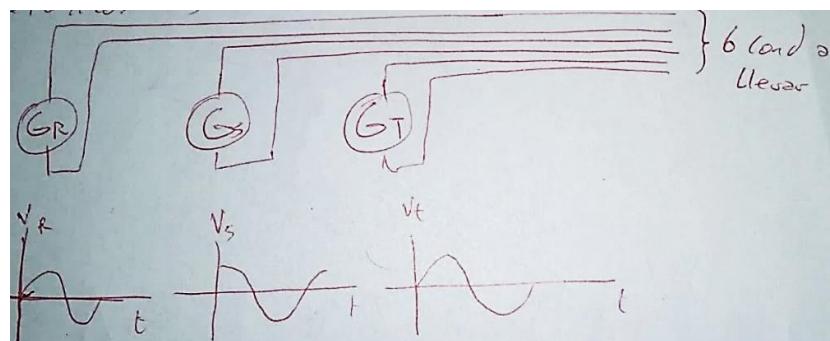
$$\boxed{P_{act.} = R \left(\frac{I^2 - I1^2 - I2^2}{2} \right)}$$

3.

GENERACIÓN ELÉCTRICA

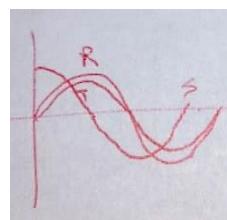
3.1. El sistema trifásico

El sistema trifásico está compuesto por tres sistemas monofásicos, es decir consta de tres generadores monofásicos:

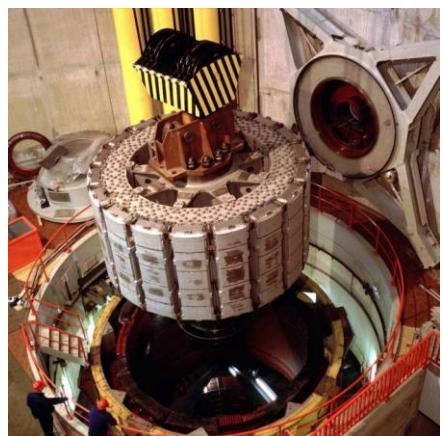
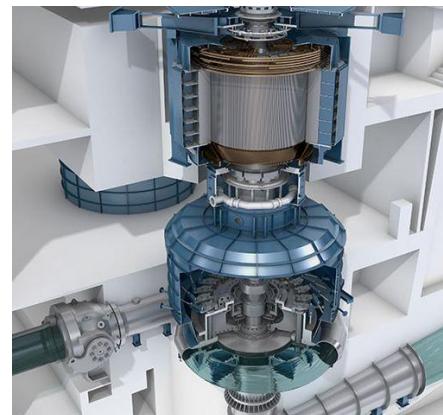
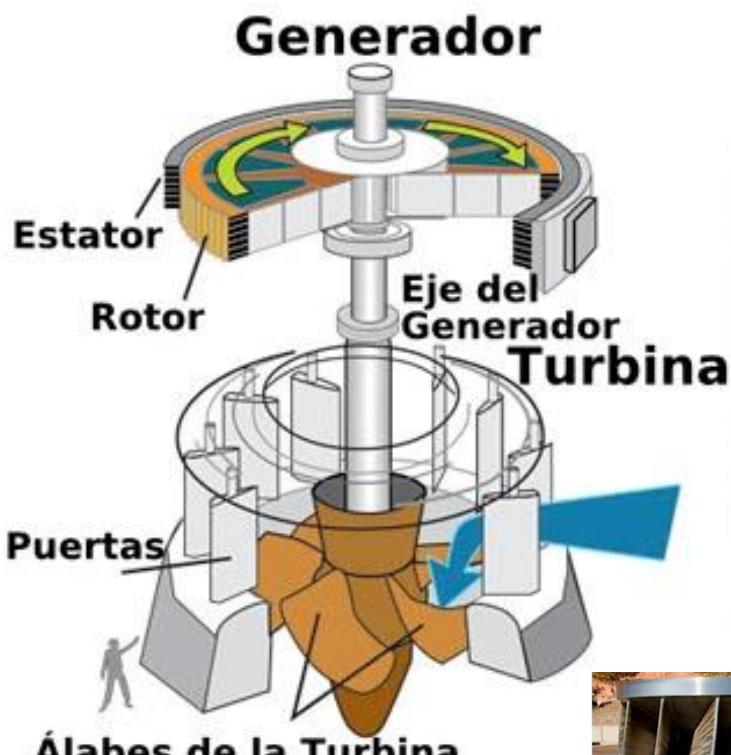


De transportar dicha energía necesitaríamos 6 conductores, las fases estarán eléctricamente desfasadas entre si un ángulo arbitrario (no necesariamente los 120°) y que puede variar en cualquier momento (ya que no están bajo la acción de un mismo eje).

Uniendo los 3 neutros reduciríamos de 6 a 4 conductores (en la “bornera” de salida), y en el diagrama eléctrico de este sistema trifásico tendríamos a todos los fasores bajo el mismo eje de tiempo (ya que el neutro es común), por lo que serán constantes en el tiempo (fijos) aunque de valores aleatorios:

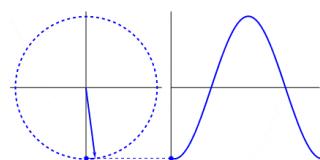
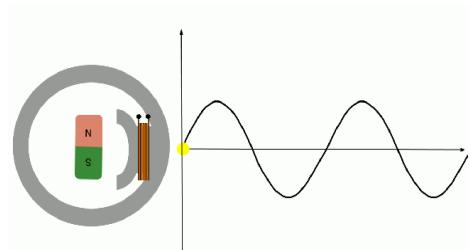


Esto, aunque parecido, no es nuestro sistema triásico actual. Además, generar trifásica de esta forma triplica los costos de material magnético e instalaciones ya que debo mover 3 generadores con sus álabes.

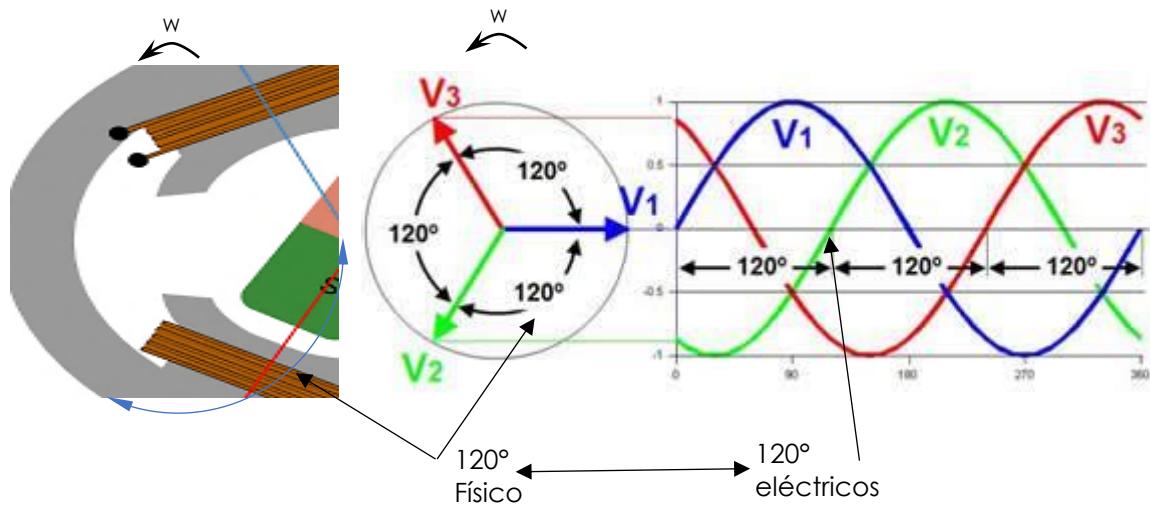


3.1.1. Generación de un sistema trifásico

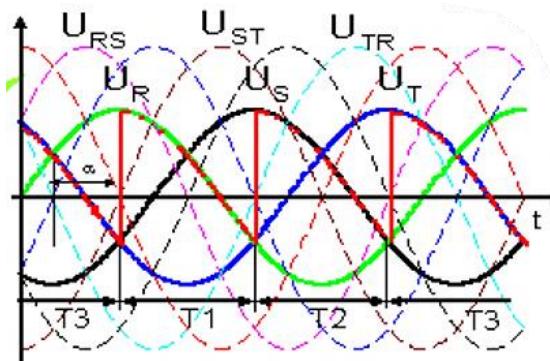
El sistema trifásico es un conjunto de tres generadores alternos monofásicos de la misma magnitud y período, desfasados entre sí 120°; todo alojado dentro de un mismo estator. En la figura inferior se representa un sistema trifásico vectorial y temporalmente; los vectores V_1 , V_2 y V_3 , representan las tensiones de fase o simples de cada generador monofásico, y sus respectivas sinusoides representan los distintos valores que toman en cada instante de tiempo.



Sistema de feni que genera un período por cada revolución (hay un solo par de polos)



Sistema trifásico de tensiones: (A) Representación Vectorial (B) Representación temporal/cartesiana



Composición de la tensión de línea a partir de las tensiones de fase: La tensión de línea U_{RS} es la variación de la **Diferencia de Potencial entre la tensión U_R y la U_S** . Para este esquema las tensiones de fase están defasadas 120° entre sí.

Preg: Si en un generador colocáramos los bobinados R, S y T desfasados 10° uno a continuación del otro ¿Funcionaría un motor trifásico tradicional: si / no / tal vez?; justifique.

C O M P L E T E

3.1.2. Ventajas de los sistemas trifásicos

En los sistemas trifásicos, la armadura o estator del alternador tiene tres devanados y produce tres voltajes alternos independientes. La magnitud y frecuencia de todos ellos es igual, pero tienen una diferencia de fase de 120° entre sí. Tales sistemas trifásicos tienen las siguientes ventajas sobre los sistemas monofásicos:

- La potencia de las máquinas trifásicas es siempre mayor que las de las máquinas monofásicas del mismo tamaño, aproximadamente 1,5 más. Así para una potencia y tensión dada, un alternador trifásico ocupa menos espacio y es menos costoso que los monofásicos de la misma potencia.
- Para transmitir y distribuir la potencia generada, el sistema trifásico necesita menos conductores y de menor sección (lo que implica torres más livianas), que hacerlo en monofásico. Es mucho más económico.
- Es posible producir campos magnéticos rotantes con bobinados estacionarios usando el sistema trifásico. Por ello los motores trifásicos son de autoarranque; no así los monofásicos que necesitan de un bobinado de arranque adicional, generalmente defasado del principal con un capacitor.
- Los sistemas trifásicos entregan una potencia mas estable. En los sistemas monofásicos la potencia instantánea fluctúa al ritmo de la onda senoidal: tiene un máximo, un cero y nuevamente un máximo (esta fluctuación causa vibraciones en los motores monofásicos); en cambio en el sistema trifásico la potencia instantánea es la resultante del aporte de las tres fases, por lo que nunca es cero, sino que se mantiene relativamente estable.
- Una alimentación monofásica puede obtenerse de un sistema u alternador trifásico, pero trifásica no puede obtenerse de un sistema u alternador monofásico.
- El factor de potencia ($\cos \varphi$) de los motores monofásicos es pobre en relación a los motores trifásicos equivalentes.
- Para circuitos convertidores como los rectificadores, la tensión de salida en corriente continua es más uniforme si el número de fases se incrementa; ya que tendremos mayor cantidad de picos de continua variable a la salida del rectificador, por lo que hay menos variación en dicha tensión de salida.

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA TRIFÁSICO

3.2.1. Valores de Fase y de Línea

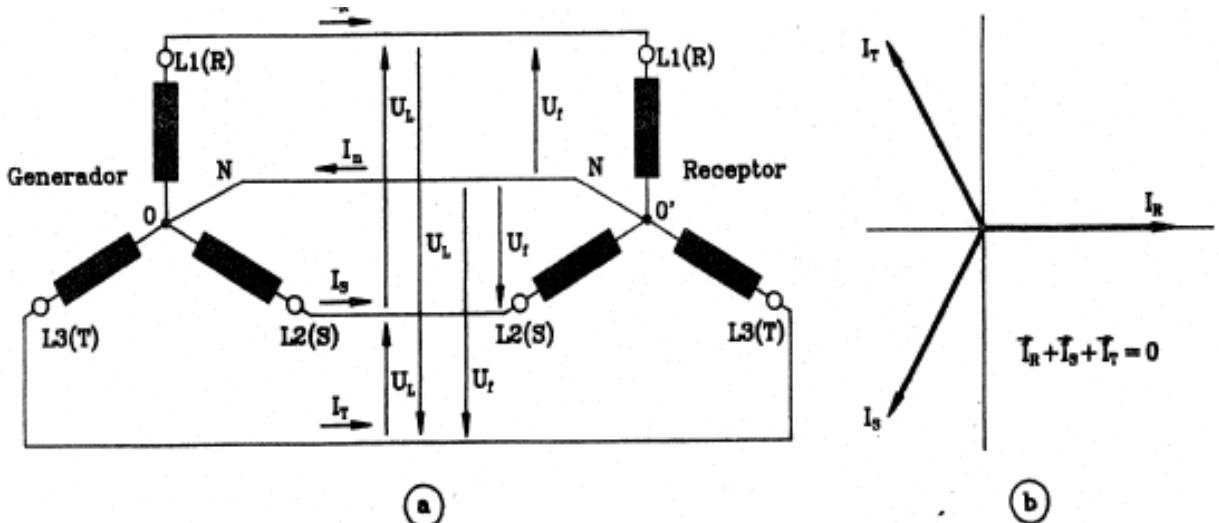


Figura 12.6. (a) Conexión de un generador y receptor estrella, mediante una línea trifásica con neutro. (b) Diagrama vectorial de intensidades.

Como vimos al principio de la unidad, si los tres generadores, y por ende sus corrientes, fuesen independientes, harían falta seis conductores para su transporte. Para establecer la debida dependencia de cada fase con las otras hay que establecer entre ellas alguna conexión, por ejemplo, la indicada la figura 12.6a, en la que, como se ve, con cuatro conductores se puede transportar la corriente de fase desde el generador a la carga.

En cada uno de los conductores R, S y T circulará tan solo la corriente producida en cada devanado del generador; y en el conductor N circularán conjuntamente las tres corrientes de los conductores R, S y T, cuya resultante es cero si el sistema es equilibrado en cargas y simétrico en tensiones; lo que se representa mediante la representación vectorial de la figura 12.6b, en la que la suma de las tres corrientes de fase I_R , I_S e I_T es igual a cero y, por lo tanto, la $I_N = 0$.

En la actualidad se ha sustituido la denominación de las fases R, S, T por las de líneas L1, L2 y L3 respectivamente. En un motor o variador de velocidad u otro dispositivo eléctrico/electrónico de protección o comando, podemos encontrar los correspondiente U, V y W.

Tensión de fase: es la diferencia de potencial existente en los terminales de la carga o generador en conexión trifásica.

Tensión de Línea: es la diferencia de potencial que existe entre fases de un sistema trifásico (implica una tensión compuesta).

Corriente de fase: es la corriente que circula por la carga o generador en conexión trifásica (la que suministra cada generador o consume cada carga).

Corriente de línea: es la corriente que circula por la línea que une los generadores con las

Cargas.

Nota: con “conexión trifásica” nos referimos a la carga equivalente total, que está conectada entre dos de los bornes trifásicos; por ej, si en la fase R tenemos dos cargas en serie R_1 y R_2 , entonces lo que está en conexión trifásica es el conjunto $R_1+R_2=R_{eq}$ y no solo R_1 o R_2 .

Esto no impide que el valor de fase coincida con el de línea, ya sea de tensión o de corriente. Por ejemplo, en la figura 13A, la corriente que circula por la carga Z_R es la corriente de fase, que a su vez es la corriente de línea que circula por la línea R entre el generador y la Carga; entonces en este caso: $I_F=I_L$. En el caso de conexión en triángulo, fig 13B, la corriente de línea, al llegar a la carga se divide en las dos direcciones posibles (recordar corrientes nodales de Kirchoff) por lo que aquí: $I_F \neq I_L$.

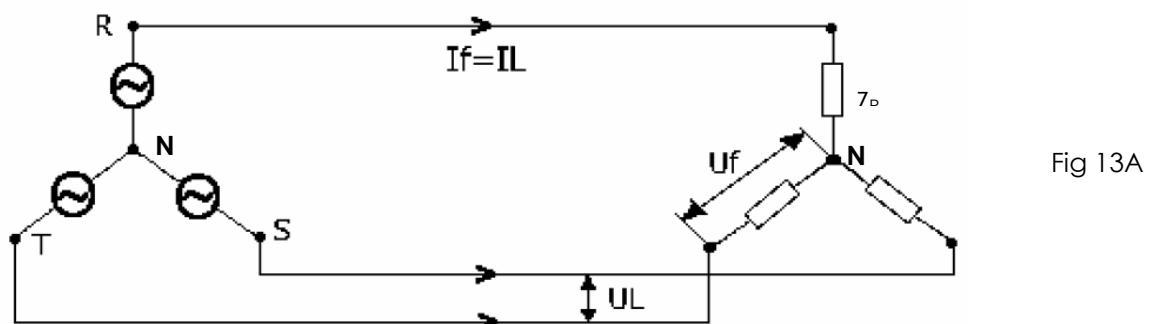
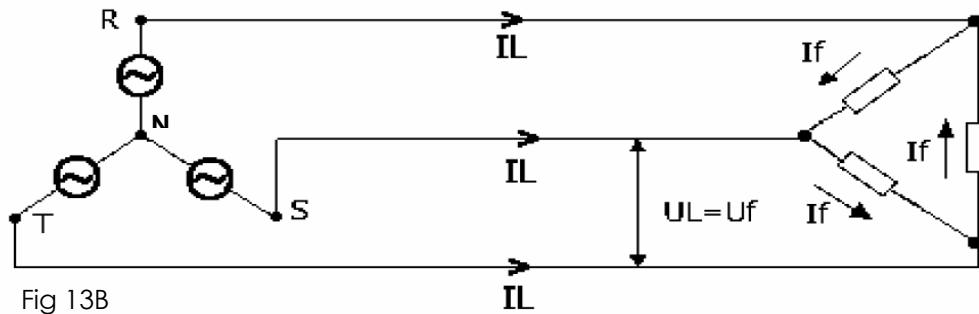


Fig 13A

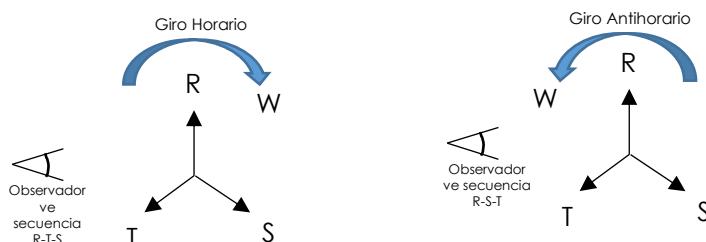


3.2.2. Secuencia de Fases: Sentido Directo e Inverso

El sentido de rotación del rotor en el generador, indicado por "w" en los gráficos fasoriales, nos determina la secuencia en la que aparecerán las sinusoides de cada una de las fases del generador. Para un *sentido directo* (w antihorario) tenderemos una secuencia **R-S-T-R-S-T-R-S-T...**, denominada secuencia directa; y para un *sentido de rotación inverso* (w horario) tendremos una secuencia **R-T-S-R-T-S-R-T-S...**, denominada secuencia inversa.

Secuencia positiva/directa (w antihorario): cuando respecto a un punto fijo los tres vectores de tensión girando en sentido antihorario pasan por el punto fijo en el siguiente orden: R, S, T

Secuencia negativa/inversa (w horario): cuando respecto a un punto fijo los tres vectores de tensión girando en sentido antihorario pasan por el punto fijo en el siguiente orden: R, T, S.



Nótese que, si intercambiamos 2 fases de la secuencia directa, la transformamos en una secuencia inversa: si a R-S-T le intercambiamos la S con la R, tendremos S-R-T-S-R-T...; y viceversa.

“Este cambio de secuencia provocará que el campo rotante de un motor trifásico cambie de sentido de giro, con lo cual conseguimos que el motor gire al

revés, sin haber tocado el sentido de giro del generador.

Los motores eléctricos trifásicos están equipados con 6 bornes y cuando el mismo es alimentado en U1, V1 y W1 por una red de secuencia directa L1, L2 y L3; el eje del motor girará en sentido horario (visto de frente). Si bien un motor trifásico puede funcionar en ambos sentidos de giro y es algo simple corregirlo ante la evidente equivocación al arrancarlo... ,puede resultar de suma gravedad para el funcionamiento del resto del equipo (podrían romperse sellos en bombas hidráulicas por ej); incluso para el motor mismo si éste tiene un forzador de aire adosado al otro extremo del eje (no tendrá una adecuada ventilación). A veces el equipo no permite un giro incorrecto sin sufrir daño, por poco tiempo que gire.

Otro ejemplo es el de corroborar la conexión de los tomás trifásicos en una nave nueva, de esa forma nos aseguramos que una máquina portátil conectada en uno de los tomas funcionará correctamente al conectarlo en cualquier otro toma de la nave.

Es importante respetar\corroborar la secuencia de conexión para respetar el sentido de giro de la máquina trifásica. Los instrumentos que miden la secuencia de rotación de fases se denominan **Secuesímetros ó fasímetros**, de los que hay versiones analógica y digitales.



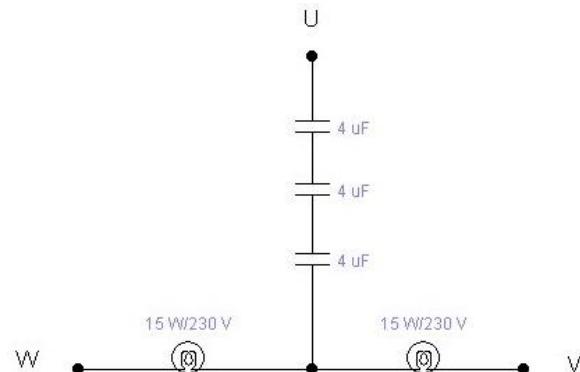
También podemos conocer la secuencia en un sistema trifásico mediante:

3.2.2.1. Método de los dos vatímetros

Por el método de los dos vatímetros, se utiliza un sistema equilibrado de cargas, inductivo o capacitivo. En función de la comparación de las lecturas de ambos se determina la secuencia. Por ejemplo, si conectamos una carga inductiva equilibrada, la lectura del vatímetro de menor indicación corresponderá al vatímetro P12 y por lo tanto determinante de la secuencia de fase 1 para la amperómetrica, fase 2 para la voltmétrica y finalmente la restante la fase 3.

3.2.2.2. Método de las dos lámparas

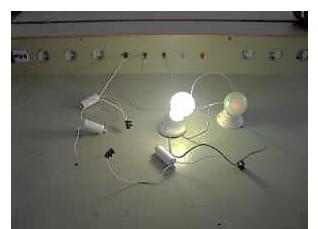
El método de las dos lámparas, es una forma sencilla y económica de reemplazar al método de los vatímetros. Se trata de conectar como carga trifásica a dos lámparas incandescentes de igual potencia y un capacitor cuya X_c sea aproximadamente igual a la resistencia R de lámpara.



- 2 Lámparas incandescentes de 15 W a 230 Vac.
- 3 condensadores de 4 microfaradios en serie, para conseguir una capacidad de 1,33 microfaradios (con un solo condensador también se puede hacer).
- Varios trozos de cables y regletas de conexión.

Secuencia de fases U-V-W

Si la Resistencia de las lámparas es aproximadamente igual a la Reactancia de los condensadores, la intensidad que pasará por una de las lámparas será 3 veces mayor que la intensidad que pasará por la otra lámpara, esto se apreciará por una mayor luminosidad. Una de las fases la denominaremos como U y la conectaremos al



condensador, los otros dos terminales de las lámparas se conectarán a las otras dos fases, la lámpara que emita más luz estará conectada a la fase que sigue a la fase U (retrasada 120°), será la fase V. La lámpara que emita menos luz estará conectada a la fase W, retrasada 240° con respecto a la fase U. De esta forma averiguaremos fácilmente la secuencia de las fases.

Secuencia de fases U-W-V

En este caso hemos intercambiado los cables que alimentan a las dos lámparas, observando que ahora da más luz la otra lámpara. Tendremos en cuenta que la lámpara que dé más brillo corresponderá a la fase V, retrasada 120° con respecto a la fase en donde está conectado el condensador. La lámpara que da menos luz estará conectada a la fase W, que estará retrasada 240° con respecto a la fase del condensador, la fase U. La fase U la hemos nombrado arbitrariamente, lo que nos interesa es la secuencia de las mismas

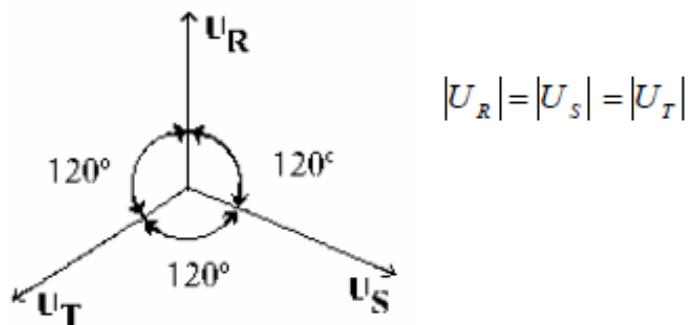


3.2.2.3. Osciloscopio

Utilizaremos para ello un osciloscopio de, al menos, doble trazo; así podremos comparar los defases entre las señales de tensión R, S y T, y determinar la secuencia en la que se suceden.

3.2.3. Sistemas Simétricos/Asimétricos

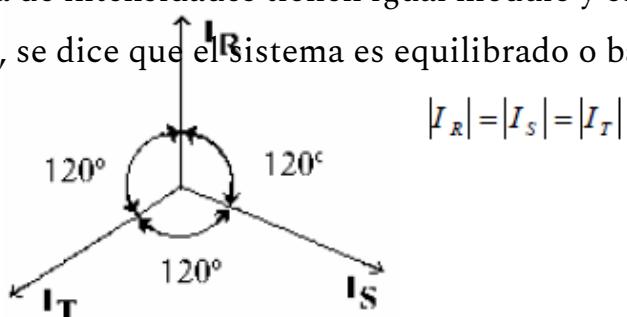
Simetría, se refiere a las tensiones. Cuando en un sistema de tensiones, éstas tienen igual módulo y están desfasadas entre sí un mismo ángulo, se dice que el sistema es simétrico



Si no cumple con esta definición es asimétrico.

3.2.4. Sistemas Equilibrados/Desequilibrados

Equilibrio, se refiere a las corrientes y por ende a las cargas. Cuando el sistema de intensidades tienen igual módulo y están desfasadas entre sí un mismo ángulo, se dice que el sistema es equilibrado o balanceado.



Si no cumple con esta definición es desequilibrado.

¡¡RECUERDE!!: cuando hablamos de simetría nos referimos a las tensiones, y cuando hablamos de equilibrio nos referimos a las corrientes.

Teniendo en cuenta ésta últimas definiciones podremos clasificar los sistemas de tensiones y corrientes según sean:

$$\begin{array}{l} \text{Tensiones} \left\{ \begin{array}{l} \text{simétrico} \\ \text{asimétrico} \end{array} \right. \quad \text{Corrientes} \left\{ \begin{array}{l} \text{equilibrados} \\ \text{desequilibrados} \end{array} \right. \end{array}$$

Componiendo los distintos sistemas, decimos que podemos medir potencia en sistemas:

Simétricos y equilibrados Simétricos y desequilibrados Asimétricos y equilibrados Asimétricos y desequilibrados	$\left. \right\}$	Estos sistemas pueden ser estrella (Λ) con o sin neutro accesible, ó triángulo (Δ)
--	-------------------	---

Es decir que tomando un ejemplo, podemos medir potencia en un sistema asimétrico en las tensiones, y desequilibrado en las corrientes, sin neutro accesible.

3.3. CÁLCULO POTENCIA ACTIVA TRIFÁSICA:

Como hemos visto, el sistema trifásico está compuesto por tres sistemas monofásicos desfasados 120° entre sí; la potencia total del sistema será la suma de las potencias de cada uno de los sistemas monofásicos que lo conforman:

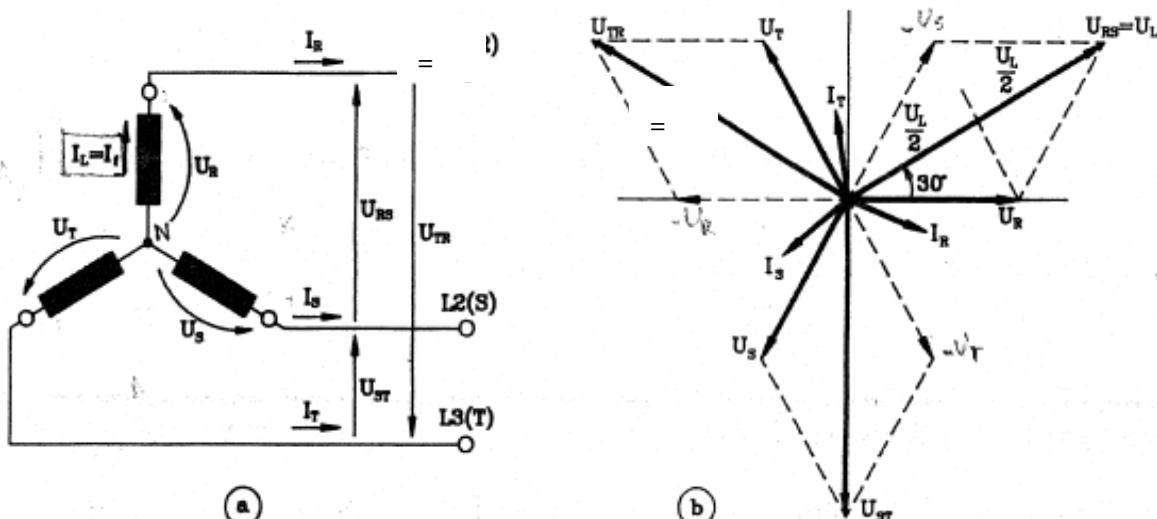
$$P = P_R + P_S + P_T = U_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R + U_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S + U_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T$$

Al medir la potencia de un sistema trifásico nos encontraremos con sistemas que poseen sólo las tres fases y con sistemas de tres fases y neutro; también deberemos tener en cuenta si el sistema es equilibrado o no. Todo ello influirá en el método de medición adecuado para la medición, que de resultados correctos con errores aceptables. Es importante recordar que para cada método habrá consideraciones o premisas de las que se partirán para justificar dicho método, de modo que serán restricciones para su aplicación en la práctica.

3.4. Conexión en ESTRELLA: Tensión, Intensidad y Potencia

Es el tipo de conexión representado en la figura A, y cuya representación vectorial de sus tensiones y corrientes graficamos en la figura B.

Aquí el conductor de línea conforma un circuito serie con la carga o bobina generadora, por lo que tendremos que: $I_L = I_F$



Respecto a las tensiones, tenemos:

$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_L = \vec{U}_R - \vec{U}_S$$

Por lo que luego de la composición vectorial (mediante Pitágoras, 1er cuadrante), tendremos que: $\frac{U_L}{2} = U_f \cdot \cos 30^\circ$ $U_L = 2 \cdot U_f \cdot \cos 30^\circ$; $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$
 $\cos 30^\circ = (V_L/2) / V_R \Rightarrow$ \Rightarrow

$$U_{LY} = \sqrt{3} \cdot U_f$$

Es decir, en la conexión estrella la V_L es $\sqrt{3}$ mayor que la V_F . El valor de la potencia será:

$$P_{\text{trif estrella total}} = P_R + P_S + P_T = 3 \cdot V_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi; V_F = V_L / \sqrt{3}$$

$$; 3/\sqrt{3} = \sqrt{3} \Rightarrow P_{\text{trif}} = 3 \cdot \frac{U_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \cos \varphi = P_{\text{trif}} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

3.5. Conexión en TRIÁNGULO: Tensión, Intensidad y Potencia

El gráfico (a) representa la conexión eléctrica de este sistema y el (b) el diagrama vectorial de corrientes del mismo (por simplicidad omitimos las tensiones). En este tipo de sistemas la tensión de fase coincide con la de línea: $V_F = V_L$.

Respecto a las corrientes, como en esta configuración no hay neutro (el transporte se realiza en trifilar), serán las composiciones presentes en los nodos constituidos por la línea y dos de los generadores; en el caso de I_R tenemos:

$$\vec{I}_R = \vec{I}_{TR} - \vec{I}_{RS}$$

y en el triángulo conformado por estas tres corrientes vemos que:

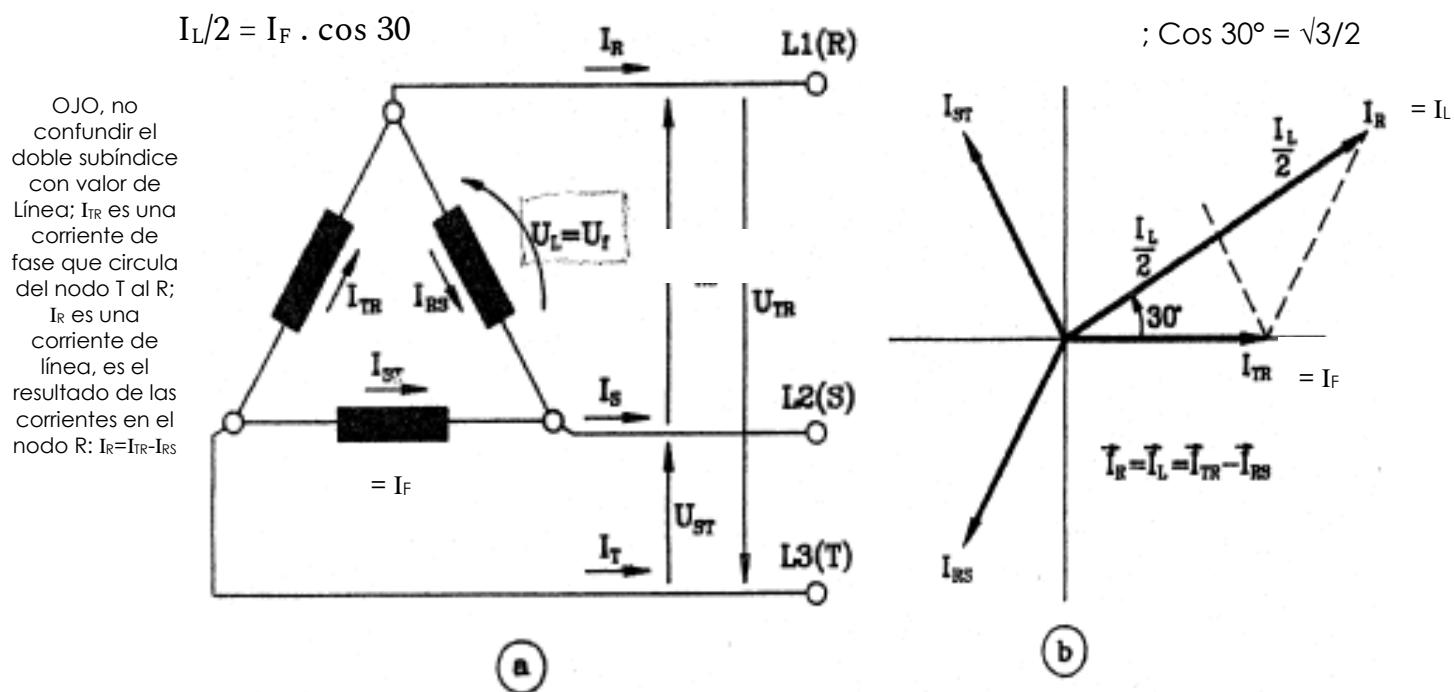


Figura 12.8 (a) Sistema trifásico en triángulo. (B) Representación vectorial de intensidades

$$\begin{aligned} \cos 30^\circ &= (I_L/2) / I_{TR} \Rightarrow \sqrt{3}/2 = I_L / 2 \cdot I_{TR} \Rightarrow \\ &\Rightarrow I_L = \sqrt{3} / I_{TR} \Rightarrow \boxed{I_L = \sqrt{3} / I_f} \end{aligned}$$

Por consiguiente, la corriente de fase circula por los devanados en circuito cerrado, de modo que en los puntos o “nudos” de salida la intensidad de línea es la

compuesta y vale $\sqrt{3}$ veces más que la fase.

$$\begin{aligned} \text{El valor de potencia s } P_{\text{III}\Delta} &= 3 \cdot P_f \\ P_{\text{III}\Delta} &= 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi \\ P_{\text{III}\Delta} &= 3 \cdot U \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi \\ P_{\text{III}\Delta} &= \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \end{aligned}$$

que, como vemos, tiene la misma expresión que en estrella.

Conclusión: La ecuación de potencia es la misma, independientemente de si la carga está conectada en estrella o triángulo:

$$P = \boxed{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi}$$

Esta expresión de la potencia está deducida partiendo de la base que las tres tensiones de fase son iguales y están desfasadas un mismo ángulo (de aquí surge el $\sqrt{3}$, cuando se compone vectorialmente los valores de línea); además las tres corrientes son iguales entre sí y están desfasadas un mismo ángulo. Es decir que el sistema es simétrico y equilibrado y es propio de centrales generadoras, líneas de transporte de energía y las subestaciones de transformación

Hasta ahora hemos hablado de potencias como $\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$, lo cual es Potencia Activa (P). Para las potencias Reactiva (Q) y Aparente (S) los análisis matemáticos serán de la misma forma que lo desarrollado para P; y obtendremos:

- Potencia Activa: $P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$
 - Potencia Reactiva: $Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$
 - Potencia Aparente: $S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$
- EN ESTRELLA o TRIÁNGULO

Hemos calculado la potencia activa y reactiva multiplicando la tensión y

corriente de Línea por $\cos \varphi$ y $\operatorname{sen} \varphi$, siendo φ el ángulo entre la corriente y tensión de fase. Al “ $\cos \varphi$ ”, lo denominamos **factor de potencia (activo)** y al “ $\operatorname{sen} \varphi$ ” **factor de potencia reactivo**.

$$\left[\cos \varphi = \frac{P_{ac}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L} \right] \quad y \quad \left[\operatorname{sen} \varphi = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L} \right]$$

El factor de potencia reactivo no solo nos indica que porcentaje de potencia reactiva tiene el sistema sino que tipo de potencia reactiva es (a diferencia del factor de potencia activo que solo nos indica que porcentaje de potencia se transforma en potencia activa)

3.6. Comparación de las conexiones estrella-triángulo

Tomemos un sistema estrella, y conociendo que la potencia aparente monofásica de uno de los generadores del sistema trifásico en estrella es:

$$S_{fY} = \frac{U_f^2}{Z}$$

$$S_{fY} = \frac{U_L^2}{(\sqrt{3})^2 \cdot Z}$$

$$S_{IIIY} = 3 \cdot S_f$$

$$S_{IIIY} = 3 \cdot \frac{U_L^2}{(\sqrt{3})^2 \cdot Z}$$

$$S_{IIIY} = \frac{U_L^2}{Z} \quad [VA] \quad [12.22]$$

En la conexión triángulo, operando de forma análoga, tendremos:

$$S_{f\Delta} = \frac{U_L^2}{Z} = \frac{U_f^2}{Z}$$

$$S_{IIID} = 3 \cdot S_f$$

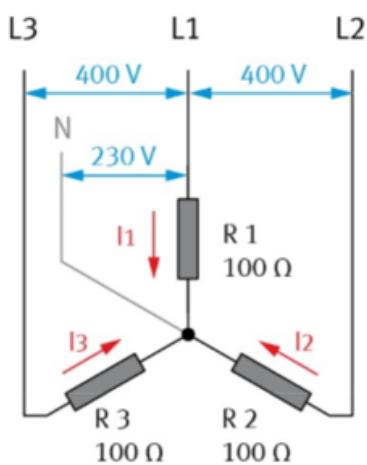
$$S_{IIID} = 3 \cdot \frac{U_L^2}{Z} \quad [12.23]$$

como $U_L^2/Z = S_{IIIY}$ tenemos

$$S_{IIID} = 3 \cdot S_{IIIY} \quad [12.24]$$

La ecuación 12.24 nos dice que la potencia desarrollada en una carga trifásica conectada en triángulo es tres veces mayor que la potencia de la misma carga conectada en estrella.

Ejemplo: Calculemos la potencia desarrollada en el sistema en estrella de la figura:

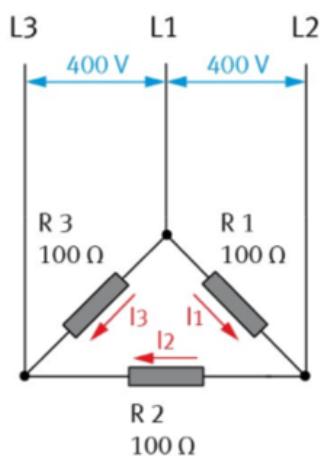


Si calculamos la potencia con los valores de fase, y teniendo en cuenta que la tensión (europea) es $U_F = 400/\sqrt{3} = 230,9$ V; y la intensidad en cada fase, por la ley de ohm, es de $I_F = 230,9/100 = 2,3$ A, tendremos:

$$P = 3 U_F I_F = 3 \cdot (400/\sqrt{3}) \cdot (230,9/100) = \mathbf{1.600 W}$$

El mismo resultado obtendríamos si lo hacemos los cálculos en función de los parámetros de línea.

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L = \sqrt{3} \cdot 400 \times 2,3 = \mathbf{1.600 W} \quad (I_L = I_F)$$



Ahora calculemos la potencia desarrollada por esas mismas cargas conectadas en triángulo:

En función de los parámetros de fase, y teniendo en cuenta que la tensión de fase es de 400 V ($V_F=V_L$) y la intensidad de fase, por la ley de ohm, es igual a $I_F = 400/100 = 4$ A, tendremos:

$$P = 3 \cdot U_F \cdot I_F = 3 \cdot 400 \cdot 4 = \mathbf{4800 W}$$

El mismo valor obtendríamos si aplicamos los valores de línea

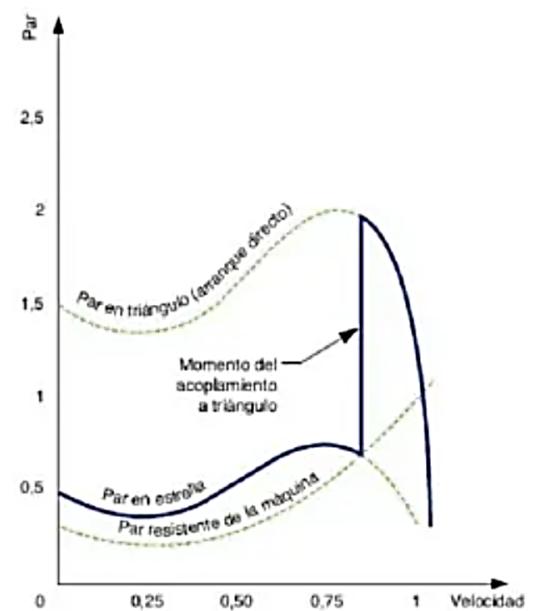
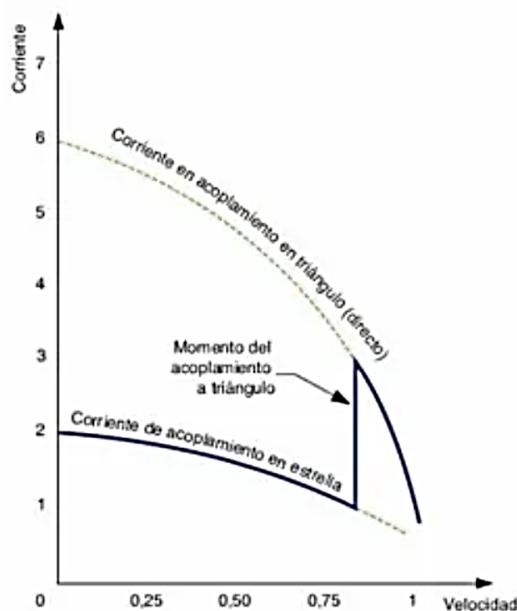
$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 6,92 = \mathbf{4800 W}$$

$$(I_L = \sqrt{3} \cdot I_F = \sqrt{3} \cdot 4 = 6,92 A)$$

Comparando tendremos: $4800 W = \boxed{P_{\text{triángulo}} = 3 \cdot P_{\text{estrella}}} = 3 \cdot 1,600 W$

Queda demostrado, tanto en función de los parámetros de fase como en función de los parámetros de línea, que una carga trifásica conectada en triángulo desarrolla tres veces más potencia que una carga conectada en triángulo

Caso clásico es el arranque estrella-triángulo, cuyo objetivo es lograr un arranque no tan abrupto del motor, con lo cual la intensidad sera $1/3$ de la de arranque en directo, también lo será el par del motor y el esfuerzo mecánico al que se somete el eje si arrancase en carga:



3.7. MEDICIÓN DE POTENCIA ACTIVA TRIFÁSICA

3.7.1. Sistemas Tetrafilares, Simétricos y Equilibrados

En un sistema trifásico equilibrado de cuatro conductores (tres fases y neutro) la potencia es igual en cada una de las tres fases, por tanto , bastará medir la potencia en una de las tres fases y multiplicar la lectura del vatímetro por tres:

$$P_{\text{trif}} = 3 \cdot P_{\text{mon}} = 3 \cdot V_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi$$

Donde P es la potencia trifásica y P_{mon} es la potencia de cada fase

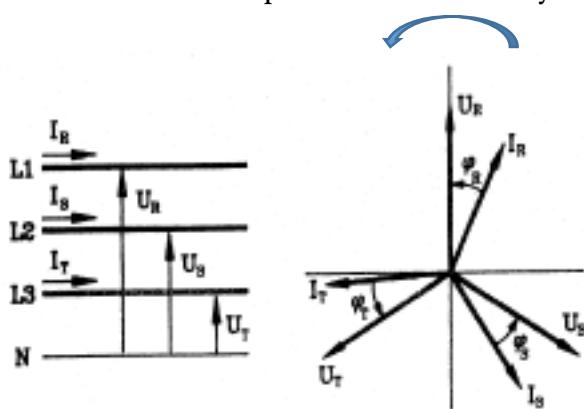


Figura 17.9. Sistema trifásico. Diagrama vectorial.

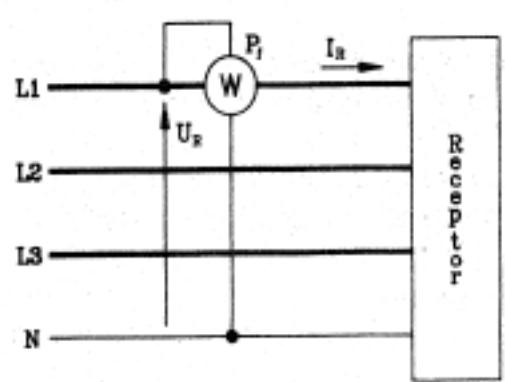


Figura 17.10. Medida de potencia con un vatímetro en un sistema trifásico equilibrado de cuatro conductores.

Como se puede ver en la figura 17.10, la rama amperométrica del vatímetro es recorrida por la intensidad que circula por la fase R y la bobina de tensión está conectada entre fase R y el neutro, por tanto, tiene aplicada la tensión de fase (V_R).

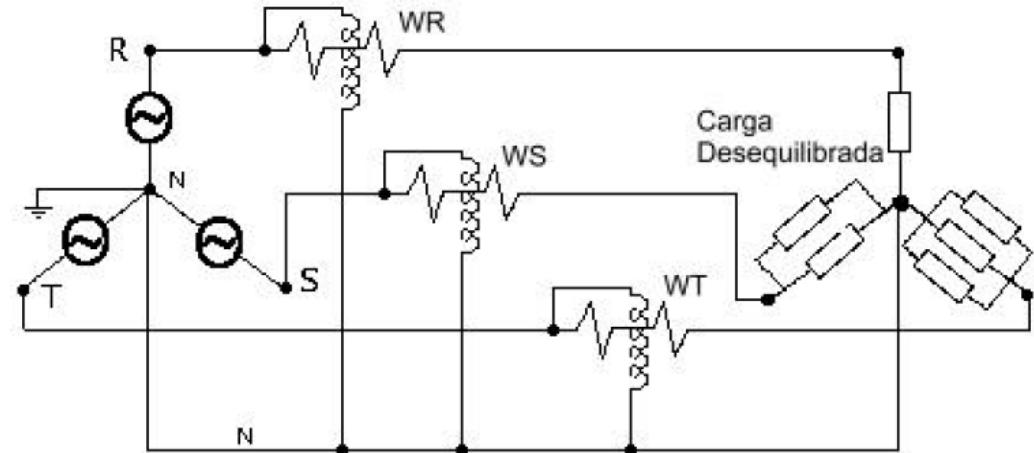
Si no se puede asegurar que el sistema es equilibrado NO se puede medir potencia trifásica colocando un solo vatímetro en una fase. Si se produjera algún cambio en la carga o en la tensión de generación, cambiaría la potencia en cada una de las fases a través del tiempo y los valores simultáneos.

En su gran mayoría las cargas trifásicas son motores (carga equilibrada).

3.7.2. Sistemas Tetrafilares, Simétricos y Desequilibrados: Método de los 3 Vatímetros

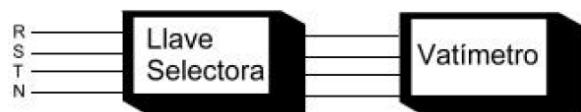
Para un sistema trifásico tetrafilar (desequilibrado, ya que tenemos corriente

por el neutro), deberemos usar tres vatímetros conectados de la siguiente forma:



$$P_{\text{Trif}} = P_{WR} + P_{WS} + P_{WT} = V_{R-N} \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R + V_{S-N} \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S + V_{T-N} \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T$$

La suma de las tres lecturas es igual a la potencia total consumida por la carga trifásica. Si la potencia no vaía con el tiempo, se puede utilizar un solo vatímetro, que se conectaría sucesivamente en las tres posiciones indicadas anteriormente como W_R , W_S y W_T . Para facilitar este proceso, se puede utilizar un conjunto de llaves selectoras que, en conjunto, me permiten cambiar las conexiones del único vatímetro a cada una de las fases rápidamente, sin necesidad de estar cambiando las conexiones del vatímetro para medir la potencia de cada fase:



3.7.3. Medición de Potencia trifásica en Líneas Trifilares

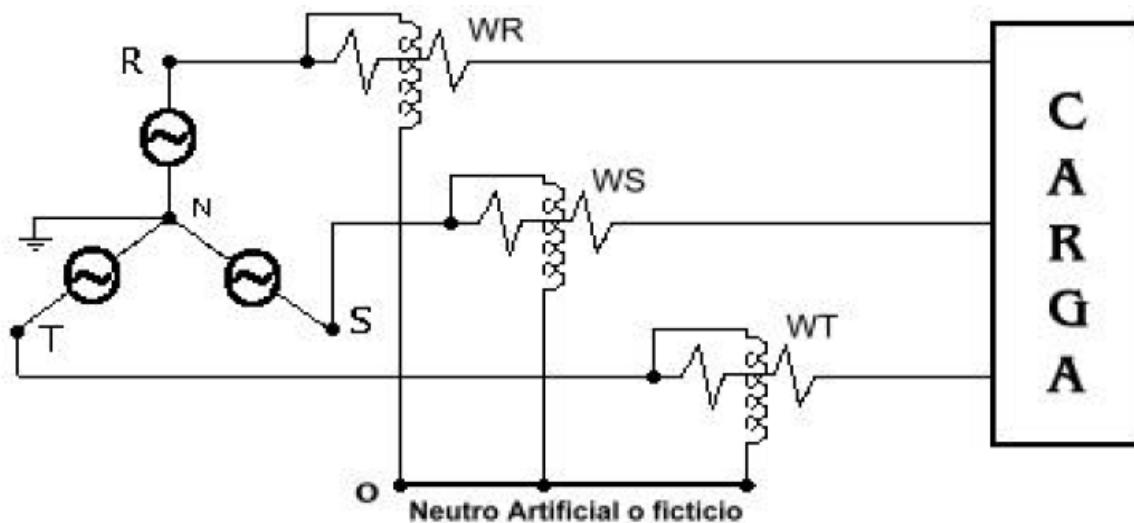
3.7.4. Medición con Vatímetro y Neutro Artificial:

La forma más simple de medir potencia activa en sistemas trifásicos sin neutro (ya sea equilibrado o no), hace uso de tres **vatímetros gemelos** (idénticas

características eléctricas) que se conectan formando una estrella, por lo que sus circuitos voltmétricos convergen a un único punto (el punto común de Blonde), que por sus características eléctricas se lo denomina neutro artificial o ficticio.

Neutro artificial: Punto común en el que las corrientes que circulan, en un sistema multifásico (en nuestro caso sistema trifásico), tienen igual módulo y están desfasadas un mismo ángulo entre si, de modo que la resultante de la suma vectorial es nula en todo momento (esto ocasiona que las tensiones que se desarrollan en las cargas, que dan origen a las corrientes en ellas, tengan el mismo módulo y desfase entre si, por lo que su suma vectorial dará 0 Volt; de ahí el nombre de Neutro). Excluimos de esta definición a los centro estrella de generadores y transformadores, que usualmente están aterrizados (conectados a tierra).

Entonces, utilizando estos tres vatímetros gemelos, cuyas ramas voltmétricas están conectadas a un punto en común (el sistema puede ser trifilar o tetrafilar), podemos demostrar que la suma de sus lecturas es igual a la potencia trifásica total del sistema:



La potencia media total entregada a la carga trifásica durante un intervalo T es:

$$P_T = \frac{1}{T} \int_0^T (u_{Rn} i_R + u_{Sn} i_S + u_{Tn} i_T) dt$$

La potencia media total medida por los tres vatímetros es:

$$P_T = \frac{1}{T} \int_0^T (u_{Rn} i_R + u_{Sn} i_S + u_{Tn} i_T) dt \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_{Gen} &= V_{RN} = V_{R0} + V_{RN} \\ &\Rightarrow V_{RN} = V_{R0} - V_{RN} \end{aligned}$$

Entonces

$$P_{Trif\ Act} = Pw_R + Pw_S + Pw_T = P_{3W}$$

Tres vatímetros miden la potencia de la carga del sistema, independientemente del equilibrio de corrientes y de la simetría de las tensiones. También es válido el método, aunque la carga esté conectada en estrella o en triángulo, ya que si se reduce el triángulo a estrella se verifica el enunciado.

Como las impedancias de las ramas voltimétricas de los tres vatímetros son iguales (vatímetros gemelos), la unión en estrella formará un neutro artificial ya que cumple con su definición.

Neutro:

Es el conductor, que conectado eléctricamente a un circuito, no presenta diferencia de potencial respecto de tierra; y respecto a una fase tendrá como diferencia de potencial la de esa fase.

Como caso particular podemos definir al Neutro Trifásico: cuando las tensiones desde el nodo hacia cada línea, es la misma en módulo, y desfasada 120° (el resultado será que la suma vectorial en todo momento será nula):

Nota: No es requisito, en un sistema multifásico que

$$|\bar{U}_{R-0}| = |\bar{U}_{S-0}| = |\bar{U}_{T-0}|$$

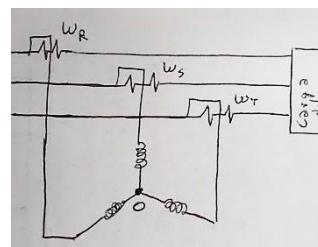
En el grafico de nuestro sistema de cargas podemos observar que en la conexión de los vatímetros, sus circuitos voltimétricos estan unidos al punto “O”, siendo éste punto un centro estrella.

Para que éste punto tenga las características de un neutro artificial debe tener la misma diferencia de potencial con cada una de las tres fases, es decir:

$$|\bar{U}_{R-0}| = |\bar{U}_{S-0}| = |\bar{U}_{T-0}|$$

Para que esto sea cierto, las tres tensiones compuestas deben ser iguales:

$$|\bar{U}_{R-S}| = |\bar{U}_{S-T}| = |\bar{U}_{T-R}|$$



Además se debe cumplir que la impedancia de las tres ramas voltmétricas de los vatímetros, sean iguales entre sí, a fin de que la distribución de tensiones sea uniforme.

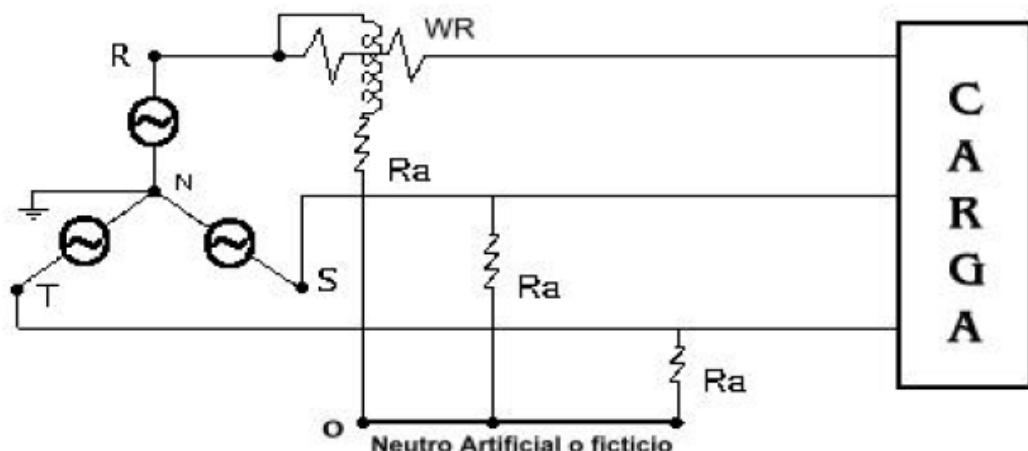
$$Zv_{(WR)} = Zv_{(WS)} = Zv_{(WT)}$$

En general las ramas voltmétricas son prácticamente resistivas puras, para limitar la corriente y a su vez aumentar el alcance; todos los vatímetros tienen en esa rama resistencias óhmicas muy elevadas. Concluimos que la igualdad de impedancias se convierte en igualdad de resistencias:

$$Rv_{(WR)} = Rv_{(WS)} = Rv_{(WT)} \quad (2)$$

Esta última nos da la posibilidad de medir con un solo vatímetro si el sistema es equilibrado, ya que entonces sabemos de antemano que las tres potencias monofásicas son iguales. Bastará medir una sola y multiplicar por tres para hallar la potencia trifásica total.

Para satisfacer la expresión (2) reemplazaremos los otros dos instrumentos por resistencias de igual valor óhmico a la rama voltmétrica del vatímetro. Para realizar ésta medición se construyen vatímetros que ya cuentan internamente con las resistencias para las otras fases.



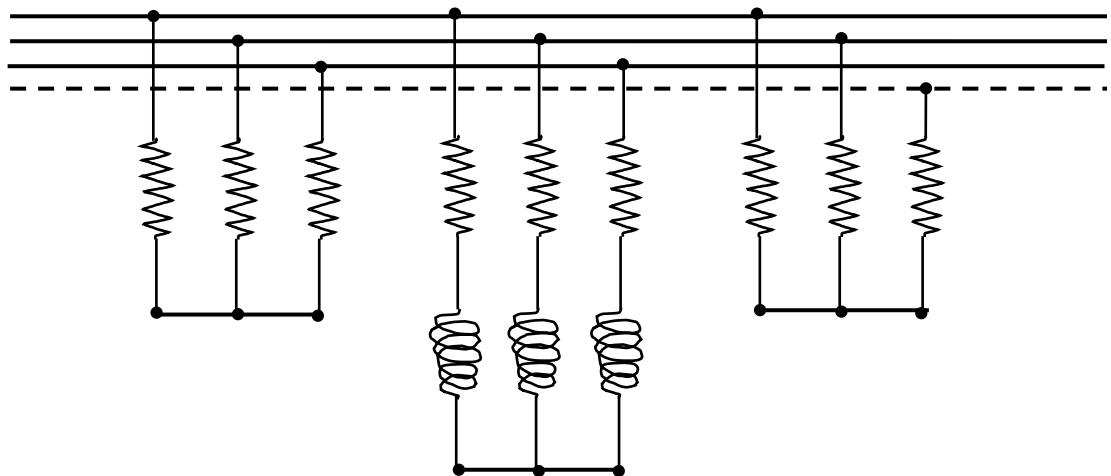
Esto nos permite realizar la medición de la potencia activa del sistema trifásico trifilar equilibrado con un solo vatímetro

$$P_T = 3 \cdot P_{WR}$$



Conclusión: el método de los tres vatímetros nos da la potencia activa del cualquier sistema; si el mismo es trifilar los vatímetros deberán ser gemelos así el centro estrella formado por ellos se convierte en un neutro artificial, validando el método.

Otros ejemplos de neutros artificiales:



3.7.4.1. Teorema de Blondel de la medición de energía

El teorema de Blondel, formulado por el ingeniero eléctrico francés André Blondel, es una simple regla que especifica el número mínimo de instrumentos requeridos para medir la potencia o energía en cualquier sistema de conductores eléctricos:

“La potencia en un circuito de N fases se puede medir con N vatímetros monofásicos de modo tal que cada uno tenga su bobina de intensidad en una de las N fases y la bobina de tensión entre dicha fase y un punto en común”. Un caso particular se da si el punto común es una de las fases; entonces la potencia o energía puede ser medida por $N - 1$ elementos.

De acuerdo con esto último, un circuito trifásico trifilar necesitará 2 vatímetros monofásicos (o un medidor de energía de dos elementos); y un circuito trifásico tetrafilar requerirá de 3 vatímetros monofásicos (o un medidor de energía de tres elementos).

Al probar la teoría, el siguiente análisis hace razonable el teorema de Blondel:

La potencia en un sistema trifásico trifilar es la sumatoria del aporte de cada una de las fases:

$P = V_1I_1 + V_2I_2 + V_3I_3$ (1); donde I y V representan las corrientes y tensiones de fase respectivamente.

Ahora, en cualquier sistema, las corrientes instantáneas sumadas vectorialmente son iguales a cero; tomemos un sistema trifilar:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \text{ ó } I_3 = -(I_1 + I_2)$$

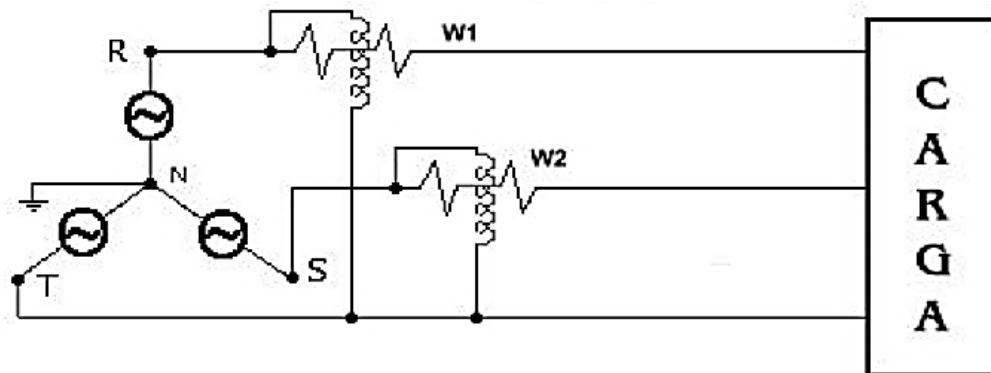
Sustituyendo en (1):

$$P = I_1(V_1 - V_2) + I_3(V_3 - V_2) \quad (2)$$

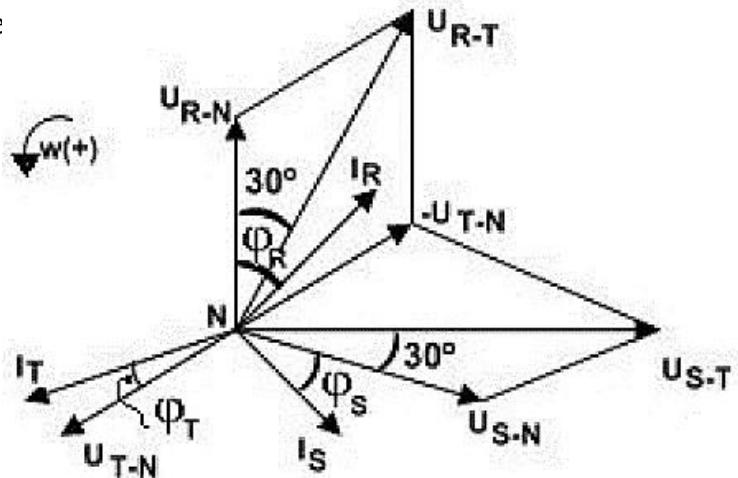
Entonces, si **el punto común de tensión se hace sobre la fase 2**, con dos vatímetros monofásicos podremos medir correctamente un circuito trifásico de tres hilos, al colocar los extremos de la bobina voltmétrica de W_1 entre las tensiones V_1 y V_2 , y la de W_2 entre V_3 y V_2 (Esto comúnmente es llamado el método de los dos vatímetros o conexión ARON).

3.7.5. Medición con 2 Vatímetros: el MÉTODO DE ARON (gral)

Aquí demostraremos que podemos medir potencia trifásica con dos instrumentos cuando el sistema no tiene neutro, es decir, cuando sea trifilar. En principio utilizaremos vatímetros, tal como muestra el circuito de la figura, donde el punto común de los dos voltímetros, para este caso, es la fase T (recordar teorema de Blondel):



La construcción del diagrama vectorial correspondiente a la conexión de los vatímetros realizada se



(solo hemos construido las composiciones vectoriales de las tensiones compuestas a las que están sometidas las bobinas voltmétricas)

Demostraremos que “la suma de los valores indicados por los vatímetros es igual a la potencia trifásica del sistema” (ya que es igual a haber sumado las potencias monofásicas del sistema). En fórmula:

Nota:

$$\bar{P}_{trif} = \bar{P}_{R-T} + \bar{P}_{S-T} = W1 + W2$$

Donde:

$$\bar{P}_{R-T} = \bar{U}_{R-T} \times \bar{I}_R$$

$$\bar{P}_{S-T} = \bar{U}_{S-T} \times \bar{I}_S$$

- V_{RT} es una tensión entre dos fases,

Siendo $\bar{U}_{R-T}, \bar{U}_{S-T}, \bar{I}_R, \bar{I}_T$, tensiones e intensidades de línea, puesto que no se conoce el tipo de conexión en la carga. Aplicando las leyes de Kirchoff para intensidades y tensiones:

$$\bar{I}_R + \bar{I}_S + \bar{I}_T = 0 \quad (1) \quad \text{Sistema Trifilar (3 hilos).}$$

- No imponemos la condición de que el sistema sea equilibrado

$$\bar{U}_{R-S} + \bar{U}_{S-T} + \bar{U}_{T-R} = 0$$

- No imponemos la condición de que el sistema sea simétrico.

Además se cumple siempre que:

$$\bar{U}_{R-T} = \bar{U}_{R-N} - \bar{U}_{T-N} \quad (\text{En nuestro caso el vatímetro W1 está conectado en la fase R,})$$

$$\bar{U}_{S-T} = \bar{U}_{S-N} - \bar{U}_{T-N} \quad (\text{modo que la tensión es } U_{R-T})$$

$$\bar{U}_{R-T} = -\bar{U}_{T-R}$$

Entonces, podemos demostrar vectorialmente

$$Pw1 = U_{R-T} I_R \cdot \cos(\bar{U}_{R-T} \wedge \bar{I}_R) = U_{R-T} I_R \cdot \cos(\varphi_R - 30^\circ) = \bar{U}_{R-T} \times \bar{I}_R \quad ; X = \text{Producto Vectorial}$$

$$Pw2 = U_{S-T} I_S \cdot \cos(\bar{U}_{S-T} \wedge \bar{I}_S) = U_{S-T} I_S \cdot \cos(\varphi_S + 30^\circ) = \bar{U}_{S-T} \times \bar{I}_S$$

$$Pw_1 + Pw_2 = \bar{U}_{R-T} \times \bar{I}_R + \bar{U}_{S-T} \times \bar{I}_S = [\bar{U}_{R-N} - \bar{U}_{T-N}] \times \bar{I}_R + [\bar{U}_{S-N} - \bar{U}_{T-N}] \times \bar{I}_S$$

$$Pw_1 + Pw_2 = \bar{U}_{R-N} \times \bar{I}_R - \bar{U}_{T-N} \times \bar{I}_R + \bar{U}_{S-N} \times \bar{I}_S - \bar{U}_{T-N} \times \bar{I}_S$$

$$Pw_1 + Pw_2 = \bar{U}_{R-N} \times \bar{I}_R + \bar{U}_{S-N} \times \bar{I}_S + \bar{U}_{T-N} \times \left(\frac{-\bar{I}_R - \bar{I}_S}{I_T} \right)$$

$$\text{De (1)} \quad I_T = -I_R - I_S$$

$$Pw_1 + Pw_2 = \bar{U}_{R-N} \times \bar{I}_R + \bar{U}_{S-N} \times \bar{I}_S + \bar{U}_{T-N} \times \bar{I}_T$$

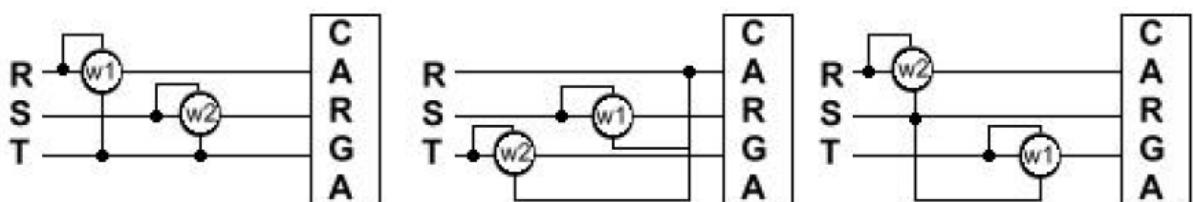
$$Pw_1 + Pw_2 = \underbrace{\bar{U}_{R-N} \bar{I}_R \cdot \cos \varphi_R}_{\downarrow} + \underbrace{\bar{U}_{S-N} \bar{I}_S \cdot \cos \varphi_S}_{\downarrow} + \underbrace{\bar{U}_{T-N} \bar{I}_T \cdot \cos \varphi_T}_{\downarrow}$$

$$Pw_1 + Pw_2 = P_{wR} + P_{wS} + P_{wT} = P_{trif.act.}$$

Con esto hemos demostrado que sumar la lectura de los dos vatímetros que hemos conectado (porque en principio utilizamos dicho instrumento para la demostración), es igual a haber sumado la lectura de tres vatímetros monofásicos conectados en cada una de las fases, lo cual constituye la medición de potencia de un sistema trifásico. Entonces **hemos demostrado que utilizando dos instrumentos hemos medido la potencia de un sistema trifásico.**

Para este desarrollo solo se impone que el sistema sea trifilar y se respete la secuencia de conexión de los vatímetros, determinándose claramente quien es W_1 y quien W_2

Secuencia de conexión de los vatímetros en el método de Aron: se debe respetar la secuencia de rotación de fases **R-S-T-R...** (secuencia directa), o la **T, R, S...** (secuencia inversa); esto es: al colocar el primer vatímetro en una fase, en la fase siguiente que indica la secuencia se coloca el segundo vatímetro, quedando la fase restante como punto común para las ramas voltmétricas. Una vez elegida una secuencia no se cambia en todo el proceso de mediciones a realizar.



Conclusiones

1. La suma de las mediciones de los dos vatímetros es igual a la suma de las indicaciones que hubieran revelado tres vatímetros conectados a cada una de las fases y neutro artificial. Es decir que se obtiene con éste método una medición de potencia trifásica.
2. Como no hemos impuesto condiciones de simetría ni de equilibrio para demostrar el método, decimos que sirve para medir potencia en **cualquier sistema trifásico**, simétrico o no, equilibrado o no, **siempre que sea trifilar**.
3. Este método solo es posible de utilizarse, cuando no existe conductor neutro, o bien si previamente puede garantizarse (por medición) que la intensidad del neutro es nula.
4. Es independiente de que la carga esté conectada en estrella o triángulo.
5. El método de Aron se emplea en sistemas de transmisión (alta tensión) y de distribución primaria (media tensión), que son sistemas trifásicos que nunca poseen neutro. Desde luego que habrá que utilizar transformadores de medida (TI, TV) para conectar los vatímetros.
6. También se los utiliza en la industria cuando se trata de grandes potencias, por ejemplo, en explotaciones petrolíferas, explotaciones mineras, etc., pues constituyen sistemas trifásicos sin neutro.

Antes de conectar un vatímetro se debe medir la intensidad y tensión para evitar el deterioro del instrumento por someterlo a magnitudes excesivas (al no seleccionar correctamente su escala)

Valores usuales de tensiones:

220 – 380	[V]	B.T.
13,2 – 33 – 66	[KV]	M.T.
132 – 220 – 330 – 500	[KV]	A.T.

Nota: Las conexiones en MT y AT se

3.7.5.1. Aplicación del método de Aron: Determinación de la Potencia Activa

Ahora demostraremos que si utilizamos este método con vatímetros, podemos determinar la potencia activa de un sistema trifásico, luego lo haremos con varímetros.

Si bien en la demostración anterior utilizamos vatímetros a modo de ejemplo y obtuvimos la pot trifásica activa; aquí lo planteamos por otro camino:

De acuerdo al circuito eléctrico y al diagrama vectorial descriptos en la demostración anterior, tenemos:

$$P_{w1} = U_{R-T} \cdot I_R \cdot \cos(\varphi_R - 30^\circ)$$

$$P_{w2} = U_{S-T} \cdot I_S \cdot \cos(\varphi_S + 30^\circ)$$

Entonces si es simétrico y equilibrado:

$$|U_{R-T}| = |U_{S-T}| = |U_C| ; V_C = V_{compuesta} = V_L$$

$$|I_R| = |I_S| = |I| ; \text{son corrientes de línea}$$

$$\varphi_R = \varphi_S = \varphi$$

Si hacemos la suma de los valores leídos de P_{w1} y P_{w2} obtendremos:

$$P_{w1} + P_{w2} = U_C \cdot I \cdot \cos(\varphi - 30^\circ) + U_C \cdot I \cdot \cos(\varphi + 30^\circ)$$

$$P_{w1} + P_{w2} = U_C \cdot I [\cos(\varphi - 30^\circ) + \cos(\varphi + 30^\circ)]$$

$$P_{w1} + P_{w2} = U_C \cdot I (\cos \varphi \cdot \cos 30^\circ + \sin \varphi \cdot \sin 30^\circ + \cos \varphi \cdot \cos 30^\circ - \sin \varphi \cdot \sin 30^\circ)$$

$$P_{w1} + P_{w2} = U_C \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \underbrace{2 \cdot \cos 30^\circ}_{\sqrt{3}}$$

$$P_{w1} + P_{w2} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi = P_{\text{trif act}}$$

3.7.6. Curvas de Potencia del Método de Aron

Si ahora tomamos la medición sobre la carga que representa, por ejemplo, un motor trifásico alimentado simétricamente, la potencia activa, como vimos anteriormente, será:

$$P_{w1} = U_{R-T} \cdot I_R \cdot \cos(\varphi_R - 30^\circ)$$

$$P_{w2} = U_{S-T} \cdot I_S \cdot \cos(\varphi_S + 30^\circ)$$

$$PT = P_{w1} + P_{w2}$$

Por el tipo de carga podemos escribir :

$$P_{w1} = U_C \cdot I \cdot \cos(\varphi - 30^\circ) = k \cdot \cos(\varphi - 30^\circ)$$

$$P_{w2} = U_C \cdot I \cdot \cos(\varphi + 30^\circ) = k \cdot \cos(\varphi + 30^\circ)$$

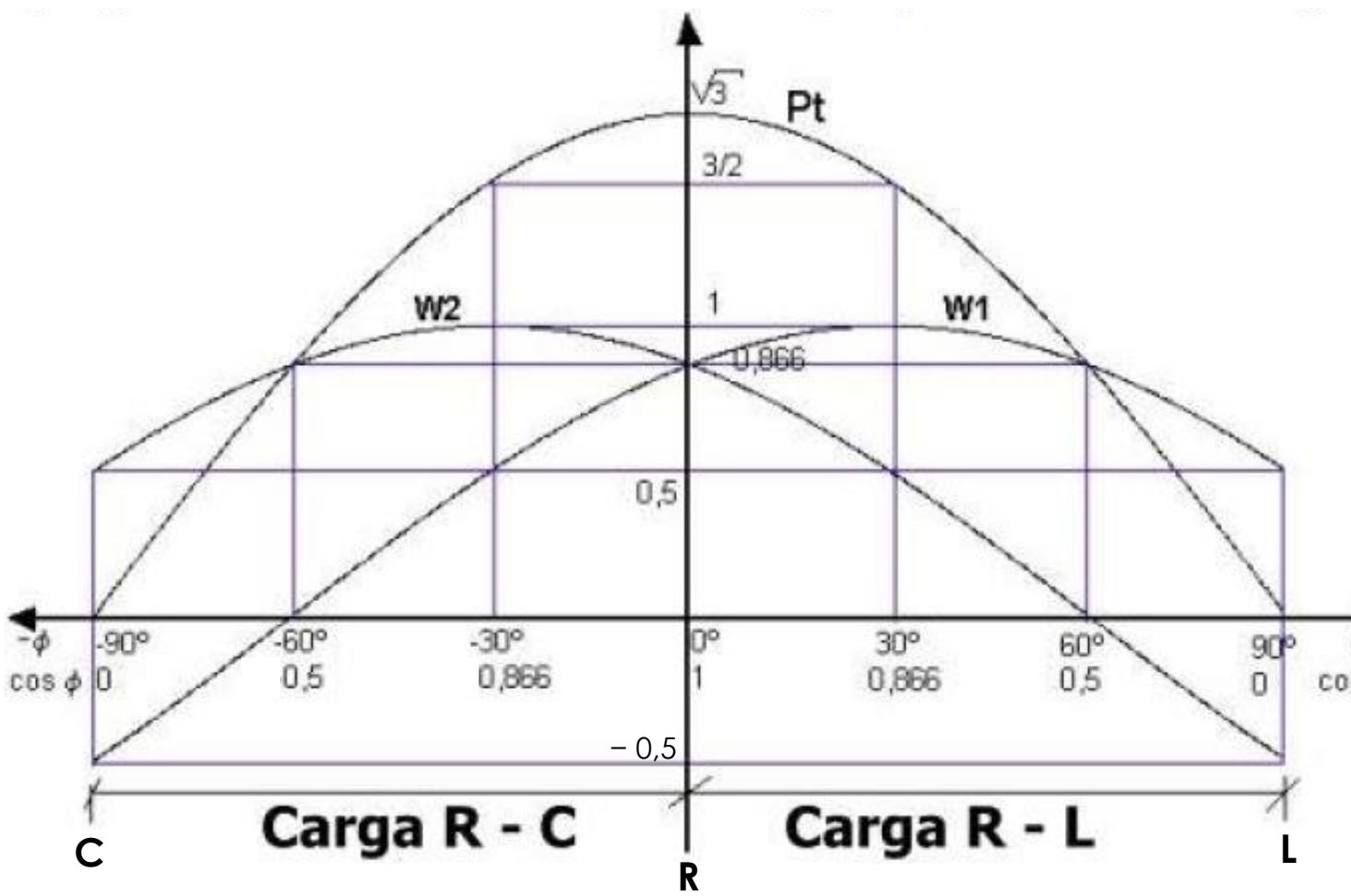
$$P_{\text{trif act}} = P_{w1} + P_{w2} = K [\cos(\varphi - 30^\circ) + \cos(\varphi + 30^\circ)]$$

Con estas ecuaciones de P_{w1} , P_{w2} creamos una tabla de valores en función del ángulo φ :

(PT es la suma de P_{w1} , P_{w2})

Φ	Pw1	Pw2	PT	
0°	$\frac{\sqrt{3}}{2} k$	$\frac{\sqrt{3}}{2} k$	$\sqrt{3}k$	CARGA RESISTIVA
30°	k	$\frac{1}{2}k$	$\frac{3}{2}k$	CARGA RESISTIVO-INDUCTIVA
60°	$\frac{\sqrt{3}}{2} k$	0	$\frac{\sqrt{3}}{2} k$	CARGA INDUCTIVA
90°	$\frac{1}{2}k$	$-\frac{1}{2}k$	0	CARGA RESISTIVA-CAPACITIVA
-30°	$\frac{1}{2}k$	k	$\frac{3}{2}k$	CARGA CAPACITIVA
-60°	0	$\frac{\sqrt{3}}{2} k$	$\frac{\sqrt{3}}{2} k$	
-90°	$-\frac{1}{2}k$	$\frac{1}{2}k$	0	

Si completamos esta tabla para todos los valores de φ entre 90° y -90° y los representamos en un gráfico, obtenemos lo que denominamos **Curva de Potencia de Aron**:



Analizando el gráfico podemos ver, entre otras observaciones, que: cuando la carga es R-L la indicación de W_1 siempre es positiva, y si la carga es R-C, W_2 siempre es positivo y el que cambia de signo en algún momento es W_1 ; es decir:

$$W_1 > W_2 \rightarrow \text{Carga R-L} \quad 0^\circ < \varphi < 90^\circ$$

$$W_2 > W_1 \rightarrow \text{Carga R-C} \quad -90^\circ < \varphi < 0^\circ$$

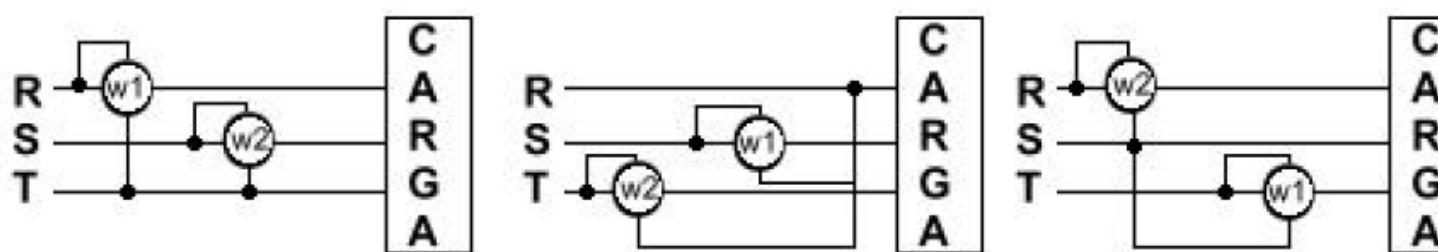
$$W_1 = W_2 \rightarrow \text{Carga R pura} \quad \varphi = 0^\circ$$

$$W_2 = -W_1 \rightarrow \text{carga C Pura} \quad \varphi = -90^\circ$$

etc...

Para poder interpretar todos estos datos correctamente es necesario que se respete la secuencia de conexión de los vatímetros, es decir, que debe determinarse claramente qué lectura corresponde al W_1 y cuál al W_2 (para este ejemplo tomamos

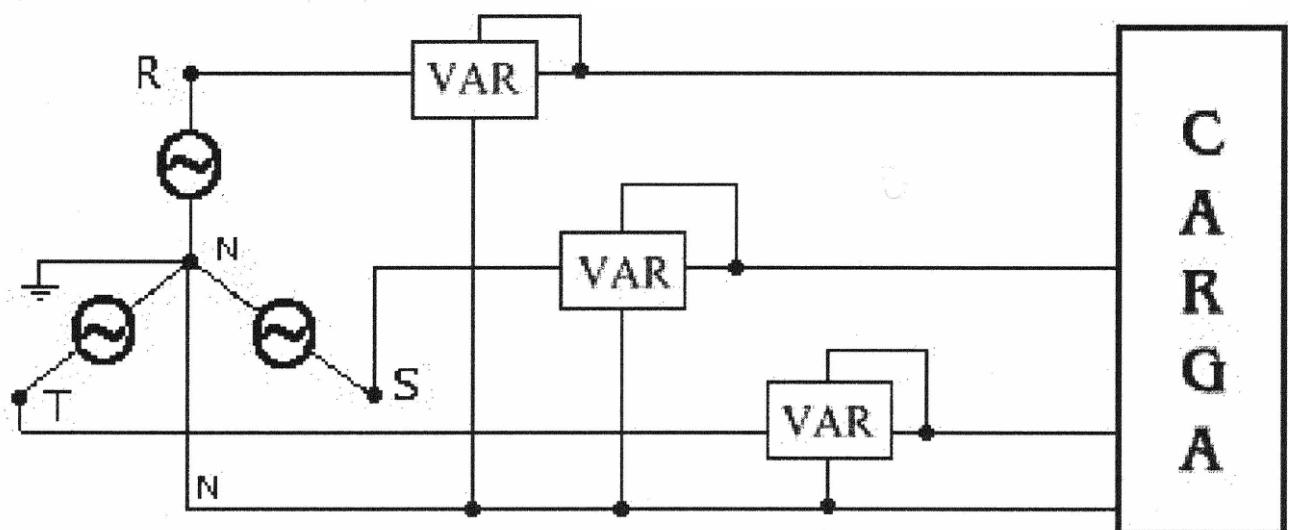
la secuencia positiva):



3.8. MEDICIÓN DE POTENCIA REACTIVA TRIFÁSICA

3.8.1. Método de los tres varímetros

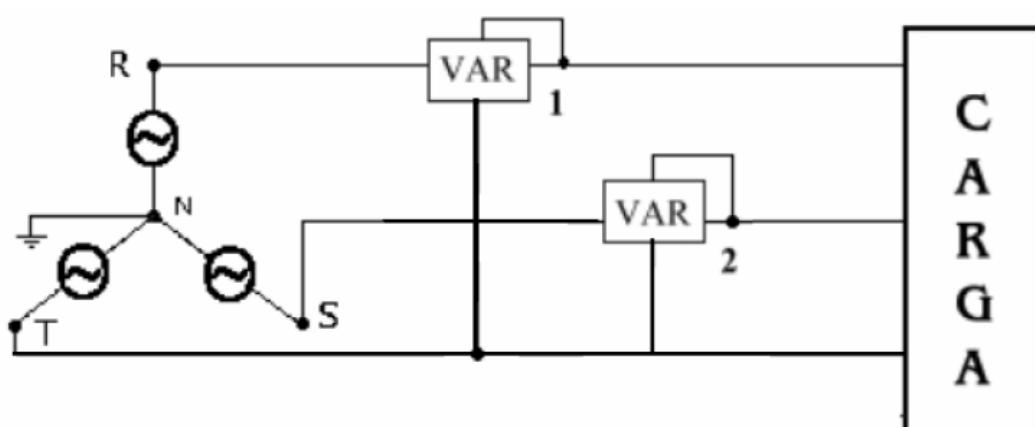
Aquí mediante tres varímetros determinamos la potencia reactiva del sistema trifásico, ya sea de un sistema tetrafilar como el de la figura o en un sistema trifilar donde utilizaremos neutro artificial y varímetros gemelos (análogamente al método de los tres vatímetros cuando determinamos la pot activa trif):



$$P_{reacttrif.} = U_{R-N} \cdot I_R \cdot \sin\varphi_R + U_{S-N} \cdot I_S \cdot \sin\varphi_S + U_{T-N} \cdot I_T \cdot \sin\varphi_T$$

$$P_{react. trif.} = P_{VAR_R} + P_{VAR_S} + P_{VAR_T}$$

3.8.2. Método de los 2 varímetros (ARON):



De forma análoga a la demostración del método de Aron con vatímetros para

medir potencia activa, se realiza la demostración del método de Aron con dos Varímetros para medir potencia reactiva en un sistema trifásico trifilar; observándose las mismas consideraciones y conclusiones que en la demostración anterior. Para este caso, los parámetros que leen los Varímetros serán:

$$P_{react\,trif} = U_{R-T} \cdot I_R \cdot \operatorname{sen}(\overline{U}_{R-T} \wedge \overline{I}_R) + U_{S-T} \cdot I_S \cdot \operatorname{sen}(\overline{U}_{S-T} \wedge \overline{I}_S)$$

$$\cdot$$

$$\cdot$$

realizando los mismos pasos y consideraciones que en la demostración con vatímetros, aquí llegaremos a la conclusión que:

$$P_{react\,trif} = P_{VAR(R-T)} + P_{VAR(S-T)}$$

Este método se utiliza en sistemas trifilares donde, al igual que en potencia activa, tampoco importa si el sistema es equilibrado.

3.8.3. Medición de potencia Reactiva por el Método de Aron mediante Vatímetros

Si en vez de realizar la suma de las lecturas de los vatímetros involucrados en el método de Aron, REALIZAMOS SU RESTA, TENDREMOS:

Recordemos que:

$$Pw_1 = U_{R-T} \cdot I_R \cdot \cos(\varphi_R - 30^\circ)$$

$$Pw_2 = U_{S-T} \cdot I_S \cdot \cos(\varphi_S + 30^\circ)$$

=> realizando la resta:

$$Pw_1 - Pw_2 = U_C \cdot I \cdot \cos(\varphi - 30^\circ) - U_C \cdot I \cdot \cos(\varphi + 30^\circ)$$

$$Pw_1 - Pw_2 = U_C \cdot I \cdot [\cos(\varphi - 30^\circ) - \cos(\varphi + 30^\circ)]$$

$$Pw_1 - Pw_2 = U_C \cdot I \cdot (\cos \varphi \cdot \cos 30^\circ + \operatorname{sen} \varphi \cdot \operatorname{sen} 30^\circ - \cos \varphi \cdot \cos 30^\circ - \operatorname{sen} \varphi \cdot \operatorname{sen} 30^\circ)$$

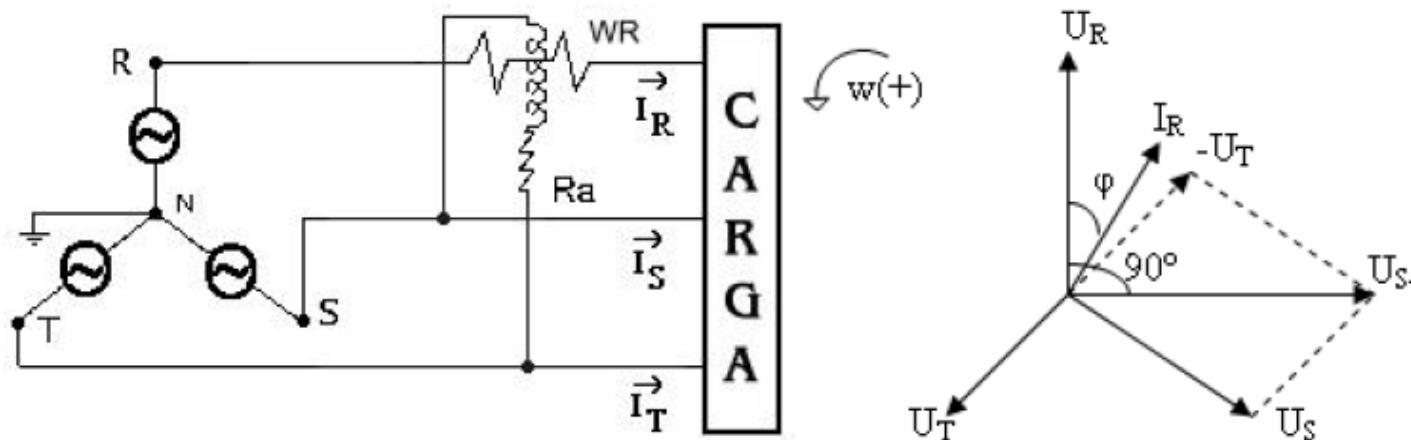
$$Pw_1 - Pw_2 = U_C \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi \cdot \underbrace{2 \cdot \operatorname{sen} 30^\circ}_1$$

$$Pw_1 - Pw_2 = U_C \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi$$

Pero nuestro objetivo es obtener la potencia reactiva trifásica y no la monofásica, por lo que afectamos a ambos miembros de la igualdad anterior por $\sqrt{3}$.

$$\sqrt{3} \cdot (Pw_1 - Pw_2) = \sqrt{3} \cdot U_C \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi = P_{React\,Trif}$$

3.8.4. Medición de la POTENCIA REACTIVA trifásica en un sistema simétrico y equilibrado MEDIANTE VATIMETRO



$$P_W = I_R U_{S-T} \cdot \cos(\vec{I}_R \wedge \vec{U}_{S-T})$$

$$P_W = I_R U_{S-T} \cdot \cos(90^\circ - \varphi) \quad (1)$$

$$\cos(90^\circ - \varphi) = \sin \varphi \quad (2)$$

$$P_W = I_R U_{S-T} \sin \varphi$$

$$P_W = I_R \underbrace{\sqrt{3} U_{fase}}_{U_{S-T}} \sin \varphi$$

$$P_W = \sqrt{3} \cdot P_{reactiva \text{ monofásica}}$$

Es el paso de la relación (1) a la (2) quien nos permite medir pot reactiva con el Vatiímetro (ur

$$\sqrt{3} P_W = \sqrt{3} \sqrt{3} I_R V_f \operatorname{Sen} \varphi = Q_{\text{Trifásica}}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{trif}} = \sqrt{3}$$

Teniendo un sistema simétrico, trifilar y **equilibrado** es posible obtener la potencia reactiva trifásica contando con un vatímetro; para ello es requisito

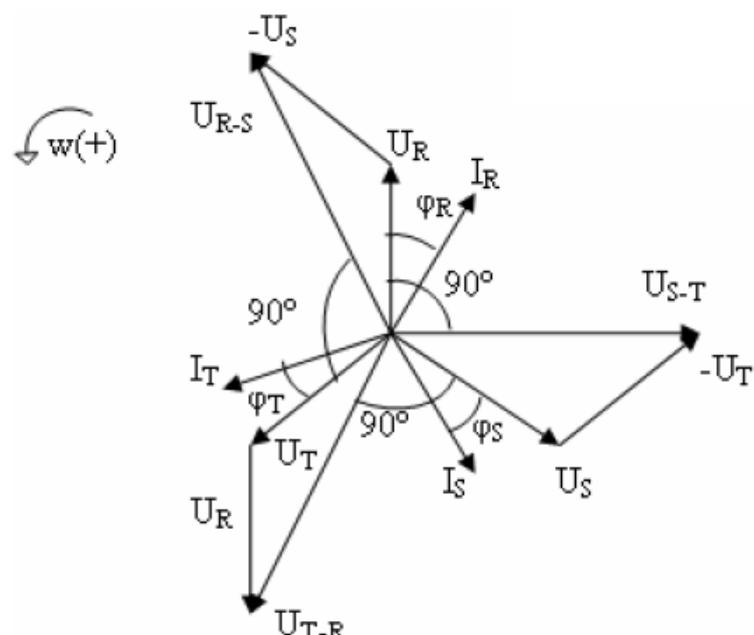
conectarlo de acuerdo al esquema de la figura, donde: la bobina de intensidad se conecta a una de las fases y la de tensión a las fases restantes (siguiendo la secuencia directa), de esta forma se produce el desfasaje de 90° entre la tensión correspondiente a la fase que se conecta la bobina de intensidad (V_R) y la tensión con la cual trabaja la bobina de tensión (V_{s-t}) (ver diagrama vectorial).

Se debe respetar la secuencia de conexión R-S-T (para este caso) para que el diagrama vectorial y los cálculos desarrollados sean válidos: bobina intensidad en fase R y bobina de tensión entre fase S y T (no T y S).

3.8.4.1. Para el caso de sistema desequilibrado:

C O M P L E T E

Gráfico de conexión



$$\begin{aligned} \sum \text{lectura de los 3 vatímetros} = & \left[I_R \cdot U_{S-T} \cdot \cos\left(\bar{I}_R \wedge \bar{U}_{S-T}\right) + I_S \cdot U_{T-R} \cdot \cos\left(\bar{I}_S \wedge \bar{U}_{T-R}\right) + \right. \\ & \left. + I_T \cdot U_{R-S} \cdot \cos\left(\bar{I}_T \wedge \bar{U}_{R-S}\right) \right] \end{aligned}$$

Por ser alimentación simétrica $\Rightarrow |\bar{U}_{S-T}| = |\bar{U}_{T-R}| = |\bar{U}_{R-S}| = U_{\text{compuestas}} = U_L$

$$\cos\left(\bar{I}_R \wedge \bar{U}_{S-T}\right) = \cos(90 - \varphi_R) = \sin\varphi_R$$

$$\cos\left(\bar{I}_S \wedge \bar{U}_{T-R}\right) = \cos(90 - \varphi_S) = \sin\varphi_S$$

$$\sum \text{lectura de los 3 vatímetros} = U_L \cdot I_R \cdot \text{Sen} \varphi_R + U_L \cdot I_S \cdot \text{Sen} \varphi_S + U_L \cdot I_T \cdot \text{Sen} \varphi_T$$

Por ser $U_L = \sqrt{3} U_{\text{fase}}$ $\Rightarrow \sum P_w = \sqrt{3} \left(\underbrace{U_f I_R \text{Sen} \varphi_R}_{\text{Pr mon}} + \underbrace{U_f I_S \text{Sen} \varphi_S}_{\text{Pr mon}} + \underbrace{U_f I_T \text{Sen} \varphi_T}_{\text{Pr mon}} \right)$

$$Q_{\text{trif}} = \sqrt{3} \cdot \sum Q_{\text{monofásicas}}$$

Donde la $Q_{\text{trifásica}}$ nos queda incrementada en un factor de $\sqrt{3}$, entonces:

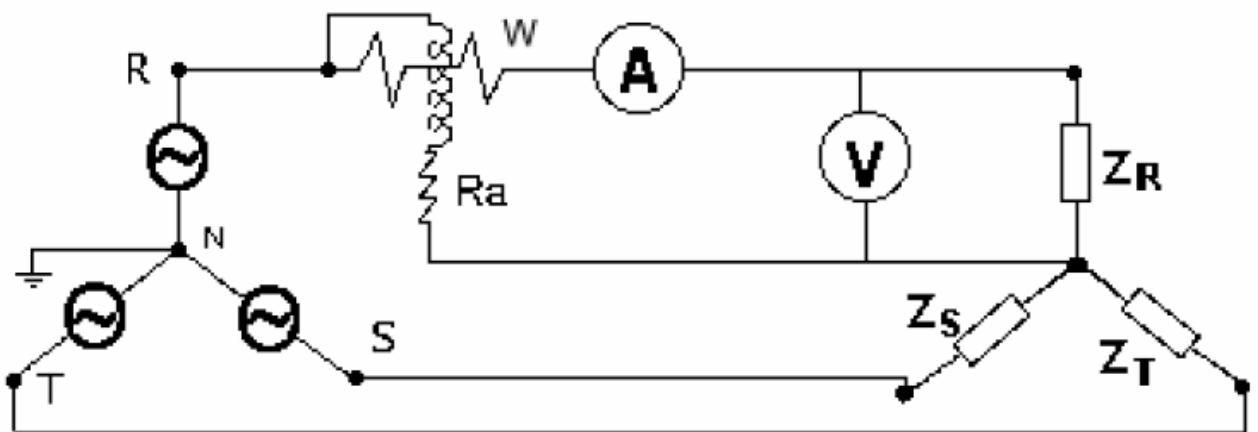
$$P_{\text{reacttrif.}} = \frac{1}{\sqrt{3}} (P_{WR} + P_{WS} + P_{WT})$$

La potencia reactiva trifásica es igual a la suma de las lecturas de los vatímetros dividido por $\sqrt{3}$, puesto que cada vatímetro mide la potencia reactiva de una fase aumentada en $\sqrt{3}$, por el hecho de que la bobina de tensión trabaja con una tensión compuesta en vez de hacerlo con la tensión de fase.

Como se puede observar en el esquema de conexión anterior, se utilizan 3 vatímetros para potencia activa conectados en la forma indicada, es decir con la bobina de tensión trabajando con las fases que quedan libres, con respecto a donde se conectó la bobina de intensidad. Entonces la bobina voltmétrica tiene aplicada la tensión compuesta o de línea que es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase (considerando siempre un sistema de alimentación en estrella)

A pesar de existir la posibilidad de acceder al centro estrella (neutro), NO es posible conectar las bobinas de tensión a la tensión de fase, porque no se lograría el desfaseje de 90° entre la tensión simple de la fase donde se ha conectado la bobina amperométrica y la tensión compuesta a la que está sometida la bobina de tensión

3.8.5. Determinación del ángulo φ mediante método indirecto en sistemas Trifásicos



Cuando el sistema es simétrico y *equilibrado*, el desfase entre la tensión y la corriente es el mismo para cada fase, por lo cual el factor de potencia trifásico medio coinsidirá con el factor de potencia en cada fase. Este valor se determina con un vatímetro, un voltímetro y un amperímetro, que medirán la potencia, tensión y corriente en una de las fases; como se muestra en la figura superior.

En el caso que las cargas del sistema sean desiguales, es decir estamos ante un sistema *desequilibrado*; habrá que obtener el factor de potencia de cada fase y luego calcular su valor promedio para obtener el $\cos \varphi$ trifásico.

Determinación del Factor de potencia trifásico: es el promedio de los tres factores de potencia monofásicos:

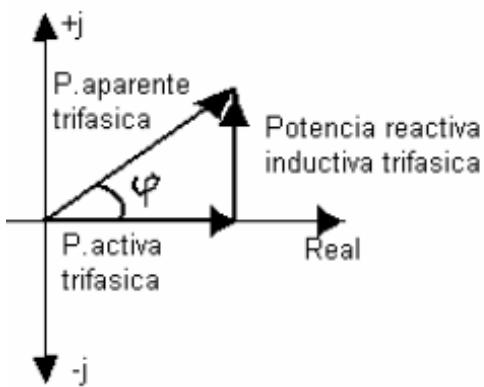
$$\cos \varphi_{\text{trif}} = (\cos \varphi_R + \cos \varphi_S + \cos \varphi_T) / 3 = P_{\text{trif}} / \sqrt{3} V_L I_L$$

Para el caso de **sistemas equilibrados**, el **ángulo φ de cada fase es el mismo** por lo que el **φ trifásico** coinsidirá con cualquiera de ellos:

siendo $\cos \varphi_R = \cos \varphi_S = \cos \varphi_T = \cos \varphi_{\text{monof}}$, entonces para este caso:

$$\cos \varphi_{\text{trif}} = 3 \cos \varphi_{\text{monof}} / 3 = \cos \varphi_{\text{monof}} = P_{\text{monof}} / V I$$

3.8.5.1. Método de Aron (con vatímetros)



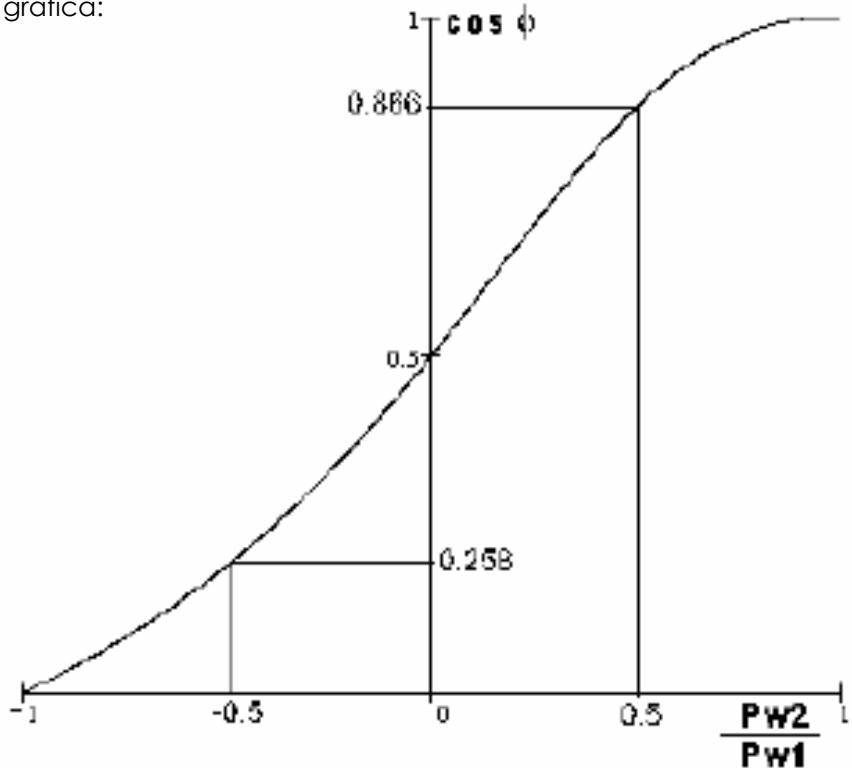
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{3} \cdot (P_{W_1} - P_{W_2})}{P_{act.trif.}} = \frac{\sqrt{3} \cdot (P_{W_1} - P_{W_2})}{P_{W_1} + P_{W_2}}$$

$$\varphi = \arctg \frac{\sqrt{3} \cdot (P_{W_1} - P_{W_2})}{P_{W_1} + P_{W_2}} \Rightarrow \cos \varphi = \cos \left[\arctg \frac{\sqrt{3} \cdot (P_{W_1} - P_{W_2})}{P_{W_1} + P_{W_2}} \right]$$

3.8.5.2. Curva del cos φ del método de Aron

Tomando el valor de las lecturas de los vatímetros y realizando su cociente, podemos construir una tabla de valores y su gráfica:

φ	$\cos \varphi$	P_{W2}/P_{W1}
0	1	1
30	0,866	0,5
60	0,5	0
90	0	-1

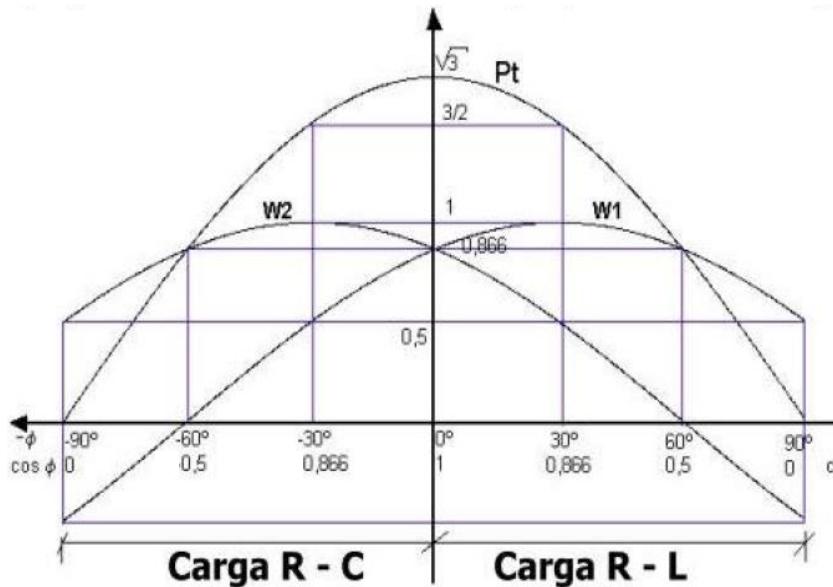


Entonces, de la curva, podemos obtener el cosen (φ) para cualquier relación P_{W2}/P_{W1}

También partiendo de las lecturas P_{W1} y P_{W2} se puede determinar el factor de potencia haciendo el cociente de la lectura menor respecto a la mayor, en la siguiente ecuación:

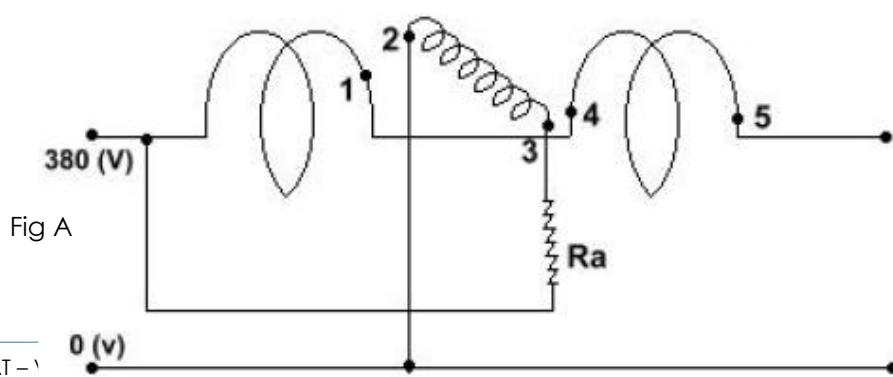
$$\cos \varphi = \frac{1+x}{2\sqrt{x^2-x+1}} \quad \text{donde: } x = \frac{W_{menor}}{W_{mayor}} = \frac{W_2}{W_1}$$

Φ	Pw1	Pw2	$\cos \Phi$	Pw2/Pw1
0	($\sqrt{3}/2$) K	($\sqrt{3}/2$) K	1	1
30	K	1/2 K	0,866	0,5
60	($\sqrt{3}/2$) K	0	0,5	0
90	1/2 K	- 1/2 K	0	-1
-30	1/2 K	K	0,866	0,5
-60	0	($\sqrt{3}/2$) K	0,5	0
-90	- 1/2 K	1/2 K	0	-1



3.9. Formas de conexión y precauciones en mediciones con vatímetro

Generalmente en un vatímetro de precisión la diferencia de potencial admintida entre las bobinas de intensidad y de tensión es de 100 V a 120 V. Si se sobrepasa este valor pueden originarse desviaciones de la aguja por fenómenos de carga electrostática y en consecuencia errores en la medición; además, el instrumento puede romperse debido a las altas tensiones, en el caso que éstas produzcan una perforación en el aislamiento de las bobinas. Esto ocurrirá si en lugar de invertir la bobina amperométrica se inviertiera la voltmétrica. Veamos un ejemplo



Esto es
realizado

Fig B

Supongamos que tenemos una caída de tensión de 1 V por espira. En la fig A, en el punto 1 hay 379 V, en el 2 hay 0 V, entonces entre ellos hay una diferencia de potencia de 379 V en un espacio MUY pequeño. Se puede producir un arco eléctrico entre ambos puntos, lo cual romperá el instrumento. Con esto estamos contradiciendo la primera regla de conexión, ya que entre las bobinas de intensidad y de tensión hay una diferencia de potencial de más de 120 V.

Invirtiendo los bornes de la bobina amperómetrica, fig B, en el punto 1 hay 379 V, en el 2 hay 380 V, en el 3 hay 374 V, en el 4 hay 379 V y en el 5 hay 380 V. Entre los puntos más próximos: 1 y 2, hay una diferencia de potencial de 1 Volt; entre el punto 3 y 4 habrá 5 V. Con esto hemos solucionado el problema, ya que nunca se superarán los 120V de diferencia. En la práctica se suele invertir la bobina de tensión teniendo en cuenta que maneja menos corriente que la amperométrica y no hay que abrir el circuito de carga.

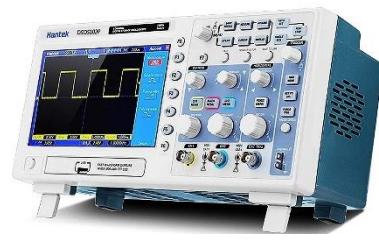
4. ORC: OSCILOSCOPIO DE RAYOS CATÓDICOS

4.1. Introducción:

El osciloscopio es un **instrumento voltímetro** muy versátil, lo utilizan desde técnicos de reparación de televisores, talleres mecánicos, a médicos.



Clásica vista de un ORC, u Osciloscopio Analógico



Osciloscopio digital

El osciloscopio **permite medir y visualizar en el tiempo una señal de tensión**, mostrándonos su forma, amplitud y período; y provisto de transductores adecuados (dispositivos que convierten una magnitud física en otra, para nuestro caso lo harán a una señal eléctrica), será capaz de mostrarnos cualquier fenómeno físico: presión, ritmo cardíaco, potencia de sonido, nivel de vibraciones en un coche, etc.

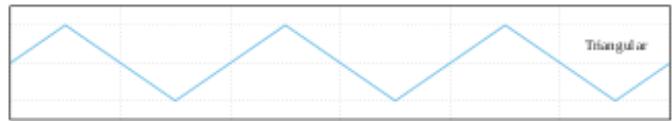
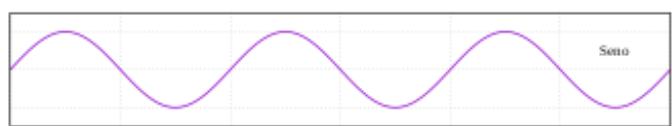
En el caso de los ORC, un osciloscopio analógico, la principal característica que debe poseer la señal a medir es que ésta sea *periódica*; en cambio en los osciloscopios digitales, debido a su capacidad de almacenamiento (MEMORIA) esto ya no es requisito.



Modelos de Generadores de funciones

Un instrumento muy asociado al osciloscopio, en los ensayos de laboratorio, es el **Generador de Funciones** (o de onda o señales). Este

instrumento nos permite *generar ondas periódicas de tensión* de diferentes formas, típicamente: senoidal, cuadrada y triangular; a las cuales les podemos variar su amplitud y frecuencia, entre otros parámetros (según las opciones que nos permita el instrumento). Estas ondas generadas tienen muy baja corriente y unas pocas decenas de tensión máxima, ya que son para ensayar circuitos a muy bajas potencias.



Estas señales generadas nos sirven para ensayar los diferentes circuitos, sometiéndolos en sus entradas a distintas señales que deseemos y, entonces, podemos ver como se comporta el circuito bajo ensayo (si la onda que obtenemos a la salida es lo que debiera ser para esa onda de entrada)

En la figura inferior de la izquierda observamos la clásica representación de una onda senoidal (pura) en la pantalla de un ORC, note que en el eje vertical se indica tensión (V) y en horizontal tiempo (t); las dos figuras a la derecha tienen representaciones de otras señales bajo medición:

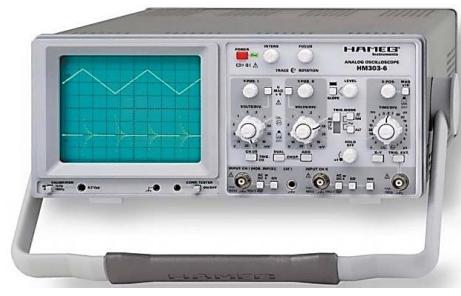
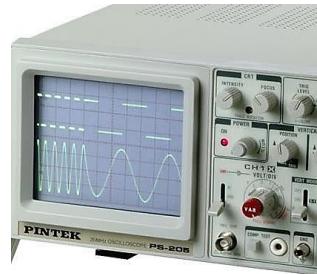
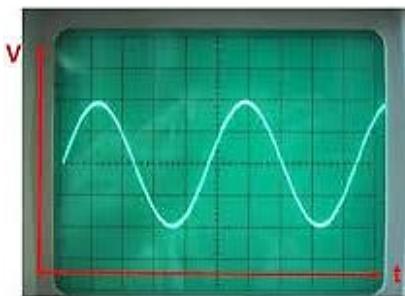
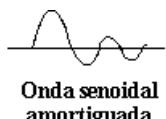
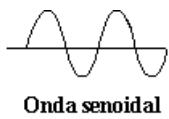


Fig : Visualización de la señal eléctrica en el ORC

Anexo: FORMAS DE ONDA (NO ENTRA EN EXAMEN)

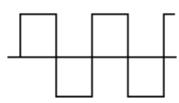
- Ondas senoidales



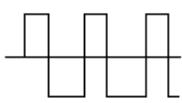
Son las ondas fundamentales y eso por varias razones: Poseen unas propiedades matemáticas muy interesantes (por ejemplo **con combinaciones de señales senoidales de diferente amplitud y frecuencia se puede reconstruir cualquier forma de onda**), la señal que se obtiene de las tomas de corriente de cualquier casa tienen esta forma, la mayoría de las fuentes de potencia en AC (corriente alterna) producen señales senoidales.

La señal senoidal amortiguada es un caso especial de este tipo de ondas y se producen en fenómenos de oscilación, pero que no se mantienen en el tiempo.

- Ondas cuadradas y rectangulares



Onda cuadrada



Onda rectangular

Las ondas cuadradas son básicamente ondas que pasan de un estado a otro de tensión, a intervalos regulares, en un tiempo muy reducido.

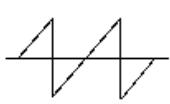
Son utilizadas usualmente para probar amplificadores (esto es debido a que **este tipo de señales contienen en sí mismas todas las frecuencias**). La televisión, la radio y los ordenadores utilizan mucho este tipo de señales, fundamentalmente como relojes y temporizadores.

Las ondas rectangulares se diferencian de las cuadradas por no tener iguales los intervalos en los que la tensión permanece a nivel alto y bajo. Son particularmente importantes para analizar circuitos digitales.

- Ondas triangulares y en diente de sierra



Onda triangular

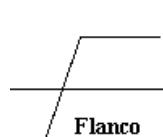


Onda en diente de sierra

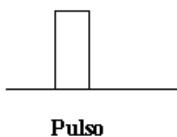
Se producen en circuitos diseñados para controlar voltajes linealmente, como pueden ser, por ejemplo, el barrido horizontal de un osciloscopio analógico ó el barrido tanto horizontal como vertical de una televisión. **Las transiciones entre el nivel mínimo y máximo de la señal cambian a un ritmo constante. Estas transiciones se denominan rampas.**

La onda en diente de sierra es un caso especial de señal triangular con una rampa descendente de mucha más pendiente que la rampa ascendente.

- Pulsos y flancos ó escalones



Flanco



Pulso

Señales, como los flancos y los pulsos, que solo se presentan una sola vez, se denominan señales transitorias. Un flanco ó escalón indica un cambio repentino en el voltaje, por ejemplo cuando se conecta un interruptor de alimentación.

El pulso indicaría, en este mismo ejemplo, que se ha conectado el interruptor y en un determinado tiempo se ha desconectado. Generalmente el pulso representa un bit de información atravesando un circuito de un ordenador digital ó también un pequeño defecto en un circuito (por ejemplo un falso contacto momentáneo).

Es común encontrar señales de este tipo en ordenadores, equipos de rayos X y de comunicaciones.

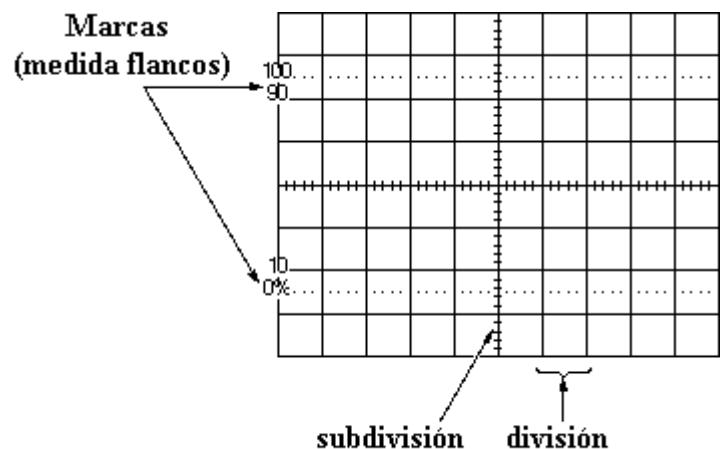
4.2. La pantalla del ORC

Las dos medidas básicas que se pueden realizar con un osciloscopio son la “Amplitud” y el “Tiempo” de la señal de tensión visualizada.

Aquí describiremos cómo realizar medidas visualmente en la pantalla del osciloscopio. Algunos osciloscopios digitales poseen un software interno que permite realizar las medidas de forma automática. Sin embargo, si aprendemos a realizar medidas de forma manual, estaremos también capacitados para chequear las medidas automáticas que realiza un osciloscopio digital.

Observe la siguiente figura que representa la pantalla de un osciloscopio:

Notará que está “cuadriculada” (lo cual es una rejilla o grilla sobreimpresa en la pantalla); siendo la separación entre dos líneas consecutivas de la rejilla lo que denominamos una división. Normalmente la rejilla posee 10 divisiones horizontales por 8 verticales del mismo tamaño (cercano al cm). Sobre los ejes X e Y, cada división o cuadro posee unas marcas que la subdividen en 5 partes iguales: subdivisiones (utilizadas como veremos más tarde para aumentar la exactitud de las medidas)



Algunos osciloscopios poseen marcas horizontales de 0%, 10%, 90% y 100% para facilitar la medida de tiempos de subida y bajada en los flancos (se mide entre el 10% y el 90% de la amplitud de pico a pico). Algunos osciloscopios también visualizan en su pantalla cuantos volts representa cada división vertical y cuantos segundos representa cada división horizontal.

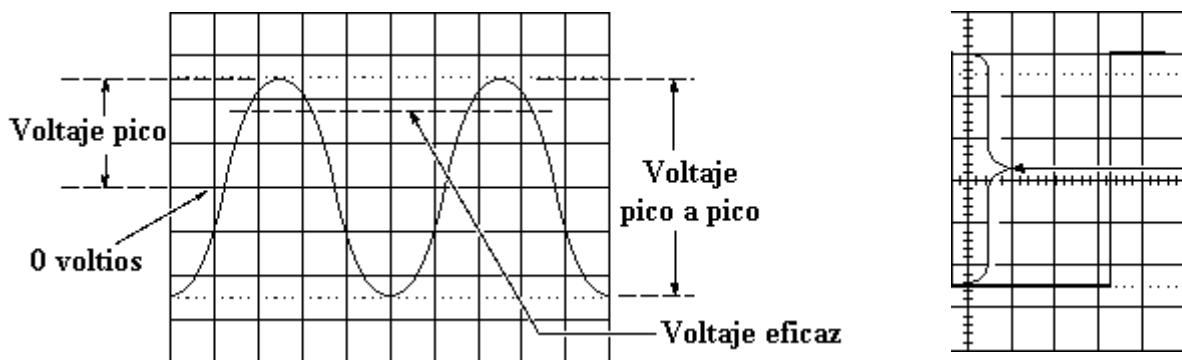
4.2.1. Medición de Amplitud:

Generalmente cuando hablamos de tensión queremos realmente expresar la

diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito. Pero normalmente uno de los puntos esta conectado a masa o tierra, un potencial con 0 V, y entonces simplificamos hablando del tensión en el punto A (cuando en realidad es la diferencia de potencial entre el punto A y Tierra).

Las tensiones también pueden medirse de pico a pico (entre el valor máximo y mínimo de la señal). Es muy importante que especifiquemos, al realizar una medida, que tipo de amplitud estamos midiendo.

El osciloscopio es un dispositivo que permite medir, de forma directa, la **amplitud de la onda de tensión visualizada**. Otras medidas se pueden realizar a partir de esta por simple cálculo (por ejemplo, la de la intensidad o la de potencia). Los cálculos para señales CA pueden ser complicados, pero siempre el primer paso para medir otras magnitudes con el osciloscopio es empezar por la tensión.



Utiliza la linea vertical central para obtener

En la figura hemos señalado la tensión pico: V_p ; la tensión pico a pico: V_{pp} (normalmente el doble de V_p , aunque no necesariamente); y el valor eficaz: V_{ef} o V_{RMS} (root-mean-square, es decir la raíz de la media de los valores instantáneos elevados al cuadrado) utilizada para calcular la potencia de la señal CA.

Realizar la medida de tensión con un osciloscopio es fácil, simplemente se trata de contar el número de divisiones verticales que ocupa la señal en la pantalla. Ajustando la señal con el posicionamiento horizontal podemos utilizar las subdivisiones de la rejilla para realizar una medida más exacta. (recordar que una subdivisión equivale generalmente a 1/5 de lo que represente una división completa). Es importante que la señal ocupe el máximo espacio de la pantalla para realizar medidas fiables, para ello actuaremos sobre el Atenuador Vertical (perilla que controla la escala vertical y que estudiaremos mas adelante).

Anexo:

Hay osciloscopios que poseen en la pantalla un cursor que permite tomar las medidas de tensión sin contar el número de divisiones que ocupa la señal. Basicamente el cursor son dos líneas horizontales para la medida de voltajes y dos líneas verticales para la medida de tiempos que podemos desplazar individualmente por la pantalla. La medida se visualiza de forma automática en la pantalla del osciloscopio.

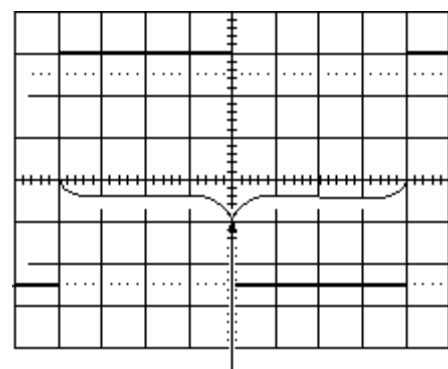
4.2.1. Medición de Tiempos

Para realizar medidas de tiempo se utiliza la escala horizontal del osciloscopio. Esto incluye la medida de períodos, ancho de impulsos y tiempo de subida y bajada de impulsos. **La frecuencia es una medida indirecta y se realiza calculando la inversa del periodo.** Al igual que ocurría con la tensión, la medida de tiempos será más precisa si el tiempo que queremos medir ocupa la mayor parte de la pantalla, para ello actuaremos sobre el conmutador de la base de tiempos que comanda la velocidad de barrido horizontal (esto lo estudiaremos más adelante).

Si centramos la señal utilizando el control de posicionamiento vertical podemos utilizar las subdivisiones para realizar una medida más exacta.

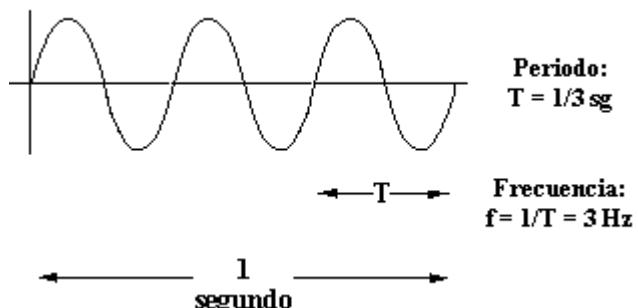
4.2.1.1. Período y Frecuencia

Si una señal se repite en el tiempo, posee una frecuencia ($f=1/T$). La frecuencia se mide en Hertz (Hz) y es igual al número de veces que la señal se repite en un segundo, es decir, 1Hz equivale a 1 ciclo por segundo. Una señal repetitiva



Utiliza la línea

también posee otro parámetro: el periodo, definiéndose como el tiempo que tarda la señal en completar un ciclo. Período y frecuencia son reciprocos el uno del otro:

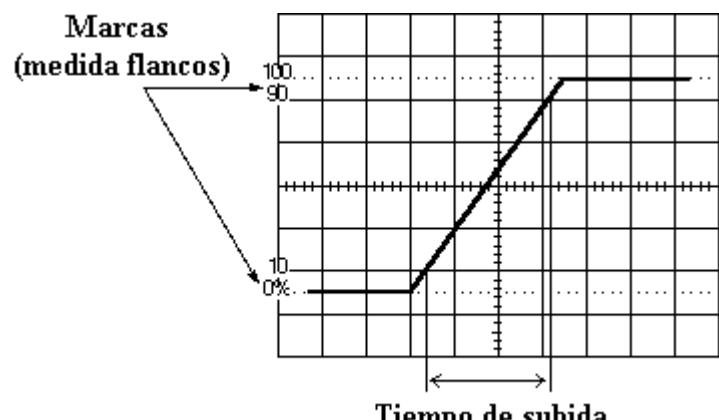


Para determinar el periodo de la señal visualizada, contamos la cantidad de divisiones horizontales que ocupa **un** Período de la misma y lo multiplicamos por el factor de escala de la base de tiempos, luego realizamos la división: $1/T = f$. Con lo que habremos encontrado la frecuencia de la señal.

4.2.1.2. Medición de tiempos de subida y bajada en los flancos

En muchas aplicaciones es importante conocer los detalles de un pulso, en particular los tiempos de subida ó bajada de estos.

Las medidas estandar en un pulso son su ancho y los tiempos de subida y bajada. El tiempo de subida de un pulso es la transición del nivel bajo al nivel alto de voltaje. Por convenio, se mide el tiempo entre el momento que el pulso alcanza el 10% de la tensión total hasta que llega al 90%. Esto elimina las irregularidades en las bordes del impulso. Esto explica las marcas que se observan en algunos osciloscopios (algunas veces simplemente unas líneas punteadas).



La medida en los pulsos requiere un fino ajuste en los mandos de disparo. Para convertirse en un experto en la captura de pulsos es importante conocer el uso de los mandos de disparo que posea nuestro osciloscopio (estudiaremos esto en la clasificación de los osciloscopios por su base de tiempo). Una vez capturado el pulso, el proceso de medida es el siguiente: se ajusta el mando variable de

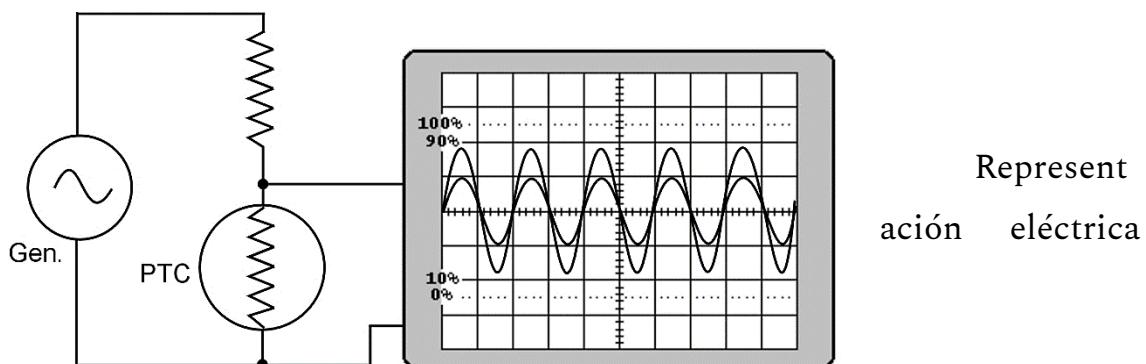
atenuador vertical y el de posicionamiento hasta que la amplitud pico a pico del pulso coincida con las líneas punteadas (ó las señaladas como 0% y 100%). Si bien al canal vertical lo sacamos de su posición vertical al actuar sobre el “mando variable”, no nos influye ya que no requerimos medir sobre el eje vertical: amplitud.

Luego se mide el intervalo de tiempo que existe entre el 10% y 90% de la señal

- - - - -

Ejemplo de utilización del ORC: Mediante el sencillo circuito de la figura podremos visualizar la temperatura y sus variaciones; para ello utilizaremos como “transductor” un termistor PTC (dispositivo que aumenta su resistencia con el incremento de temperatura). El circuito se compone de una **alta** resistencia en serie al PTC (para garantizar que varación de resistencia del PTC no modifique la corriente del circuito), todo esto alimentado con una fuente de CA de 12 Volt y 1khz, (notar que ahora estamos utilizando una frecuencia distintas a los usuales 50hz). Si tomamos el caso en el que la temperatura aumenta, aumentará la resistencia del PTC, entonces aumentará la caída de potencial entre sus bornes ($V=I \cdot R$) y en el osciloscopio puede observarse un aumento de la **amplitud** de la señal de 1 Khz.

La velocidad con que varíe la temperatura solo nos afectará a la amplitud de la señal, no así a la frecuencia, cte en 1khz en este ejemplo. En el caso de que alimentásemos con una fuente de CC ($F=0\text{hz}$), la gráfica se convertiría en una línea horizontal que subirá o bajará según las variaciones de temperatura.



Pregunta: ¿por qué la señal de 12 Vac no tiene una frecuencia de 50Hz, si todos los instrumentos del laboratorio los conectamos a la red de 220V/50hz suministrados por la distribuidora (Edemsa)?

R:

C O M P L E T E

IMPORTANTE:

- Si la intención es **medir**, el instrumento **debe estar calibrado**, sino sólo se puede observar, pero NO medir.

Pregunta: ¿Qué significa calibrado? (ayuda: medición cualitativa vs cuantitativa):

C O M P L E T E

- El **canal vertical** debe ser muy **lineal** para que al variar la señal de entrada, la altura del oscilograma observado en pantalla no varíe y siga siendo un fiel reflejo de la señal de entrada. Uno de los parámetros que limitan al osciloscopio y del cual dependerá el rango de señales de entrada con el que se lo puede utilizar, es la frecuencia. Si uno utiliza al osciloscopio (analógico o digital) con señales que exceden el rango de linealidad del canal vertical, en la pantalla observaremos una figura distorsionada con respecto a la señal de entrada (distorsión en amplitud). Si la distorsión no es significativa es muy posible que no nos demos cuenta de la misma y realicemos
- mediciones erróneas.

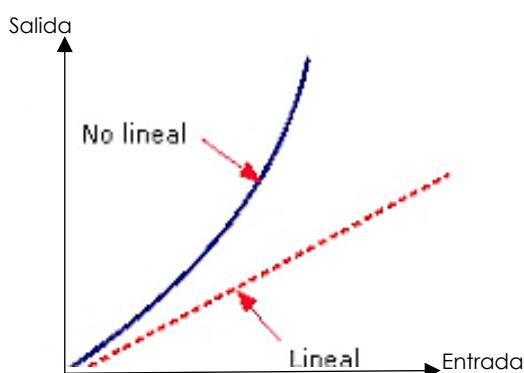


Fig 5: Comparativa de una curva de transferencia Lineal Vs una no Lineal

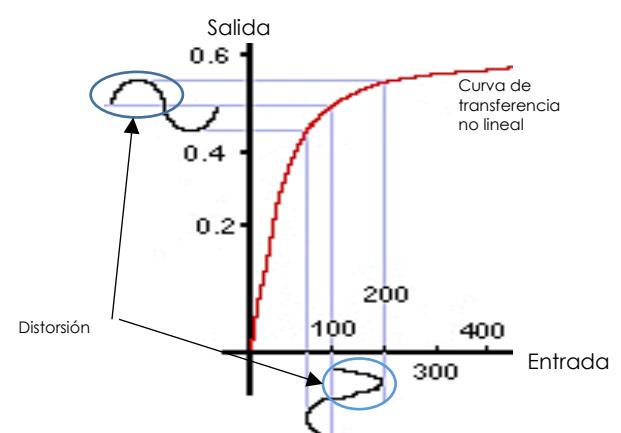


Fig 6: distorsión en amplitud entre la entrada y la salida

4.3. Puntas de prueba del ORC:

Es el componente indispensable para poder medir con el osciloscopio (**no es un simple par de cables** como los utilizados en los multímetros)

La punta de prueba, también llamada : nexo entre la fuente de señal a visualizar y características pueden afectar a la señal que se

- Buena conexión entre el instrumento y la señal
- Fidelidad de la onda que se visualiza (sin distorsiones)
- Que el efecto de carga sea mínimo, osea no cargue al generador (que el mismo no se de cuenta que se ha conectado un instrumento en paralelo)
- Inmunidad al ruido (que no se induzcan señales externas en ella)



Figure 30. An active probe

Las puntas de prueba conecta al BNC Hembra



traen un conector BNC Macho el cual se conecta en el osciloscopio:



Figure 29. A passive probe

Figure 31. A current probe

4.3.1. Puntas de prueba pasivas

La mayoría de las puntas de prueba pasivas están marcadas con un factor de atenuación, normalmente 1X ó 10X, incluso 100X; suelen venir con un conmutador que permiten seleccionar la atenuación: 1, 10 o 100 veces (en la figura inferior la punta tiene una atenuación fija de 10X).

Un valor de atenuación muy utilizado es el 10X, por lo que la señal que llega a la entrada del osciloscopio es 10 veces menor en amplitud; esto eleva la máxima amplitud a medir hasta los 4000 V_{PP}, ya que, usualmente, la entrada del osciloscopio soporta 400 V_{PP}. Luego hay que recordar de multiplicar por 10 la amplitud medida en la pantalla del osciloscopio para obtener la amplitud real.

La atenuación de 1X es similar a la anterior pero no introduce variación de amplitud, aunque ello implica que el circuito bajo prueba debe suministrar más corriente que con la de 10X, ya que en 1X la punta representa una impedancia menor; permitiéndonos medir señales de menor amplitud al no introducir atenuación (al dividir por 1 no altera la señal).

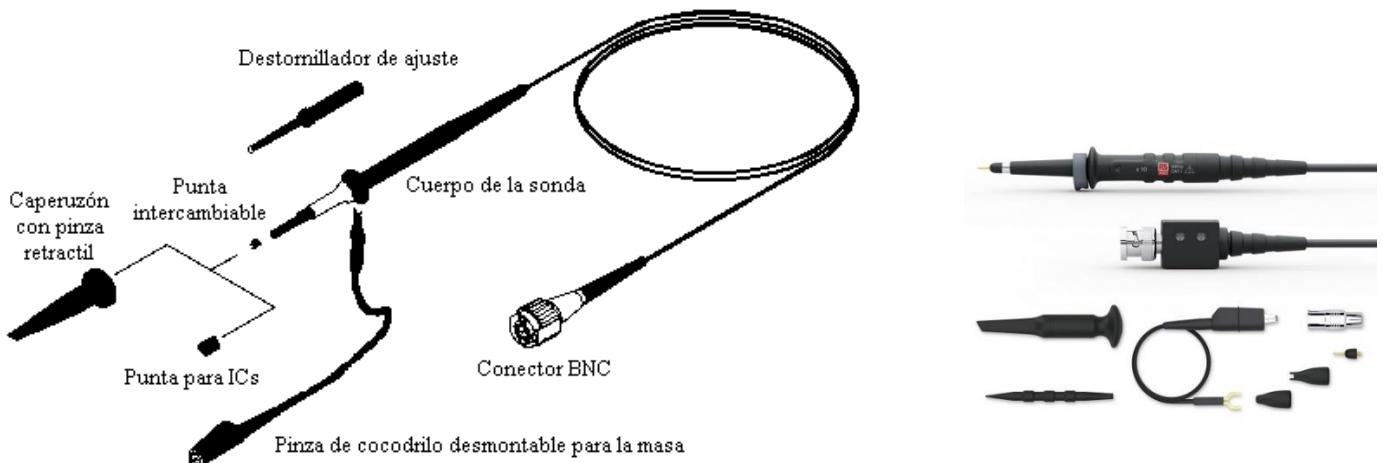
Por convenio los factores de **atenuación** aparecen con el signo **X detrás del factor de división**: 1X, 10X,... En contraste los factores de **amplificación** aparecen con el signo **X adelante del factor de multiplicación**: X10, X10S,... De esta forma facilitan la lectura que se realice en pantalla, ya que al valor leído hay que aplicarle el factor de atenuación de la punta; por ejemplo, si leímos una señal de 5 V_{PP} y la punta está con un factor de 10X, la señal, en realidad tiene una amplitud de:

$$10 \cdot X = 10 \cdot 5 = 50 \text{ V}_{\text{PP}}$$

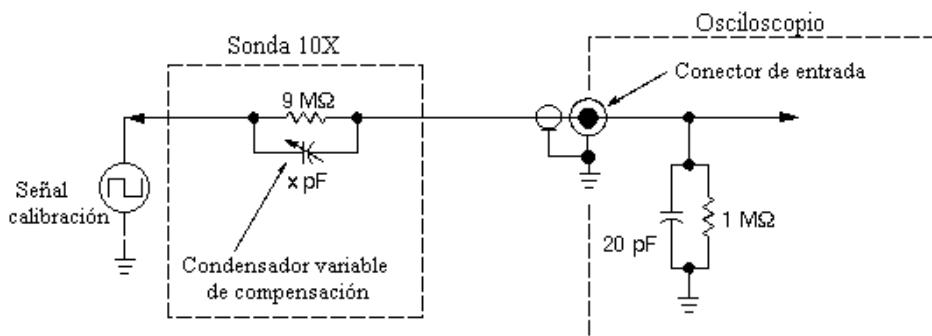
Si la punta fuese de X10, entonces la amplitud real es de :

$$X / 5 = 5 / 10 = 0,5 \text{ V}_{\text{PP}}$$



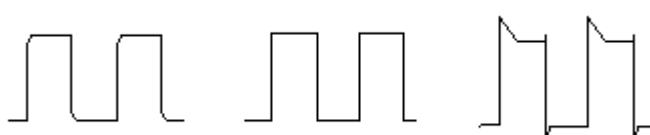


4.3.2. Compensación de la punta de prueba



Antes de utilizar una punta de prueba atenuadora 10X es necesario realizar un ajuste en frecuencia para el osciloscopio en particular sobre el que se vaya a trabajar. Este ajuste se denomina **compensación de la punta de prueba** y consta de los siguientes pasos.

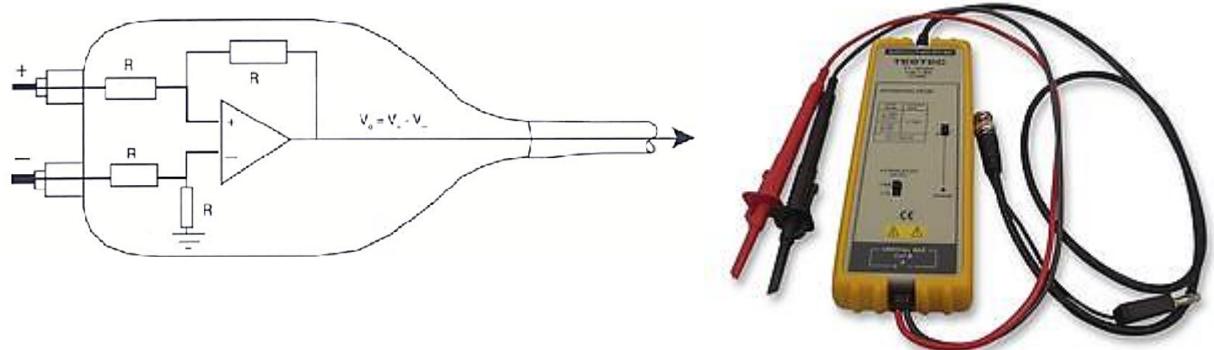
- Conectar la punta de prueba a la entrada del canal 1.
- Conectar la punta a la señal cuadrada de calibración (La mayoría de los osciloscopios disponen de una toma para ajustar las puntas, en caso contrario será necesario utilizar un generador de onda cuadrada externo).
- Observar la señal cuadrada de referencia en la pantalla.
- Con el tornillo de ajuste, actuar sobre el condensador de ajuste hasta observar una señal cuadrada perfecta.



Este tipo de punta de prueba se proporciona generalmente con el osciloscopio y es una excelente punta de prueba de utilización general. Para otros tipos de medidas se utilizan puntas especiales, como pueden ser las de corriente ó las activas.

4.3.3. Puntas de Prueba activas

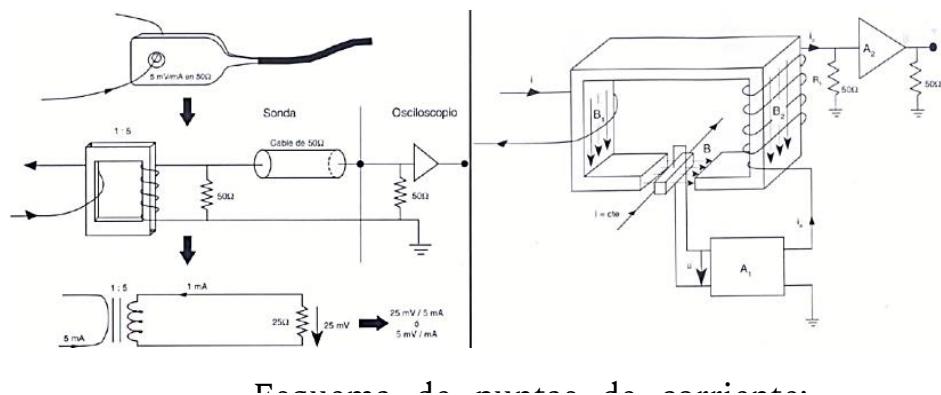
Proporcionan una amplificación antes de aplicar la señal a la entrada del osciloscopio. Pueden ser necesarias en circuitos con una cargabilidad de salida muy baja. Este tipo de puntas necesitan para operar una fuente de alimentación.



4.3.4. Puntas de Prueba de corriente (Pasiva y Activa)

Posibilitan la medida directa de las corrientes en un circuito. Las hay para medida de corriente alterna y continua. Poseen una pinza que abarca el cable a través del cual se desea medir la corriente (igual que las pinzas amperométricas). Al no intercalarse en serie con el circuito (como lo haría un amperímetro estandar) causan muy poca interferencia en él.

Las de corriente alterna son pinzas amperométricas de mucha exactitud, que, al igual que éstas, se basan en la inducción electromagnética; proporcionando a la entrada del osciloscopio una fem proporcional a la corriente en el primario.



Las de corriente continua se basan en el denominado “Efecto Hall”

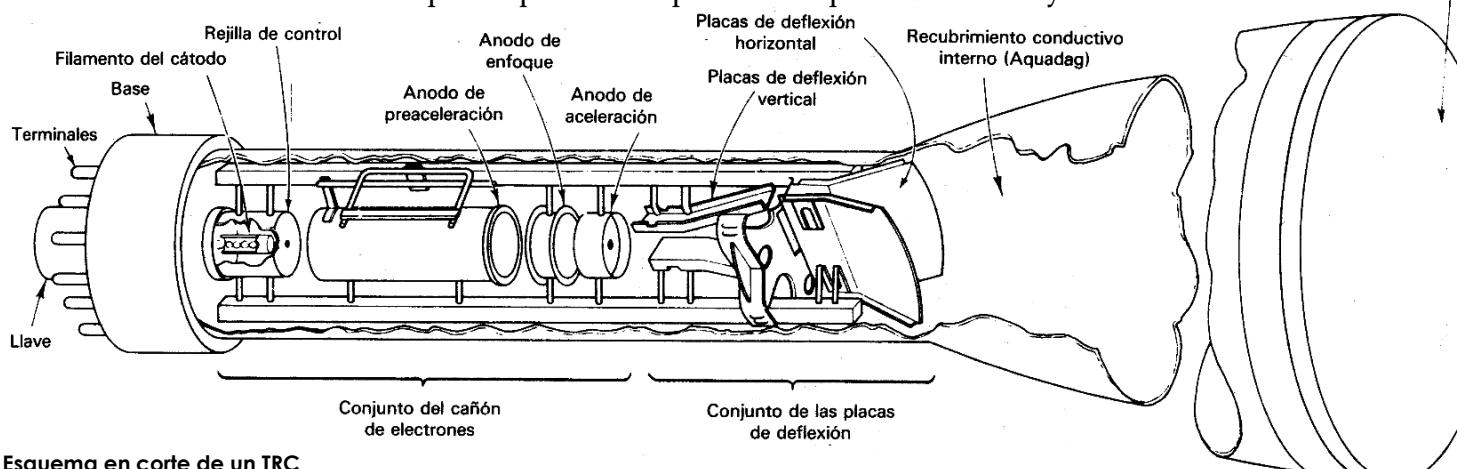
COMPLETAR

4.4. EL TUBO DE RAYOS CATÓDICOS (TRC)

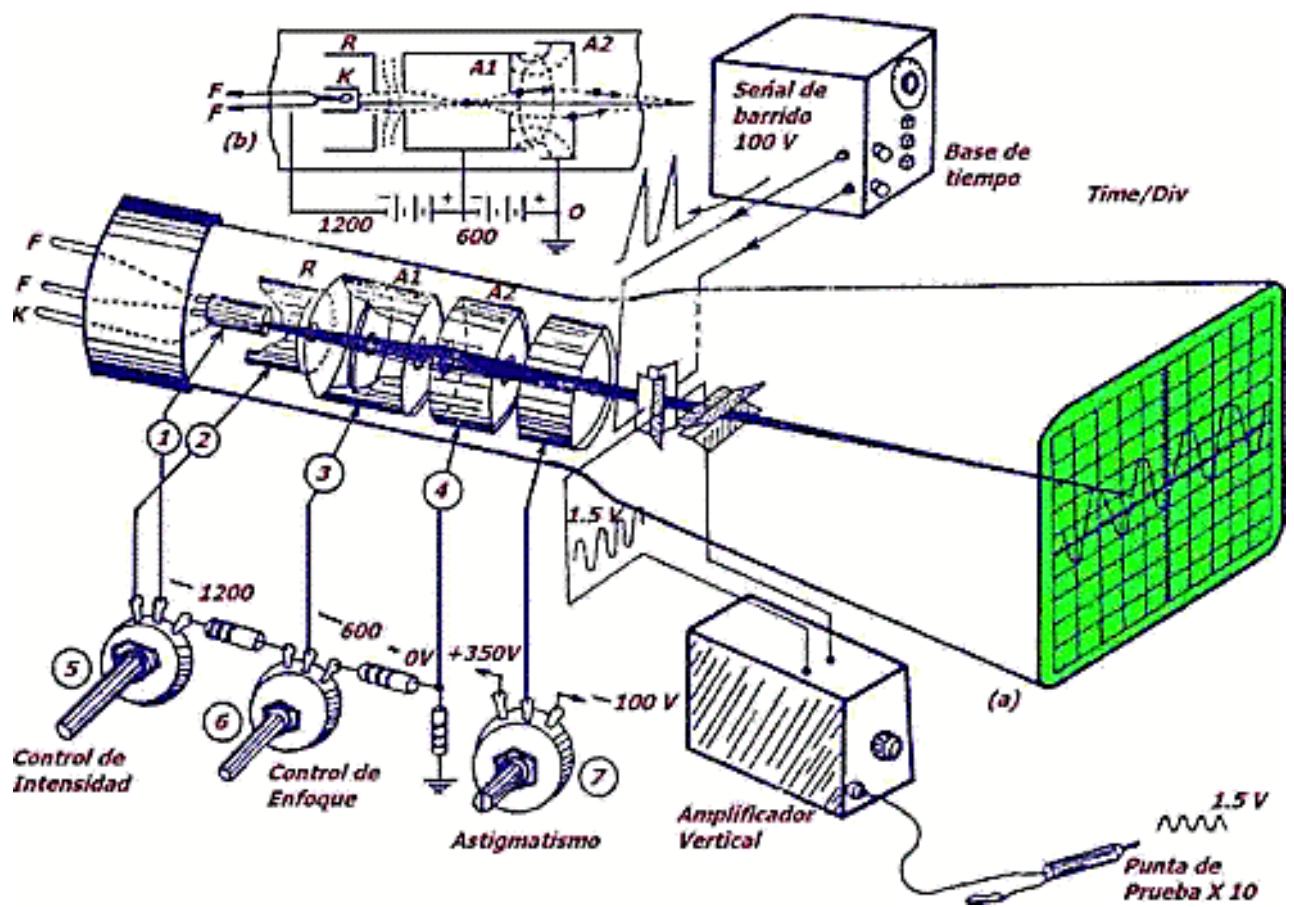
El principal componente de un osciloscopio analógico es el denominado tubo de rayos catódicos ó “TRC”, que es acompañado de una serie de circuitos electrónicos adicionales que permiten al mismo presentar la señal analógica en su pantalla:



Una aplicación muy popular de los TRC, durante varias décadas, se dio en los primeros modelos de televisores, los cuales se basaban en el TRC. En el gráfico inferior observamos los principales componentes que lo constituyen:

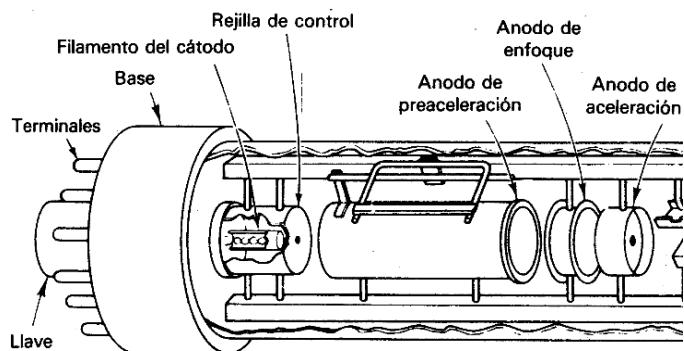


Esquema en corte de un TRC

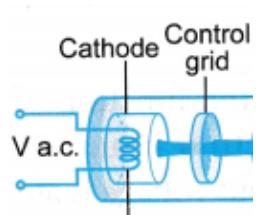


El corazón del osciloscopio es un tubo de rayos catódicos (TRC) de forma troncocónica; contiene un cañón electrónico encargado de producir el haz de electrones con que se dibujará el trazo en la pantalla fosforescente; este haz es influenciados por una serie de potenciales a lo largo del TRC.

4.4.1. Cañón electrónico



El cañón tiene un cátodo emisor del tipo termoiónico, construido con acero y níquel y recubierto con estroncio y bario lo que le da un gran rendimiento de emisión, de manera que con poca energía calórica se obtiene una copiosa emisión. La cantidad de electrones que salen del cátodo es gobernada por una grilla de control, y por tres cilindros más, coaxiales que son los ánodos de preaceleración, de enfoque y de aceleración. Tanto la grilla de control, como los ánodos mencionados, cumplen la función de regular (a través de potenciómetros ubicados en el panel frontal) el brillo y el foco (antiguamente también el astigmatismo).



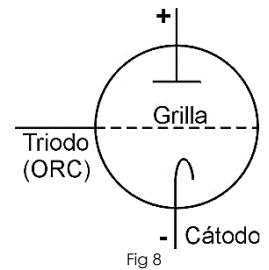
El cátodo recibe calor mediante un filamento calefactor en su interior, esto le da energía a los electrones del material con que está recubierto el cátodo (óxidos de bario y estroncio) provocando la emisión de un denso haz de electrones. A continuación y muy próximo al cátodo está la **rejilla de control**, que tiene un pequeño orificio por el cual permitirá o no el paso de los electrones de este haz, según su polarización (la grilla de control es quien habilita o no que se dibuje en la pantalla); si es negativa los electrones serán rechazados y no se dibujará en la pantalla, por más que hubiese señal en el canal vertical.

Los **tres ánodos** a continuación de la grilla son los que conforman la **lente electrostática**; en ellos el ánodo de aceleración está fijado a un potencial de varios miles de volts respecto al cátodo, provocando la atracción de dichos electrones y su aceleración, para que impacten en la pantalla y produzcan la emisión de "luz" con que dibuja el cañón.

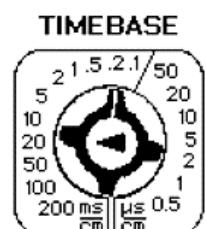
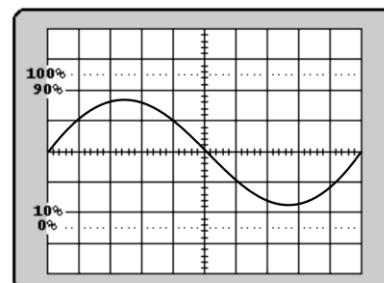
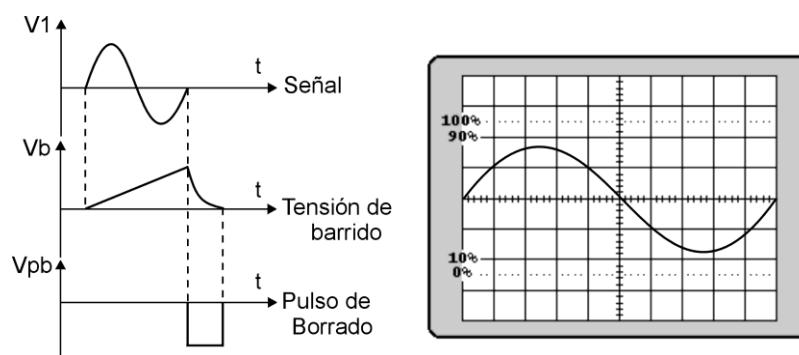
Una vez que los electrones pasan por la lente se encontrarán bajo la influencia del sistema deflector.

4.4.2. Pulso de Borrado:

Para evitar “dibujar” sobre la pantalla mientras el haz vuelve a la posición inicial, se genera un pulso de borrado, que impide el paso de los electrones del cañón hacia la pantalla, por lo tanto, el haz se interrumpe y no se ve el retorno de éste. Esto se logra de la siguiente manera (fig 8): el cátodo del triodo (válvula que está dentro del tubo) emite electrones que son atraídos hacia un potencial positivo; si a la grilla la polarizamos con una tensión algo positiva respecto al cátodo, entonces los atraerá, pero si la polarizamos con una tensión negativa, los repelará por lo que ningún electrón llegará a la placa, cortándose el haz; entonces no se “dibuja” ningún trazo sobre la pantalla



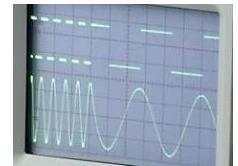
La forma básica de utilización del osciloscopio y la más utilizada es en modo temporal; en él se representa la amplitud en función del tiempo: la deflexión vertical (D.V.) sobre la pantalla depende de la señal de entrada, y la deflexión horizontal (D.H.) o “barrido horizontal”, tarda un tiempo constante y fijado por el usuario.



El proceso de graficado es la combinación de dos movimientos: el movimiento en el eje vertical (DV) que depende de la amplitud de las señal a graficar; y el movimiento del eje horizontal (DH) que es a una velocidad fija y

determinada con los controles del osciloscopio. Luego de llegar al final de la pantalla, se tardara un tiempo muy corto en rotornar al principio y volver a graficar.

El máximo tiempo que tarde el haz en volver a la posición inicial es una indicación de que tan bueno es el osciloscopio, a mayores tiempo de retorno la máxima frecuencia a graficar sera menor y peor sera el osciloscopio, mas limitado estara su uso .



Variando la velocidad de barrido horizontal (que se tarde mas o menos tiempo en recorrer horizontalmente la pantalla), se verán más ciclos de la señal de entrada,

4.4.3. Sistema deflector

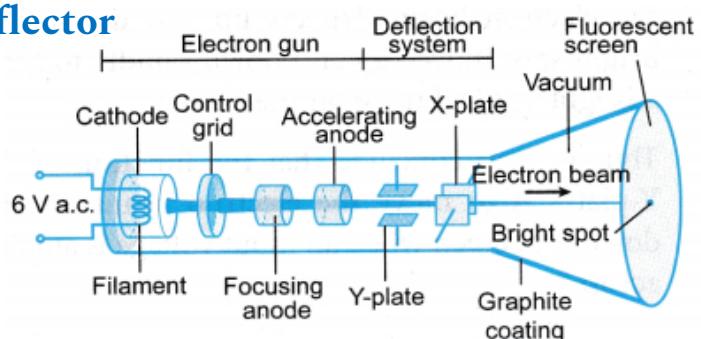


Fig 12: esquema simplificado de un TRC

El cañón lanza un haz que tiene que pasar por un sistema de deflexión/desviación, el mismo producirá una deflexión vertical y una deflexión horizontal del haz. Éstos producen la desviación del haz de electrones mediante la interacción del mismo con el campo eléctrico generado entre las placas del sistema de deflexión vertical u horizontal; por lo que debe haber una diferencia de potencial aplicada a las correspondientes placas (el sistema de deflexión es básicamente un capacitor):

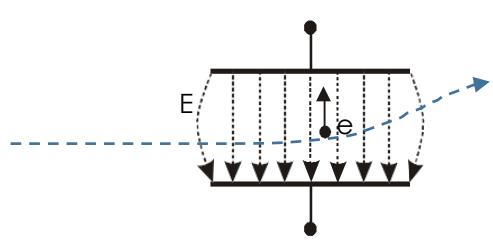
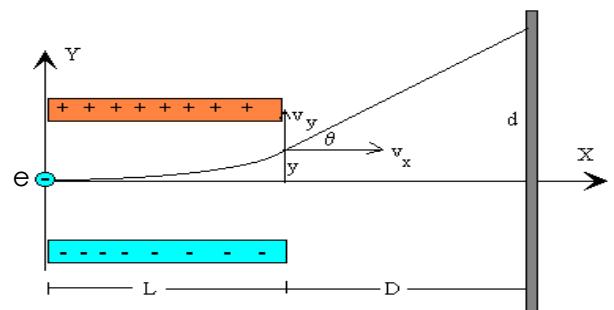


Fig 16 campo electrostático del sistema deflector



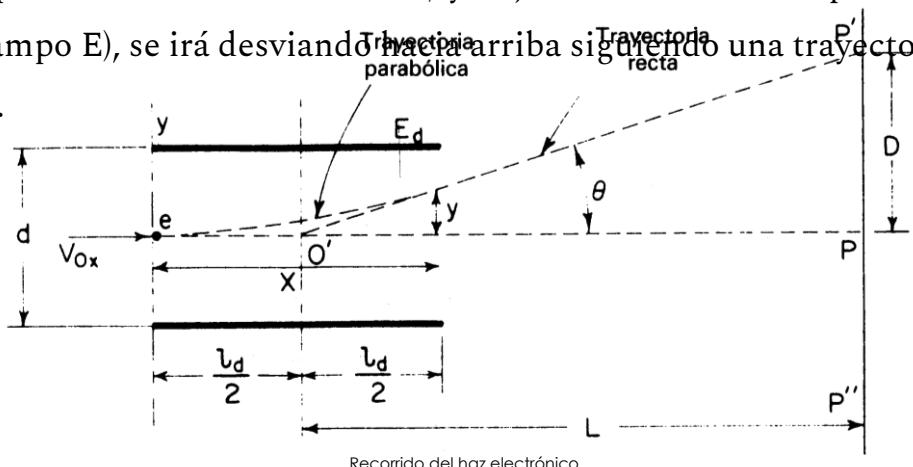
Este sistema deflector, utiliza 2 pares de placas para desviar el haz en forma vertical (PDV) y horizontal (PDH). Generalmente las PDV se colocan más próximas al cañón, y luego las PDH; que quedarán más cerca de la pantalla.



A las PDH se le aplica una señal diente de sierra generada internamente, con esto se logra “barrer” toda la pantalla en su eje horizontal. Si no existe señal en las PDH lo único que se observará es un punto; o una línea vertical si existe señal aplicada a las PDV.

Después de que el haz de electrones atravieza las placas deflectoras, continuará con un movimiento rectilíneo uniforme, es decir una línea recta cuya dirección es la que traía el electrón al dejar la PDH (El ángulo de desviación depende de la longitud L de las placas y de la diferencia de potencial de ellas (el campo E). Aumenta también, si se disminuye el potencial acelerador V , o la velocidad V_{0x} de los electrones, permitiéndoles estar más tiempo dentro del campo deflector.)

Vemos como funciona el sistema deflector: el haz ingresa, como se indica en la fig.18, a las placas deflectoras verticales, y bajo la acción del campo eléctrico mencionado (campo E), se irá desviando hacia arriba siguiendo una trayectoria del tipo parabólica.



Si en la cara interna de la pantalla hay depositado fósforo, el haz golpea contra él en el punto P' y en ese instante allí se vería un punto brillante. Cuando la señal pase por 0, se verá el punto brillante en P , y cuando venga el pico negativo se

verá en P'' . Si la desviación P a P' fuera igual a la de P a P'' , implicaría que el hemiciclo positivo es igual al negativo, y entonces la señal no tiene componente de corriente continua (es alterna pura y simétrica).

A esa desviación la denominaremos DV (deflexión vertical), y se mide en divisiones del eje vertical sobre la pantalla; luego se lo multiplica por la escala de Volts/div aplicada y se obtiene la tensión de la señal visualizada.

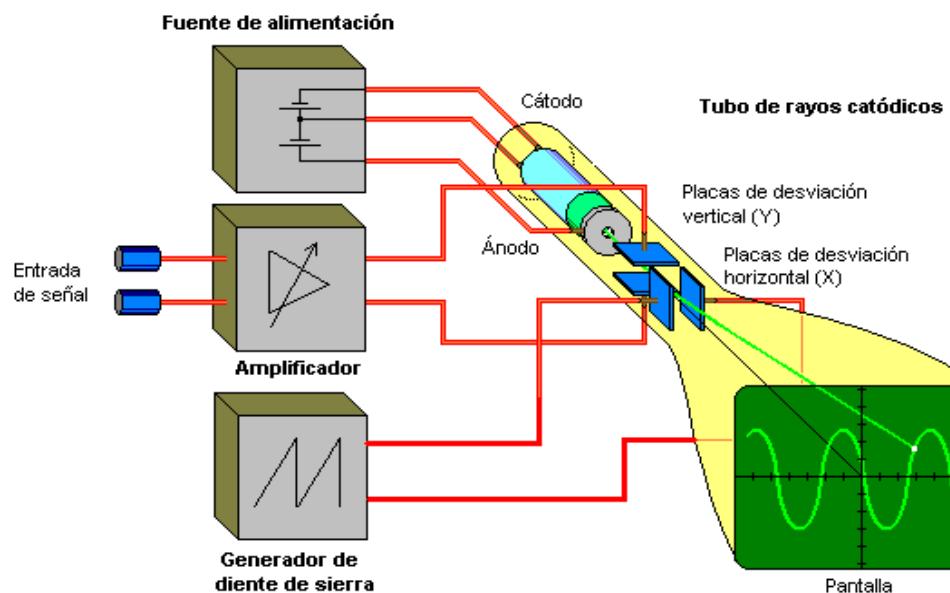
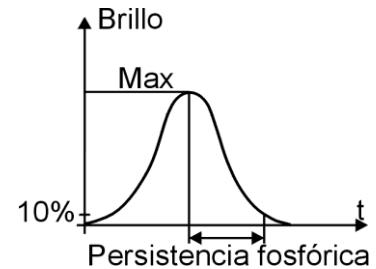


Fig: Esquema de deflexión del haz que grafica en la pantalla del ORC

4.4.4. Características de los Fósforos utilizados en TRC para ORC

Cuando el haz de electrones golpea en la pantalla del TRC, se produce un punto luminoso. El material en la superficie interior de la pantalla que produce este efecto es el fósforo. Dicho elemento absorbe la energía cinética de los electrones bombardeados por el cátodo y la convierte en energía luminosa y calórica. La propiedad de algunos materiales cristalinos (como el ortosilicato de zinc, que da un color verde) para **emitir luz** cuando son estimulados por una radiación se llama **fluorescencia**. Los materiales fluorescentes tienen una segunda característica, denominada **fosforescencia**, la cual se refiere a la propiedad del material de continuar emitiendo luz aun después que la fuente de excitación (en este caso el haz de electrones) se suspenda. **El lapso durante el que ocurre la fosforescencia se llama persistencia fosfórica**. Esta se mide en términos del tiempo requerido para que la imagen del TRC decaiga un cierto porcentaje (por lo general 10%) de la luz original



Hay tres tipos de persistencia:

- Baja (del orden de los microsegundos)
- Mediana (del orden de los milisegundos)
- Alta (del orden de los minutos u horas)

La **intensidad de la luz emitida** por el material fluorescente con el cual está recubierta la pantalla del TRC, **llamada luminancia**, depende de varios factores:

- Del número de electrones que golpean la pantalla por segundo. Si la densidad de electrones del haz se incrementa o se concentra la misma cantidad en un área más pequeña, reduciendo el tamaño del punto, la luminancia se incrementa.
- De la energía (cinética) con la cual los electrones golpean la pantalla. El incremento de esta velocidad aumenta la luminancia.
- Del tiempo en que el haz barre la pantalla, ya que a menor velocidad

mayor cantidad de electrones golpean el mismo punto de la pantalla; por lo tanto, la velocidad de barrido afecta la luminancia.

- De las características físicas del fósforo.

Otra característica importante es la **resistencia al quemado**. Se llama así a lo que puede soportar un gránulo de fósforo cuando el haz impacta sobre él un determinado tiempo. Puede que un punto no pueda eliminar o disipar el calor con la rapidez con que se le está suministrando dicha energía. Eso hace que se eleve la temperatura, y que el fósforo sufra algunas reacciones, tal que se pierde la propiedad de convertir la energía cinética en luminosa (fluorescencia). Entonces ese punto se transforma en un punto muerto o punto negro, ya que cuando se lo excita no responde. Si existieran muchos de estos puntos negros, el oscilograma se vería discontinuo. Por lo tanto, **como precaución antes de encender el osciloscopio, hay que colocar el control de brillo en un bajo valor**; y una vez encendido regularlo para que el punto o trazo sea lo más fino y nítido posible. De esta manera se protege la pantalla.

La utilidad de cada una de estas características depende del tipo de aplicación que se le vaya a dar al ORC:

Uso general: Contiene fósforo clasificado como P31 de color verde de gran luminosidad con una persistencia del orden de los 30 mseg y alta resistencia al quemado.

Uso médico o para medición en general de fenómenos lentos: Contiene fósforo clasificado como fósforo P7 o similar de color mezcla de amarillo, verde y blanco-azulado, con una elevada persistencia y resistencia al quemado media.

Estos modelos caen en desuso frente a la versatilidad brindadas por los osciloscopios digitales que toman muestras de la señal a medir (muestreo) y las almacenan en una memoria para luego reconstruir la señal en la pantalla, en cualquier momento. Esto permite, entre otras opciones, visualizar señales de variación muy lenta y la posibilidad de retener la señal almacenada para ser

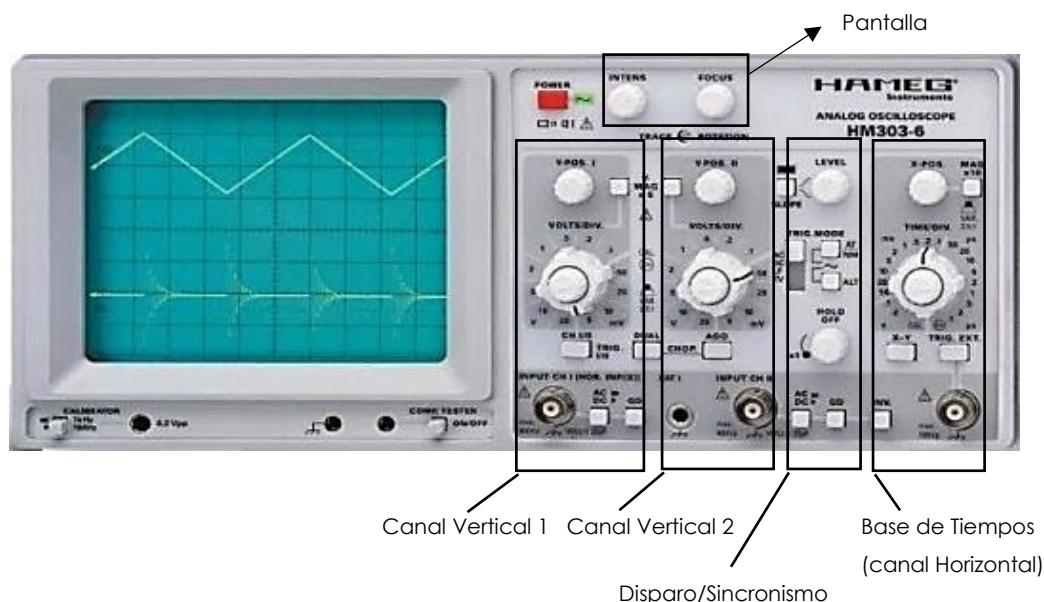
procesada internamente o externamente en una computadora, ser impresa, etc.

4.5. Controles del ORC

Todos los osciloscopios disponen de cuatro secciones básicas: los canales verticales (entrada de señal), Sincronismo de disparo, Base de tiempo (canal Horizontal) y Controles de pantalla (foco, intensidad y a veces iluminación). Dependiendo del tipo de osciloscopio empleado en particular, podemos disponer de otras secciones.



Los conectores "BNC" es donde se conectan nuestras puntas de prueba.

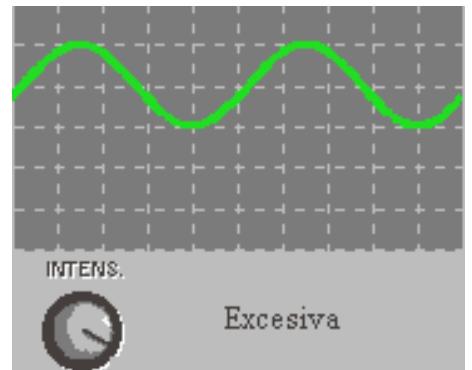


La mayoría de los osciloscopios actuales disponen de dos canales etiquetados normalmente como I y II (o A y B). El disponer de dos canales nos permite visualizar dos señales de forma muy cómoda, y compararlas (por ejemplo una puede ser la señal de entrada y la otra la de salida del circuito bajo ensayo)

4.5.1. Intensidad

Se trata de un potenciómetro que ajusta el brillo de la señal en la pantalla. Este mando actúa sobre la rejilla más cercana al cátodo del TRC, controlando el número de electrones emitidos por este.

En un osciloscopio analógico si se aumenta la velocidad de barrido es necesario aumentar el nivel de intensidad. Por otra parte, si se desconecta el barrido horizontal es necesario reducir la intensidad del haz al mínimo (para evitar que el bombardeo concentrado de electrones sobre la parte interior de la pantalla deteriore la capa fluorescente que la recubre).



4.5.2. Lente Electrostática (Foco)

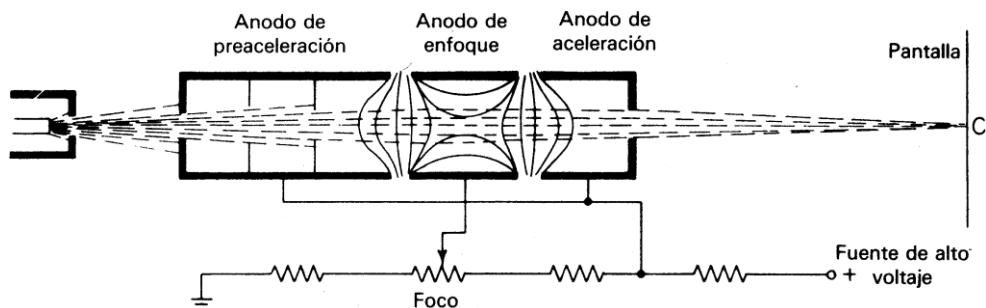
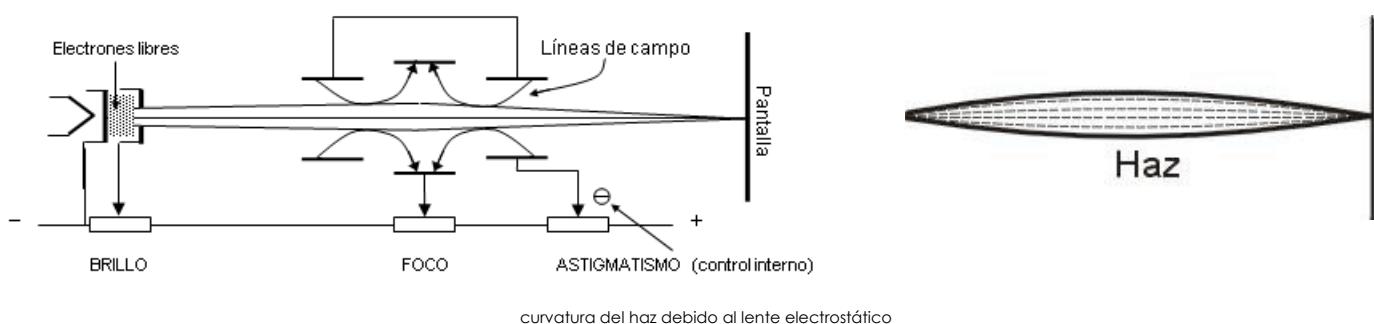
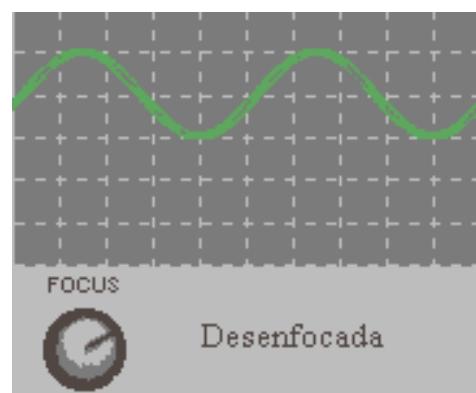


Fig: Lente Electrostática

*El haz de electrones que emite el TRC y con el cual dibuja (a modo de lapiz) sobre la pantalla, es enfocado por una **lente electrostática** formada por tres cilindros que tienen distintos potenciales. Esta lente se encarga de enfocar el haz sobre la pantalla, es decir lograr que el punto focal de la lente coincida con la pantalla, logrando así un punto o trazo de dibujo lo mas fino posible (es similar a jugar con una "lupa" y la luz solar, haciendo mas grande o mas chico e intenso el punto de luz dobre el piso)*



El ánodo del medio, el de enfoque, tiene un potenciómetro que nos permite regular la diferencia de potencial; este potenciómetro está accesible en el panel frontal a través de la perilla denominada FOCO. Regulando la tensión del ánodo de enfoque se ajusta la curvatura de las líneas de campo, es decir la longitud focal del lente electrostático, y por ende el punto focal o foco del



haz. Que el punto sea muy grande o no, y por ende que el trazo sea grueso o fino, depende del foco del haz. Cuando logramos que el punto o trazo sea lo mas fino y nítido posible, entonces está correctamente enfocado.

NOTA: En los primeros modelos de ORC, es posible que en determinado planos de la pantalla los electrones describan una figura elíptica (como pelota de rugby)

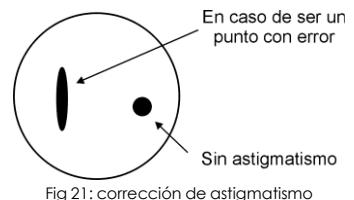


Fig 21: corrección de astigmatismo

Esto es lo que se denomina astigmatismo, para corregir esto, en los viejos modelos de orc, hay una perilla que se denomina Astig. (Fig 21) (dispuesta para regularse internamente o mediante un pequeño destornillador), que es un potenciómetro que regula la tensión entre las placas de deflexión y el primer ánodo de aceleración para producir un punto redondo en la pantalla. En los nuevos osciloscopios esto ya no es necesario.

4.5.2.1. Relación Foco-Intensidad

Al enfocar el haz y concentrar la misma cantidad de electrones en un área menor, habrá mayor densidad, mayor luminosidad y calor; este último dañará el material fluorescente, por lo que será necesario retocar el control de intensidad (una pequeña parte de la energía del impacto del electrón se convierte en calor). El control de intensidad varía la tensión entre cátodo y grilla de control, ajustando de esta manera la cantidad (intensidad) de electrones que llegan a la pantalla.

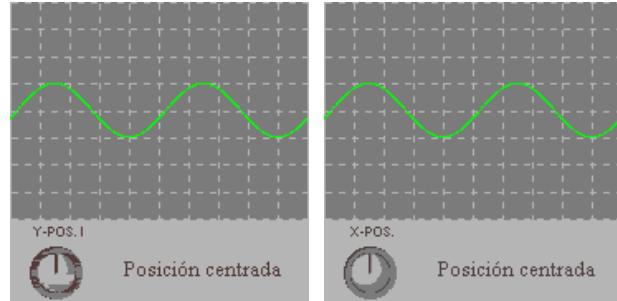
Si la velocidad de barrido se hace lenta, es posible que se deba adecuar el control de la intensidad. Cuando haya un barrido rápido, el control de intensidad se debe aumentar para que se pueda ver el trazo. Tocar el control de intensidad implica enviar un mayor número de electrones, y como son de igual carga, al

aumentar el número en igual área se repelen entre sí y el haz se abre un poco. Entonces lo que antes era un punto de convergencia ya no lo es, por lo que hay que retocar el control de Foco, cada vez que se varía la intensidad.

Conclusión: Cada vez que se toque el control de intensidad se debe retocar el control de enfoque si se quiere ver un buen oscilograma.

4.5.3. Posición

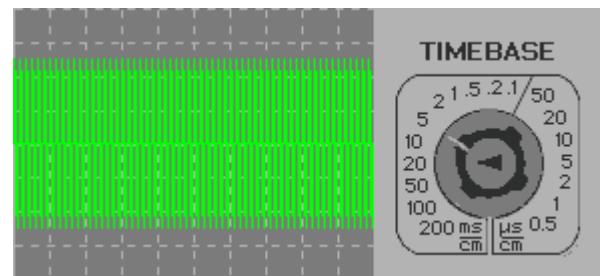
Estos controles constan de un potenciómetro que permite desplazar la señal visualizada vertical u horizontalmente. El más utilizado es el desplazamiento vertical y cuando se está trabajando con una sola señal el punto normalmente elegido suele ser el centro de la pantalla. Para observar mejor el punto de disparo se suele mover la traza un poco hacia la derecha (desplazamiento horizontal).



Este movimiento se logra adicionando un nivel de continua a la señal que llega a la correspondiente placa deflectora.

4.5.4. Base de tiempo

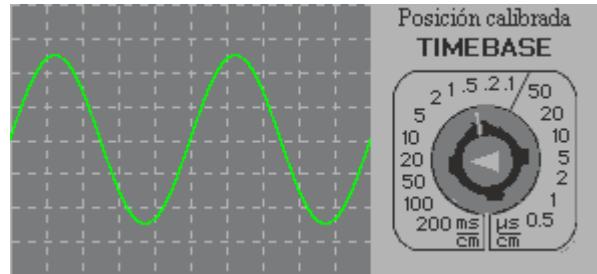
Se trata de un selector que controla la velocidad de barrido horizontal (varía la pendiente del diente de sierra que actúa sobre las placas horizontales); posee un gran número de pasos, cada uno de los cuales representa un factor de escala empleado por el sistema de barrido (no varía en forma continua como un potenciómetro). Por ejemplo si el selector esta en la posición 1 ms/div significa que cada una de las divisiones horizontales de la pantalla representan 1 milisegundo (tiempo que tardará el haz en cruzarla horizontalmente). Las divisiones más pequeñas representaran una quinta parte de este valor, o sea, 200 µs.



Con el selector de la imagen se puede visualizar en toda la pantalla, un máximo de 2 s (200 ms x 10 divisiones) y un mínimo de 5 μ s si empleamos la amplificación (0.5 μ s x 10 divisiones).

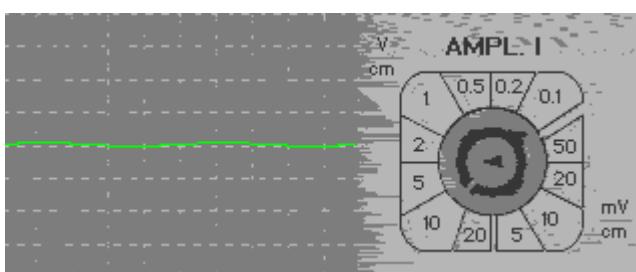
4.5.4.1. Amplificador de la Base de Tiempo

Se trata de un potenciómetro situado en la punta del selector de la Base de Tiempos y podemos considerarlo como una lupa del sistema horizontal (aumento cotínuo).



Para realizar medidas cuantitativas es necesario colocarlo en su posición calibrada, sinó sólo serán cualitativas.

4.5.5. Atenuador Vertical Calibrado y Compensado:



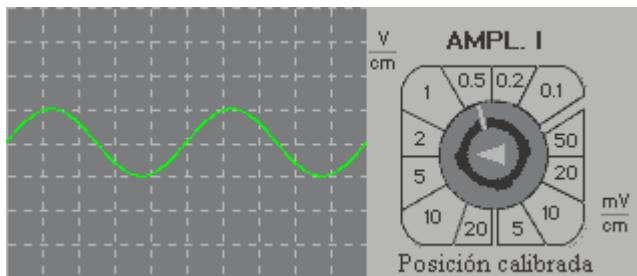
Nos permite acomodar la señal al tamaño de la pantalla, por lo cual es quien nos dice a cuanto Volts equivale cada división de la escala vertical impresa sobre la pantalla.

Se trata de un selector cuyas posiciones representan el factor de escala empleado por el sistema vertical (lo que en un voltímetro analógico denominamos constante de escala). Por ejemplo si el selector esta en la posición 2 V/div significa que cada una de las divisiones verticales de la pantalla (de un 1 cm aprox.) representan 2 V. Las divisiones más pequeñas representaran una quinta parte de este valor, o sea, 0.4 V para este ejemplo.

La máxima tensión que puede visualizar el osciloscopio con el atenuador de la figura y con una sonda (punta de prueba) de 10X será de: 10 (factor de división de la sonda) x 20 V/div (máxima escala) x 8 divisiones verticales = 1600 V.

En el ejemplo estamos representando una señal de 1Vpp, con diferentes escalas del atenuador.

Este control debe estar calibrado para que el oscilograma que se grafique sea cuantificable (medible en la pantallas mediante las divisiones VERTICALES sobreimpresas); y debe estar compensado para que no existan variaciones entre la señal ingresada y la graficada (distorsiones), cuando se varíe la frecuencia de la señal con que se trabaje (ver el tema relacionado de compensación de puntas de prueba al principio de la unidad)

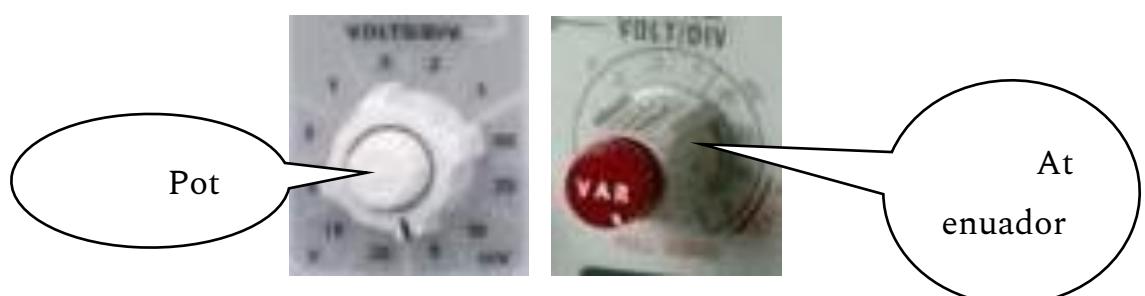


4.5.5.1. Ganancia Vertical (G.V.):

Se trata de un potenciómetro (se lo suele llamar "NONIO") situado de en la punta del selector de Atenuación

Vertical, y podemos considerarlo como una especie de lupa del sistema vertical.

Este control nos permite darle aún más amplitud a la señal que la que podemos lograr con el atenuador calibrado y compensado; Internamente es un potenciómetro que nos permite variar en forma continua la amplitud (no como en los pasos o ptos predefinidos por atenuador Vertical compensado y calibrado). La contra es que utilizar este potenciómetro nos saca al oscilograma de su propiedad cuantificable (calibrado) ya que en la amplificación lograda no hay forma de saber en qué factor de amplificación se está (pasa a ser una medición cuantitativa).



Este control tiene un punto "CAL"; cuando el control se encuentra en dicha posición la señal que se ve en el oscilograma se puede cuantificar, midiéndola sobre la pantalla. Si se lo saca de la posición CAL, es posible variar el tamaño del oscilograma, pero el valor que se lea de la señal no será el correcto, sólo sirve a

efectos de la visualización.

4.6. CLASIFICACIÓN DE LOS ORC

Existen varios criterios de clasificación, dependiendo de las características que se tomen como referencia:

- Según la presentación y el procesamiento
 - Analógico
 - Digital

En los analógicos podemos subdividir en:

- Según la base de tiempo :
 - 1^a Generación: Base de tiempo recurrente
 - 2^a Generación: Base de tiempo disparada
 - 3^a Generación: Base de tiempo demorada
- Según la frecuencia: es en base al rango de frecuencias que aceptaran como señal de entrada:
 - Audio frecuencia
 - Radio frecuencia
 - Micro ondas
- Según la cantidades de trazos:
 - Mono canal.
 - *Canales múltiples* (dos, cuatro y ocho trazos). Estos ya nos permiten comparar señales, medir ganancia de tensión, relación de fase, etc.
- Según su capacidad de memoria:
 - Sin memoria

- Con memoria: aquí tenemos dos tipos según el osciloscopio del que se trate:
 - Analógico: la memoria es mediante la persistencia fosfórica; que una vez fabricado no se puede modificar.
 - Digital: estos al muestrear (“*digitalizar*”) la señal de entrada ya permiten almacenar dichos datos (igual que los datos de una computadora), para luego reproducirlos a voluntad.

Los osciloscopios con memoria permiten visualizar la evolución de señales muy lentas. En los digitales el tiempo de almacenamiento varía según la capacidad de la memoria y la velocidad de muestreo.

4.6.1. Clasificación por la base de tiempo:

4.6.1.1. ORC con base de tiempo recurrente:

Es el más simple. En estos ORC el haz siempre se desplaza de izquierda a derecha a velocidad constante, independientemente que haya o no señal. Es decir, tiene una frecuencia de barrido determinada, que tiene un tiempo de ida y un tiempo de retorno. El que interesa es el tiempo de ida, ya que si la frecuencia es baja el de retorno es despreciable. De todas maneras, si tiene un pulso de borrado, esa parte de barrido no se ve.

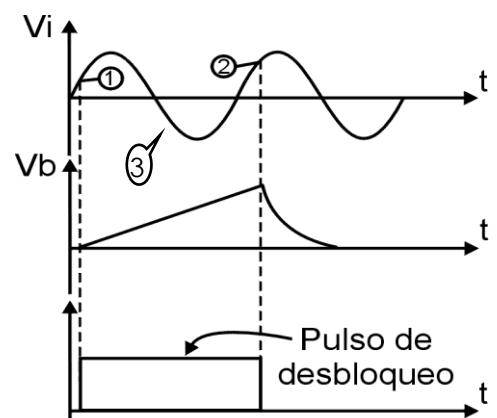
La pendiente y por ende la velocidad del barrido se puede variar a voluntad en forma continua (con el vernier), que no está tarado, por lo tanto, se pueden lograr diferentes visualizaciones, pero no se pueden medir, porque no está calibrado (estamos fuera de la posición "cal").

4.6.1.2. ORC con base de tiempo disparada:

La diferencia con el anterior es que **nace una rampa sólo si hay señal**, normalmente el cañón electrónico está bloqueado cuando no hay barrido.

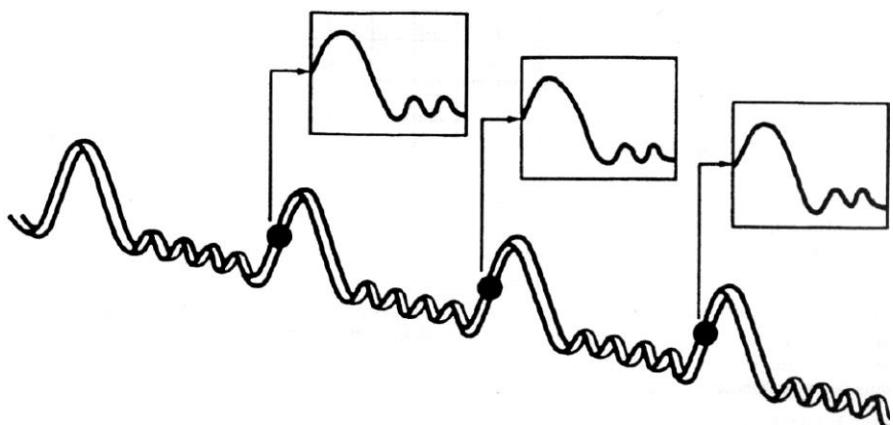
En la Fig de la derecha vemos que junto con el nivel 1 nace la rampa de barrido horizontal y se termina en 2, quedando, en este ejemplo, solo un ciclo graficado en pantalla (del punto 1 al 2)

Para que se produzca el trazo hay simultáneamente al barrido (rampa) un pulso de desbloqueo. El cañón siempre está bloqueado, sólo hay trazo durante el pulso de desbloqueo.

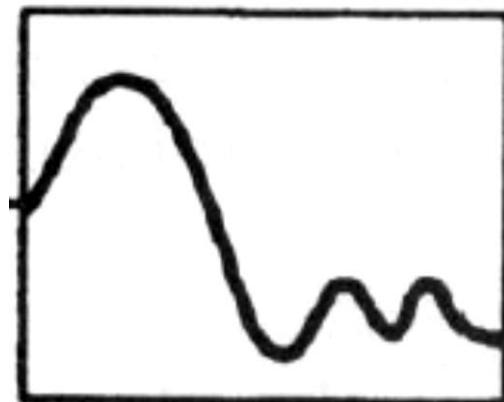


En realidad, en la pantalla observaremos todo lo que se alcance a graficar desde que se le da la indicación de disparo al barrido del canal horizontal; y como la señal es periódica, se dispara siempre en el mismo punto; el **resultado** es que

vemos un oscilograma estable en la pantalla:

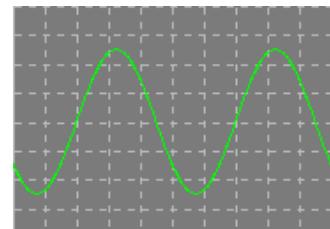
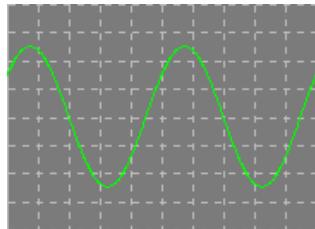


El disparo produce una presentación estable porque cada vez el mismo punto de disparo inicia el barrido.

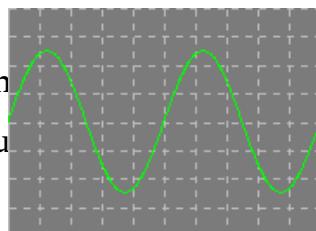


Oscilograma en la pantalla del ORC. Estable y visible ya que continuamente se está redibujando la onda.

En las siguientes figuras puede observarse la misma señal en dos ajustes de disparo diferentes; a la izquierda disparada en flanco ascendente, y a la derecha en flanco descendente:



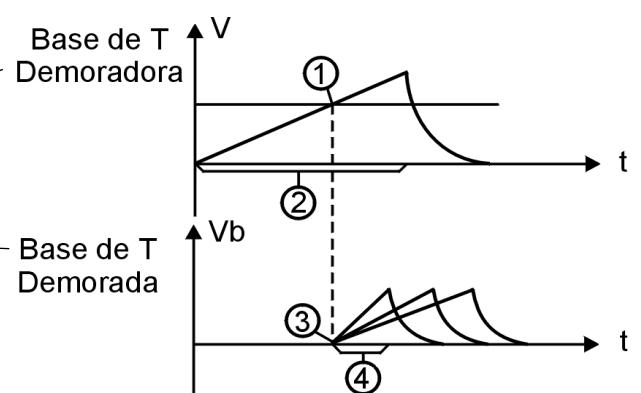
Si al osciloscopio no le definimos el punto de disparo (se lo fijamos en 0V) graficaría continuamente y veríamos un resultado similar a este:



El “punto 1” de disparo es seleccionable mediante un control en el frente del osciloscopio, con lo cual podemos elegir desde qué punto de la onda de entrada graficar

4.6.1.3. ORC con base de tiempo demorada:

Tiene 2 bases de tiempo, una se llama **demoradora**, la otra **demoradora**. Esta última depende de la señal de un comparador (pto 1 en la fig) que le indicará cuando actuar (la señal continua es regulable por un potenciómetro al frente del instrumento). Entonces la segunda rampa nace en 3 con una pendiente que la comanda el operador por medio de una segunda perilla concéntrica en el control de base de tiempos, siendo esta la base de tiempo demorada.



El concepto es que hay una base que demora a la otra (la demoradora demora a la demorada) y generalmente *la demorada es mucho más rápida* (la pendiente es mayor).

El tiempo 2 puede ocupar las diez divisiones de la pantalla (mostrando un ciclo completo de la señal), y el tiempo 4 dura solo $1/3$ de la pantalla por ser tres veces más rápida, por lo tanto, el oscilograma se magnifica tres veces en sentido horizontal, y la exactitud es mucho mayor (el tiempo 4 muestra $1/3$ del del ciclo de la señal pero ocupando toda la pantalla, por eso el aumento) . La demora de la segunda señal es gobernable. Tiene un potenciómetro tarado, que permite hacer mediciones de gran precisión.

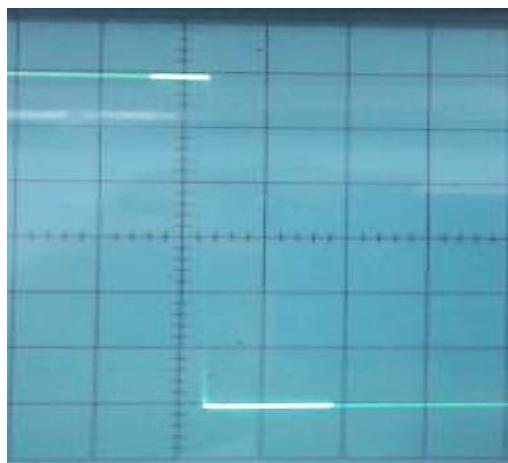


Imagen original

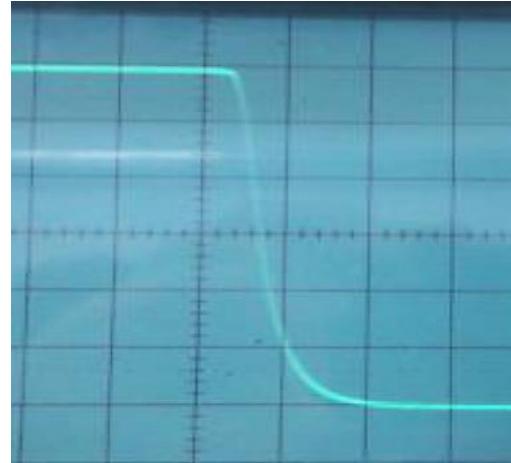
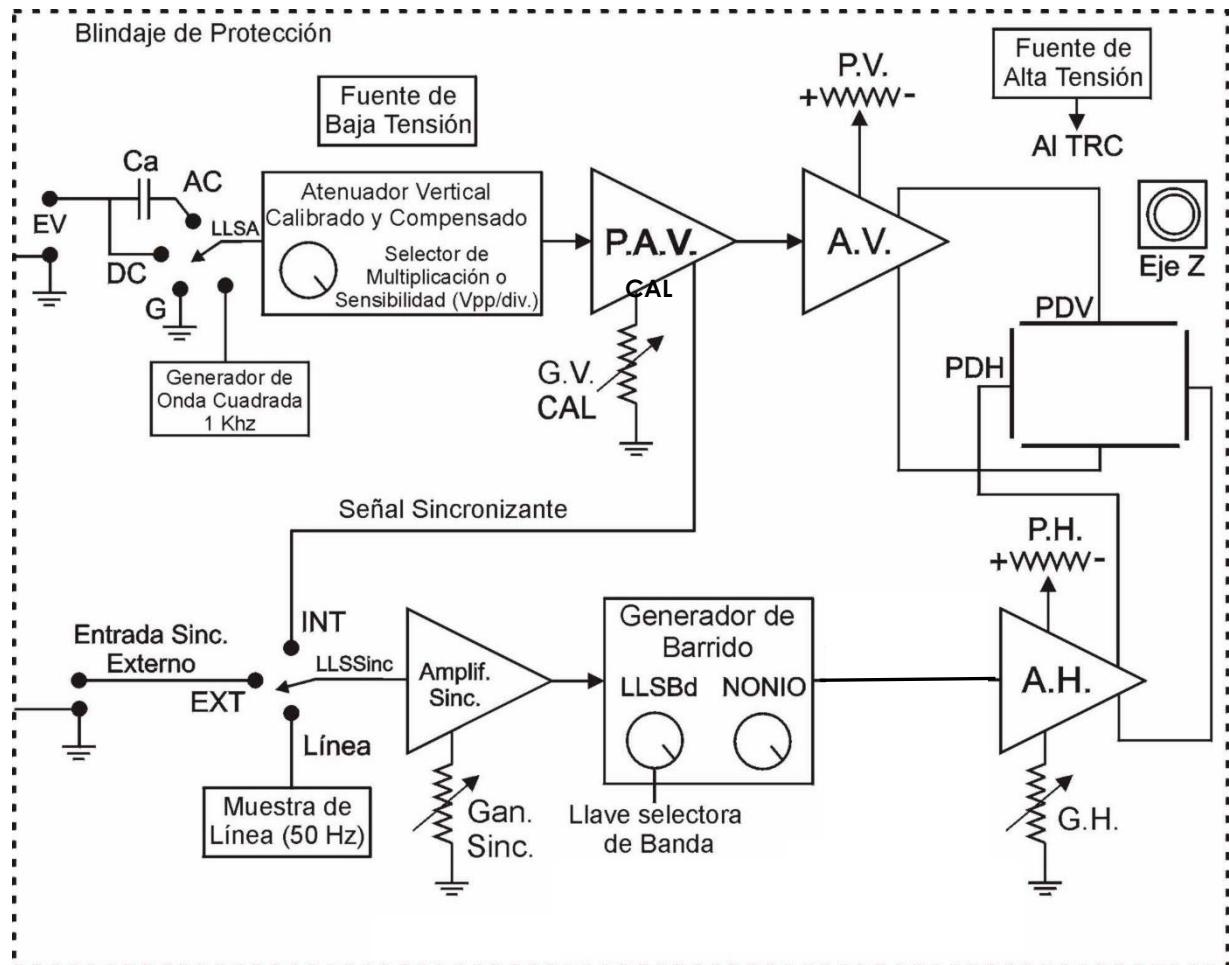


Imagen zona amplificada (base de tiempo demorada)

4.7. DIAGRAMA FUNCIONAL INTERNO DE UN ORC CON BASE DE TIEMPO RECURRENTE

El siguiente diagrama muestra los distintos bloques constitutivos del ORC con base de tiempo recurrente:



4.7.1. Controles asociados al canal Vertical (eje Y):

- Llave Selectora de Acoplamiento de entrada (LL.S.A.): (Accesible en panel frontal) Se trata de un conmutador que conecta eléctricamente la señal exterior a la entrada del osciloscopio.

El acoplamiento DC deja pasar la señal tal como viene del circuito exterior, es la señal real (incluso con su componente de continua).



El acoplamiento AC filtra/bloquea, mediante un condensador, la componente continua que posea la señal exterior, por lo que sólo visualizaremos la alterna. El acoplamiento GND desconecta la señal de entrada del sistema vertical y lo conecta a masa (0 V), permitiéndonos situar el punto ó trazo de referencia (según el ocr) en cualquier parte de la pantalla (generalmente el centro de la pantalla ó sobre el eje X).

Si selecciona AC, se intercala un capacitor para filtrar cualquier componente de continua, que tenga la señal. Obviamente si se quiere ver una señal de DC o de baja frecuencia no se debe intercalar este capacitor. Esto es porque la DC no pasa y para **la señal de baja frecuencia el capacitor presenta una reactancia muy grande**, que haría que se viese erróneo. *Por lo tanto, si la frecuencia es muy baja, el error es muy grande. Por eso es conveniente usar la entrada DC no solo para la continua sino también para frecuencias muy bajas (<<50 Hz).*

El punto GND nos asegura poner el canal vertical a 0 Volt sin tener que cortocircuitar la punta de prueba. Además, cuando se coloca en GND, los terminales de la punta quedan abiertos, por lo que no es necesario sacar las puntas del lugar en donde están conectadas (no se altera el circuito bajo prueba). Así se obtiene la referencia a 0 Volt, y cuando se coloca en AC o en DC se tiene el oscilograma centrado.

La entrada CAL conecta la entrada vertical al generador de onda cuadrada interno, lo que nos permite verificar la calibración y compensar las puntas atenuadoras x10 o x100.

- Generador de Onda Cuadrada: (Accesible en panel frontal) En algunos oscilloscopios se conecta este generador interno directamente a la entrada vertical para calibrar el aparato, utilizando esta señal como patrón (1Vpp.). De manera que en la pantalla se debe ver, cualquiera sea la escala, una señal de 1 Vpp. Si esto es así, se puede confiar en la escala. También se puede usar esta salida para verificar la compensación de una punta atenuadora.

- Atenuador Vertical Calibrado y Compensado: (Accesible en panel frontal) Nos permite acomodar la señal al tamaño de la pantalla, por lo cual es quien nos dice a cuanto Volts equivale cada división de la escala vertical impresa sobre la pantalla.
- Preamplificador Vertical (P.A.V.): Acomoda el nivel de señal para poder ser interpretado por el A.V. (en una amplificador no podemos amplificar una señal de mV a KV con un solo amplificador, por ello se utiliza una cadena de amplificadores para ir amplificando progresivamente la señal). Esta cadena de amplificadores debe ser muy lineal con la frecuencia para no distorsionar la señal, en el rango de utilización del osciloscopio.

El P.A.V, tiene un control de ganancia (G.V., Accesible en panel frontal), accesible al operador como perilla de potenciómetro, que nos permite modificar la magnitud de la señal en el canal vertical, **aunque saca al canal de su posición calibrada por lo que solo se podrán hacer medida cualitativas** al utilizar este control fuera de la posición de calibración.

- Ganancia Vertical (G.V.): (Accesible en panel frontal) Se trata de un control que regular la ganancia del P.A.V. y, por lo tanto, el nivel de señal de entrada al A.V., y finalmente impacta en la altura del oscilograma en forma continua.

Es este control el que nos permite darle aún más amplitud a la señal que la que podemos lograr con el atenuador calibrado y compensado; Internamente es un potenciómetro que nos permite variar en forma continua la amplitud (no como en los pasos o ptos predefinidos del atenuador compensado y calibrado).

El G.V. es un control de ganancia, como ya se mencionó, y sirve para aumentar o disminuir la deflexión vertical, por lo tanto, la altura del oscilograma va a depender de su posición.

- Amplificador Vertical (A.V.): acomoda la señal proveniente del PAV a las grandes magnitud requerida por las PDV. Lo importante es que estos dispositivos deben ser muy lineales, así no introducen distorsiones en la señal al graficarla.
- Posición Vertical (P.V.): (Accesible en panel frontal) Sirve para correr el oscilograma en sentido vertical, por ejemplo para centrar la imagen en la pantalla del osciloscopio. Este control consta de un potenciómetro que permite mover verticalmente la forma de onda hasta el punto exacto que se desee. Cuando se está trabajando con una sola señal el punto normalmente elegido suele ser el centro de la pantalla.
- Placas Deflectoras Verticales (P.D.V.): son las encargadas de ejecutar la desviación del haz de electrones; como ya lo hemos analizado en tema previo.

4.7.2. Controles asociados al canal Horizontal (eje X):

- Llave Selectora de Sincronismo (LL.S.Sinc.): (Accesible en panel frontal) Permite seleccionar con qué señal sincronizar el barrido horizontal (Diente de sierra); es decir en qué momento comienza el diente de sierra y por ende el barrido.
- Amplificador de Sincronismo (Amplif.Sinc.): Amplifica la señal de sincronismo, para ingresarla al Generador de Barrido.
- Ganancia de Sincronismo (Gan.Sinc.): (Accesible en panel frontal)
¿????

- Generador de Barrido: Es el generador interno de diente de sierra, que produce el barrido de las PDH cuando se selecciona la señal de sincronismo interna (INT). Tiene dos controles asociados:
- Llave Selector de Banda (LL.S.Bd.): (Accesible en panel frontal) Permite seleccionar la pendiente del diente de sierra que produce el barrido horizontal (eje X).
- Nonio: Es un potenciómetro de ajuste fino en la velocidad de barrido, está marcado del 0 a 10.
- Ganancia Horizontal (G.H.): (Accesible en panel frontal). Idem G.V.
- Posición Horizontal (P.H.): Se usa para correr el oscilograma en uno y otro sentido horizontal. Para ello adiciona un avalro de continua a la señal de barrido horizontal (el diente de sierra).

4.7.3. Canal Horizontal

Está formado por el amplificador horizontal y el generador de barrido; el barrido pueda ser interno (INT), Externo (Ext. o E.H.), o sincronizado con la línea (Linea)

Si se lo usa como graficador de señales en función del tiempo, es decir $Y=f(t)$, a las P.D.H. hay que aplicarle una señal diente de sierra, que es generada internamente (INT) por el generador de barrido. Este generador tiene dos controles que le permiten al operario variar la frecuencia en un amplio rango. Un control permite seleccionar la banda de frecuencia de barrido deseada (internamente se varía la velocidad de barrido) y luego otro control, NONIO, permite moverse de forma continua dentro de dicha banda, pero sin conocer el valor exacto de frecuencia (fuera de calibración).

Por ejemplo, si al selector *LL.S.Bd.* lo colocamos en la banda que va de 10 a 1200 Hz, con el *NONIO* (potenciómetro de "variación fina") podremos obtener sólo una idea aproxima del orden de la frecuencia dentro del dicho rango.

El generador interno tiene tres fuentes principales de sincronismo:

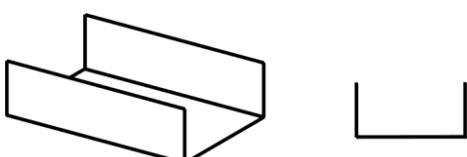
- La señal de sincronismo *INT* que es una muestra de la señal que hay en el P.A.V. y que va a atacar a las placas deflectoras verticales. Es lo más aconsejable si la señal que hay en el P.A.V. tiene suficiente amplitud, ya que esta señal va a hacer que el diente de sierra que se está generando parta siempre en el mismo valor de la señal, logrando ver una señal estable y sin corrimientos.
- La señal de sincronismo *Ext.* (como su nombre lo indica) lleva a cabo el sincronismo con una señal externa, esto es útil cuando la señal interna es muy débil y no sirve para este propósito.
- Por último, se puede sincronizar con una muestra de la señal de línea (220 V- 50 Hz).

Como la señal de sincronismo puede ser cualquiera, lo lógico es que se coloque un amplificador de sincronismo (Amplif. Sinc.), para que la señal sincronizante sea de un nivel suficiente que afecte al generador de barrido. Pero como la señal puede ser grande, es que tiene un control de ganancia de sincronismo (Gan.Sinc.), que es un control externo. El amplificador es similar al A.V. El sincronismo interno es el que generalmente da buenos resultados

En el A.H. también hay un control *G.H.* que permite que el oscilograma se expanda o se comprima horizontalmente. Si por ejemplo no hay salida en el A.H., por más que exista un diente de sierra, no va a haber una deflexión horizontal, y se verá una línea vertical que lo único que puede dar es información acerca del valor pico a pico de la señal.

4.8. Protección al ruido ambiente

El ORC debe tener un buen **blindaje** electromagnético para que no se metan



señales externas ni tampoco salgan señales del mismo hacia el exterior; este blindaje va conectado a masa. Además, el tubo mismo tiene que tener blindaje magnético porque dentro del ORC existen cables que transportan corrientes, y al pasar éstos cerca del tubo, los campos magnéticos generados en ellos pueden afectar al haz de electrones desviándolo. Para evitar esto se le pone un blindaje magnético al cañón, de la siguiente forma:

Normalmente es una chapa, en cuyo interior se coloca el cañón. Esta es de un material de alta permeabilidad, por lo que las líneas de campo no la atraviesan, sino que se conducen por él, a masa. Existen además dos fuentes de alimentación:

Fuente de Baja Tensión (F.B.T.): Sirven para alimentar todos los circuitos de las etapas amplificadoras y generadores.

Fuente de Alta Tensión (F.A.T.): Es exclusiva para alimentar al TRC, esto se hace con 4800 o 18000 Volt que se usan para acelerar el haz.

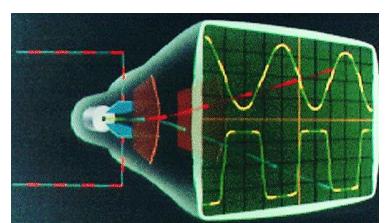
Por último, tiene una entrada adicional (generalmente ubicada en la parte posterior del osciloscopio) denominada eje Z, la cual comanda la grilla de control, interrumpiendo el haz cuando hay señal.

4.9. Visualización de múltiples trazos

Hasta ahora se han visto TRC que me permiten ver un solo oscilograma, ya que hay un solo cañón electrónico. Sin embargo en muchas mediciones es necesario comparar dos señales simultáneamente, es aquí donde nace el:

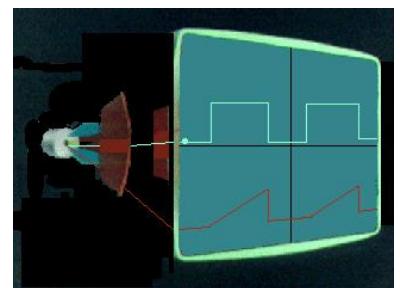
4.9.1. ORC de Doble Trazo

El método de doble trazo nos permite utilizar un TRC normal, como el descripto anteriormente, para visualizar dos señales simultáneamente en pantalla. Hay dos formas de realizar esta visualización simultánea: mediante alternancia o mediante conmutación (modo **alt** o **chop**, respectivamente); esta opción se elige mediante un selector de muestreo.

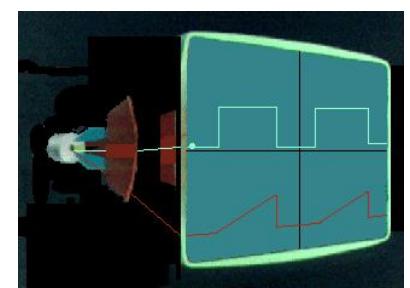


4.9.1.1. Modo alternado / chopeado

Mediante el selector de muestreo decidimos la manera como se hará la conmutación. Si la conmutación es alternada (**modo Alt**), se graficará durante todo un “barrido” el canal I y luego un barido con el canal II. Esta conmutación es automática y se da sucesivamente; es decir se traza completamente la señal del canal I, luego la del canal II y se repite. Se utiliza para señales de media y alta frecuencia (generalmente cuando el mando de base de tiempo está situado en una escala de 0.5 ms o menos) ya que con el modo chop se podría perder información.



En el **modo chop** ambas señales se grafican al mismo tiempo, ya que el haz va conmutando repetidamente entre las señales de ambos canales verticales (a velocidades típicas de 100 kHz); es decir el osciloscopio traza una pequeña parte del canal I, luego otra pequeña parte del canal II, luego otra parte del canal I, luego otra parte del canal II, y así hasta realizar un “barrido” completo del eje x; y empezar de nuevo. Se utiliza para señales de baja frecuencia (con la base de tiempo en 1 ms o superior) ya que en el modo alternado se presentaría un parpadeo en la pantalla debido a la baja velocidad de escritura.



Para medir el desfase entre dos señales se recomienda el modo chop debido a que en el modo alternado se presenta un desfase adicional el cual es igual al tiempo de un barrido.



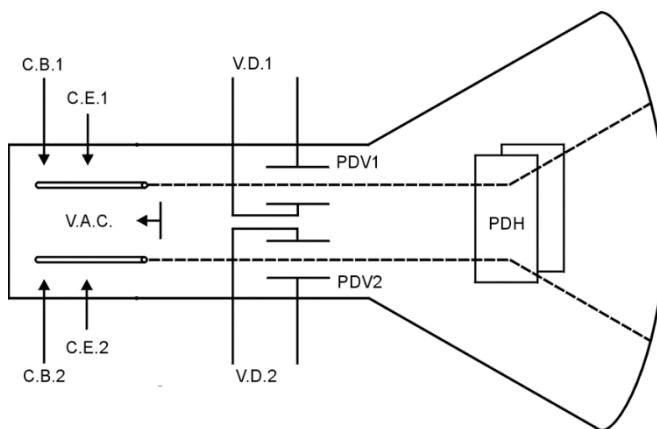
Se puede observar que en modo chop el osciloscopio en un barrido pinta las dos señales, mientras que en el modo alt el osciloscopio pinta una señal en un barrido y la otra en el barrido consecutivo.

Podemos decir que en modo “chop” se disminuye

significativamente error al medir el defase (en el alternado tengo la pérdida de información de un canal mientras se está barriendo el otro)

4.10. TRC de Doble Haz

Este posee dos haces de electrones con sistemas deflectores independientes:



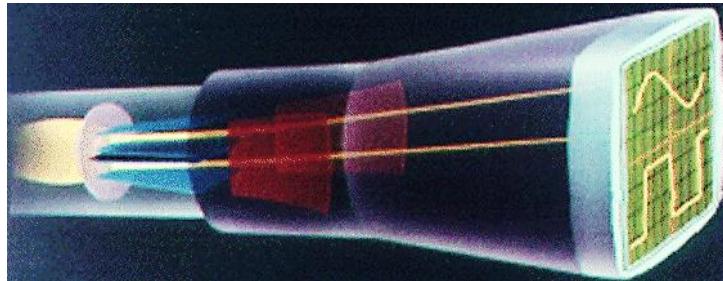
El TRC de doble haz posee haces de electrones con sus respectivas placas deflectoras verticales y con controles de brillo y foco independientes. Cabe destacar que no es lo mismo tener doble haz que doble trazo, para que exista doble haz deben haber dos sistemas deflectores, sin embargo el doble trazo se puede lograr con un solo sistema deflector.

Las PDH barren a ambos haces con igual velocidad, por lo que **la base de tiempo es única**, es la misma para ambas. Cada deflector vertical posee un control de posición que permite descender, ascender o superponer los oscilogramas en forma independiente (P.D.V.1 y P.D.V.2).

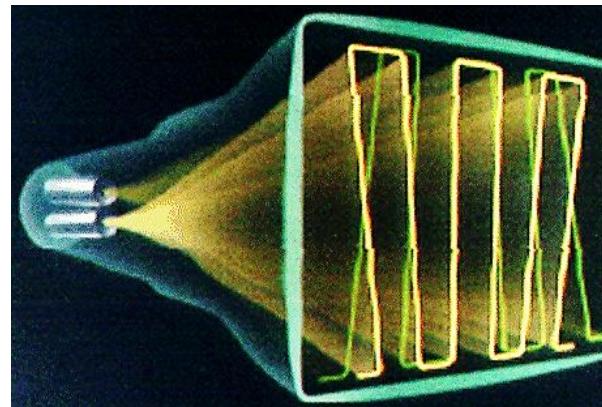
La superposición permite hacer mediciones precisas de diferencia de fase y tiempo principalmente, que a veces no se puede hacer con el ORC de doble trazo.

El Osciloscopio de doble haz puede ser fabricarlo utilizando uno o dos cañones electrónicos (sistema emisor de electrones); en el primer caso existe un solo cañón emisor cuyo flujo de electrones es dividido en dos para conformar los mencionados dos haces. El primero recibe el nombre de doble Haz y el segundo de

Doble Cañón.



TRC de simple Cañón

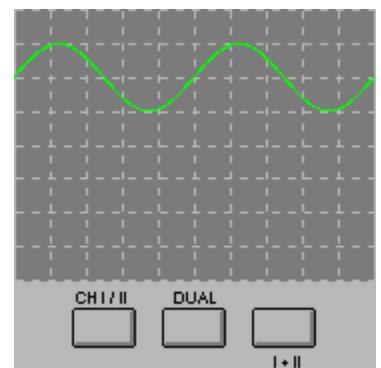


TRC de Doble Cañón

4.11. Modo simple / dual / suma

En el **modo simple** estaremos visualizando el canal I ó II, según la selección que hagamos (en este gráfico veremos el I si el pulsador no está presionado y el canal II si lo estuviera).

El **modo dual**, divide la pantalla en superior e inferior y nos mostrará un canal en cada mitad, es decir visualizaremos simultáneamente ambos canales en la pantalla.



El **modo suma**, nos muestra la suma, punto a punto, de las señales de los canales I y II

4.12. Eje Z

Existe un acceso denominado Eje Z, que va a la grilla de control del cañón. Generalmente está ubicado en la parte posterior del ORC. Esto posibilita que el control de brillo, al cual se lo puede operar manualmente, se pueda alterar, por ejemplo, mediante una señal impulsiva (tren de pulsos). Esto se usa en la medición de frecuencia por el método de modulación del Eje Z.

4.13. Medida del desfase entre señales

4.13.1.

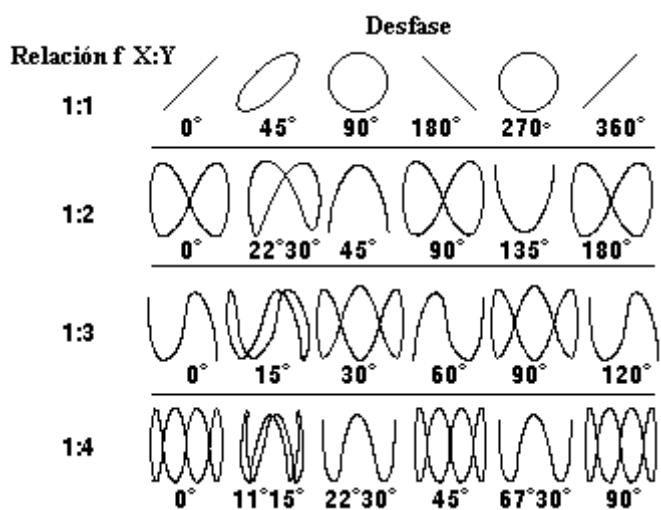
Un método es superponer ambas señales en la pantalla y medir la diferencia de tiempos entre las dos, luego, por calculos, determinar el defase entre las mismas.

4.13.2. Modo X-Y

Otro método son las denominadas figuras de Lissajous, para ello utilizaremos el modo X-Y presente en los controles del osciloscopio, esto nos va a introducir en una de las técnicas de medida de desfase (la única que podemos utilizar cuando solo disponemos de un canal vertical en nuestro osciloscopio).

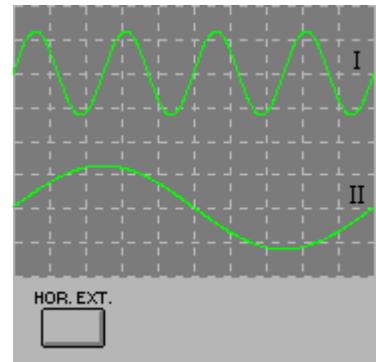
El desfase indica el angulo de atraso o adelanto que posee una señal con respecto a otra, si poseen ambas el mismo periodo. Si a una señal periódica la duplicamos y defasamos 360° de la original, la habremos defasado un período.

Ya que el osciloscopio solo puede medir directamente los tiempos, la medida del desfase será indirecta. Uno de los métodos para medir el desfase es utilizar el modo X-Y. Esto implica introducir una señal por el canal vertical (generalmente el I) y la otra por el canal horizontal (generalmente el II). (este método solo funciona de forma correcta si ambas señales son senoidales). La forma de onda resultante en pantalla se denomina figura de Lissajous (debido al físico francés denominado Jules Antoine Lissajous). Se puede deducir la fase entre las dos señales, así como su relación de frecuencias observando la siguiente figura



(Lissajous), utiles tanto para la medida de ciertas relaciones de fase como de frecuencia.

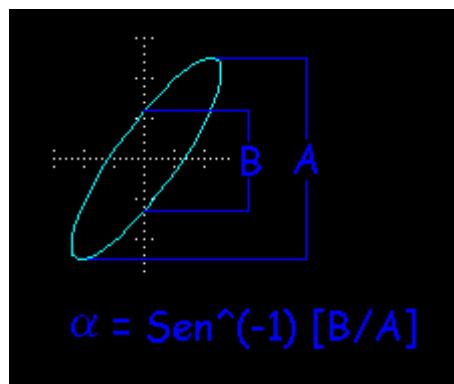
Para esta medición deberemos desconectar la señal de barrido horizontal interna del ORC y enviarle como señal de barrido la ingresada en el canal vertical II. Esto lo hacemos mediante un selector o botón que nos indica dicha función. Esto nos permite visualizar las curvas de respuesta



En este modo se muestra una señal en función de otra, es decir, el eje del tiempo en el cual se generaba la rampa, el retrazo, el disparo, etc., se reemplazará por una señal externa que se conecta en el canal A. Es importante aclarar que la señal del canal B se representa en el eje cartesiano Y de la pantalla del TRC, mientras que la señal del canal A se representa en el eje cartesiano X, que anteriormente representaba al tiempo. Una aplicación importante del modo X-Y son las figuras de Lissajous, Con ellas se pueden medir diferencias de fase. Para realizar la medición, primero se centra el haz de electrones en el punto medio de la pantalla mediante el control de posición horizontal y vertical, estando los acoplos de entrada en la posición GND. Al pasar los acoplos a la posición AC (Se utiliza acople AC porque las posibles componentes DC de la señal no permitirían

un fácil ajuste de los ejes de coordenadas), el desfase α se mide calculando el arcoseno de la relación entre las magnitudes B y A , donde B es la distancia entre los cortes de la figura de Lissajous con el eje vertical central y A es la distancia vertical total de la figura.

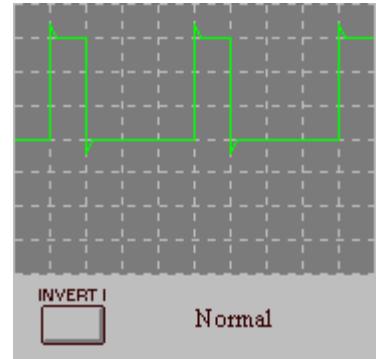
Método para medir el desfase con las figuras de Lissajous



4.14. Otros controles que podemos encontrar en los Osciloscopios

4.14.1. Inversión

Es un commutador de dos posiciones en forma de botón que permite en una de sus posiciones invertir la señal de entrada en el canal I (existen otros osciloscopios que invierten el canal II).



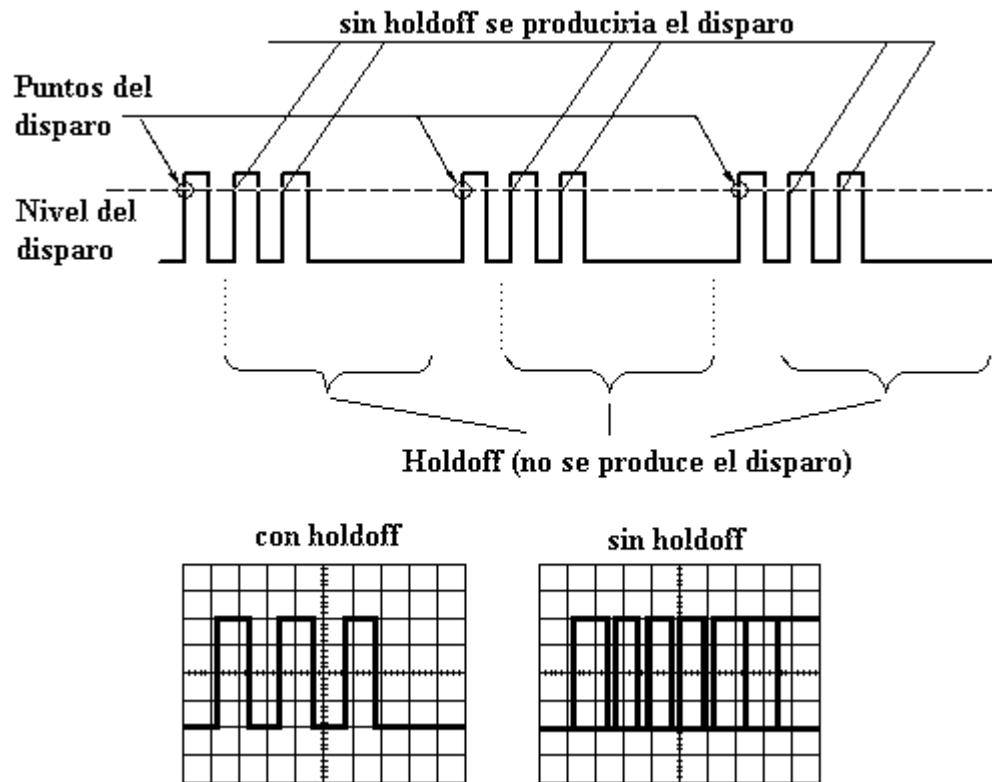
4.14.2. Holdoff

Podía traducirse como mantener (hold) desconectado (off). Este control no está incluido en los osciloscopios de nivel bajo ó medio.

Se utiliza cuando deseamos sincronizar en la pantalla del osciloscopio señales formadas por trenes de impulsos espaciados en el tiempo. Se pretende que el osciloscopio se dispare cuando el primer impulso del que consta el tren alcance el nivel de tensión fijado para el disparo, pero que exista una zona de sombra para

el disparo que cubra los impulsos siguientes, el osciloscopio no debe dispararse hasta que llegue el primer impulso del siguiente tren. Consta generalmente de un mando asociado con un interruptor, este último pone en funcionamiento el sistema holdoff y el mando variable ajusta el tiempo de sombra para el disparo.

En la siguiente figura se observará mejor el funcionamiento.



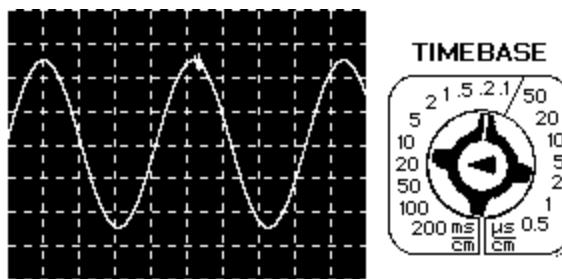
4.14.3. Línea de retardo

Esta función es muy similar a la "base de tiempo disparada" del ORC. Aquí en vez de amplificar la porción de la onda que queremos, en el tiempo o posición en que sale en la pantalla, haremos que el osciloscopio barra más rápido la pantalla y que empiece a dibujar cuando encuentra que empieza la porción a amplificar.

Tampoco es habitual encontrar dicho mando en los osciloscopios de gama media, baja. Sin embargo cuando deseamos amplificar un detalle que no se encuentra cercano al momento del disparo, necesitamos de alguna manera retardar este último un determinado tiempo para con el mando de la base de tiempos poderlo amplificar. Esto es precisamente lo que realiza este mando.

Consta de un conmutador de varias posiciones que nos proporciona el tiempo que el osciloscopio retarda la presentación desde el momento que la señal

se dispara, este tiempo puede variar, dependiendo del osciloscopio, desde algunas fracciones de μ seg a algunos centenares de msg; posee también, y generalmente concentrado con el anterior, un mando variable para ajustar de forma más precisa el tiempo anterior. Y por último, un conmutador que en una posición etiquetada como search indica al osciloscopio que busque el punto a partir del cual deseamos que se presente la señal y otra posición etiquetada como delay que fija la anterior posición y permite el uso de la base de tiempos para amplificar el detalle deseado.



En este ejemplo si desearamos amplificar el pequeño impulso que aparece en el segundo semicírculo positivo deberíamos ajustar el tiempo de retardo a:

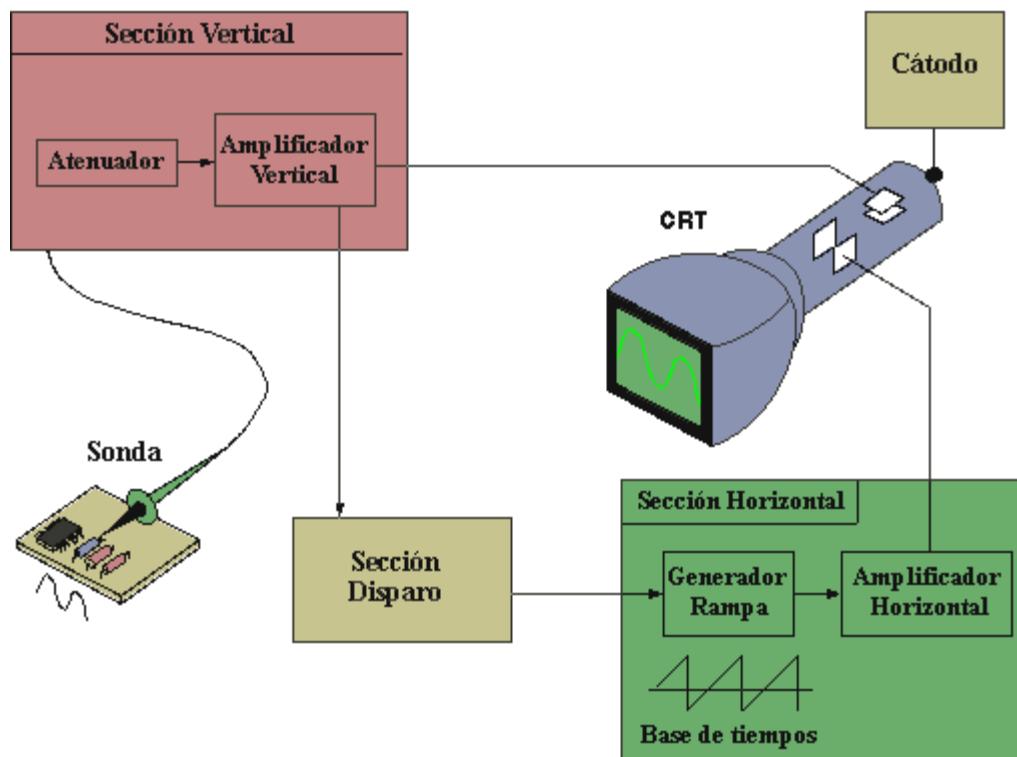
$$.2 \times 5 = 1 \text{ msg}$$

4.15. Esquemas comparativos de un osciloscopio Analógico y uno Digital

Los Osciloscopios también pueden ser analógicos ó digitales. Los primeros trabajan directamente con la señal aplicada, está una vez amplificada desvia un haz de electrones en sentido vertical proporcionalmente a su valor. En contraste los osciloscopios digitales utilizan previamente un conversor analógico-digital (A/D) para almacenar digitalmente la señal de entrada, reconstruyendo posteriormente esta información en la pantalla.

Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes. Los analógicos son preferibles cuando es prioritario visualizar variaciones rápidas de la señal de entrada en tiempo real. Los osciloscopios digitales se utilizan cuando se desea visualizar y estudiar eventos no repetitivos (picos de tensión que se producen aleatoriamente).

4.15.1. Osciloscopios analógicos



Cuando se conecta la sonda a un circuito, la señal atraviesa esta última y se dirige a la sección vertical. Dependiendo de donde situemos el mando del amplificador vertical atenuaremos la señal ó la amplificaremos.

En la salida de este bloque ya se dispone de la suficiente señal para atacar las placas de deflexión verticales (que naturalmente estan en posición horizontal) y que son las encargadas de desviar el haz de electrones, que surge del catodo e impacta en la capa fluorescente del interior de la pantalla, en sentido vertical. Hacia arriba si la tensión es positiva con respecto al punto de referencia (GND) ó hacia abajo si es negativa.

La señal también atraviesa la sección de disparo para de esta forma iniciar el barrido horizontal (este es el encargado de mover el haz de electrones desde la parte izquierda de la pantalla a la parte derecha en un determinado tiempo).

El trazado (recorrido de izquierda a derecha) se consigue aplicando la parte ascendente de un diente de sierra a las placas de deflexión horizontal (las que estan en posición vertical), y puede ser regulable en tiempo actuando sobre el mando TIME-BASE. El retrazado (recorrido de derecha a izquierda) se realiza de forma

mucho más rápida con la parte descendente del mismo diente de sierra.

De esta forma la acción combinada del trazado horizontal y de la deflexión vertical traza la gráfica de la señal en la pantalla. La sección de disparo es necesaria para estabilizar las señales repetitivas (se asegura que el trazado comience en el mismo punto de la señal repetitiva).

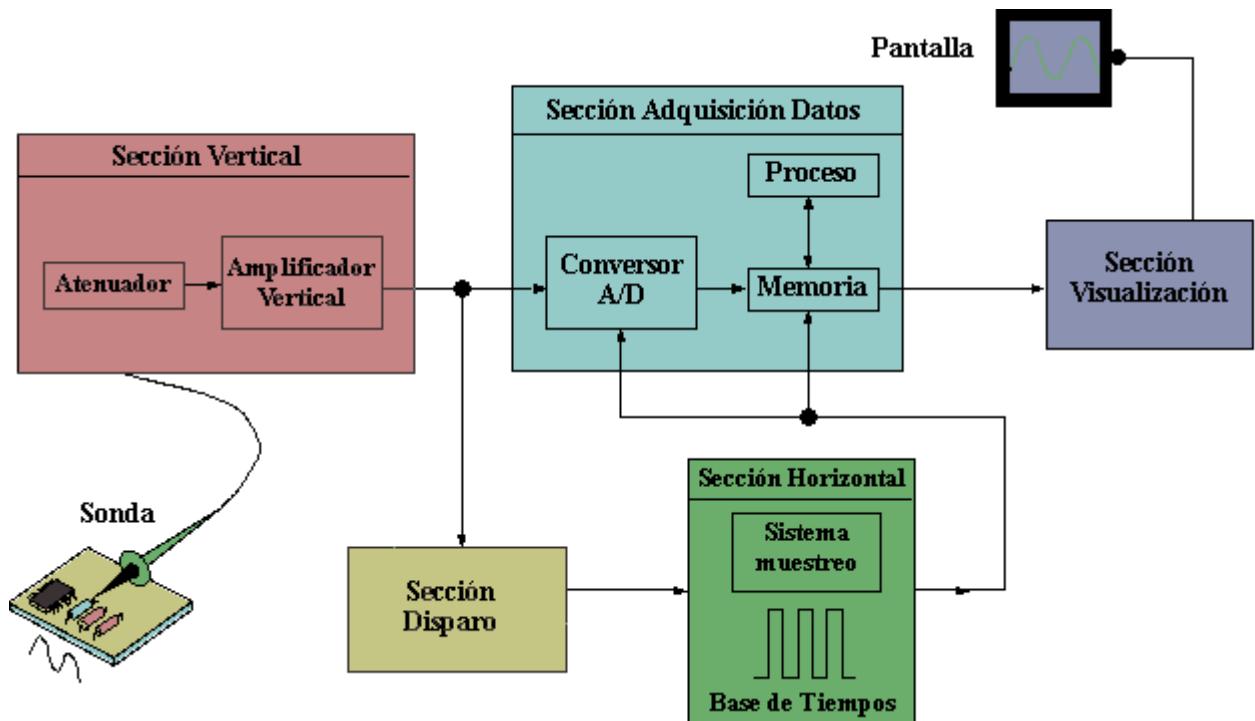
Como conclusión para utilizar de forma correcta un osciloscopio analógico necesitamos realizar tres ajuste básicos:

- La atenuación ó amplificación que necesita la señal. Utilizar el mando AMPL. para ajustar la amplitud de la señal antes de que sea aplicada a las placas de deflexión vertical. Conviene que la señal ocupe una parte importante de la pantalla sin llegar a sobrepasar los límites.
- La base de tiempos. Utilizar el mando TIMEBASE para ajustar lo que representa en tiempo una división en horizontal de la pantalla. Para señales repetitivas es conveniente que en la pantalla se puedan observar aproximadamente un par de ciclos.
- Disparo de la señal. Utilizar los mandos TRIGGER LEVEL (nivel de disparo) y TRIGGER SELECTOR (tipo de disparo) para estabilizar lo mejor posible señales repetitivas.

Por supuesto, también deben ajustarse los controles que afectan a la visualización: FOCUS (enfoque), INTENS. (intensidad) nunca excesiva, Y-POS (posición vertical del haz) y X-POS (posición horizontal del haz).

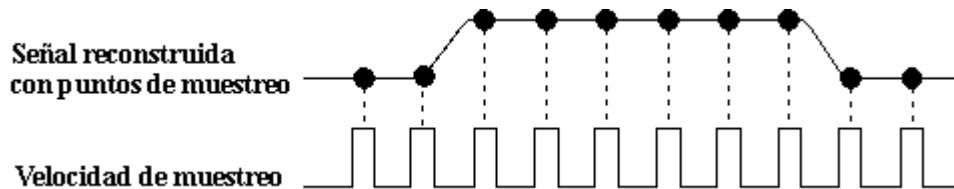
4.15.2. Oscilloscopios digitales

Los oscilloscopios digitales poseen además de las secciones explicadas anteriormente un sistema adicional de proceso de datos que permite almacenar y visualizar la señal.



Cuando se conecta la sonda de un osciloscopio digital a un circuito, la sección vertical ajusta la amplitud de la señal de la misma forma que lo hacia el osciloscopio analógico.

El conversor analógico-digital del sistema de adquisición de datos muestrea la señal a intervalos de tiempo determinados y convierte la señal de voltaje continua en una serie de valores digitales llamados muestras . En la sección horizontal una señal de reloj determina cuando el conversor A/D toma una muestra. La velocidad de este reloj se denomina velocidad de muestreo y se mide en muestras por segundo.



Los valores digitales muestreados se almacenan en una memoria como puntos de señal. El número de los puntos de señal utilizados para reconstruir la señal en pantalla se denomina registro. La sección de disparo determina el comienzo y el final de los puntos de señal en el registro. La sección de visualización recibe estos puntos del registro, una vez almacenados en la memoria, para presentar en pantalla la señal.

Dependiendo de las capacidades del osciloscopio se pueden tener procesos adicionales sobre los puntos muestreados, incluso se puede disponer de un predisparo, para observar procesos que tengan lugar antes del disparo.

Fundamentalmente, un osciloscopio digital se maneja de una forma similar a uno analógico, para poder tomar las medidas se necesita ajustar el mando AMPL.,el mando TIMEBASE así como los mandos que intervienen en el disparo.

4.16. Métodos de muestreo

Se trata de explicar como se las arreglan los osciloscopios digitales para reunir los puntos de muestreo. Para señales de lenta variación, los osciloscopios digitales pueden perfectamente reunir más puntos de los necesarios para reconstruir posteriormente la señal en la pantalla. No obstante, para señales rápidas (como de rápidas dependerá de la máxima velocidad de muestreo de nuestro aparato) el osciloscopio no puede recoger muestras suficientes y debe recurrir a una de estas dos técnicas:

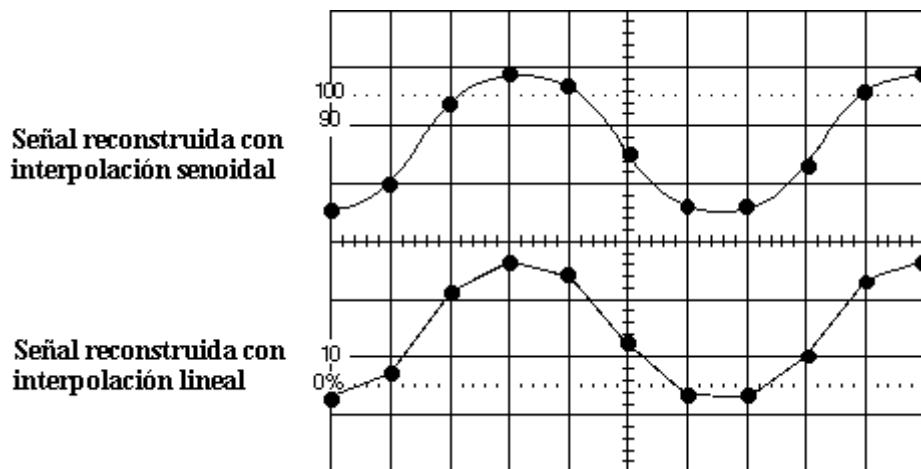
- Interpolación , es decir, estimar un punto intermedio de la señal basandose en el punto anterior y posterior.
- Muestreo en tiempo equivalente . Si la señal es repetitiva es posible muestrear durante unos cuantos ciclos en diferentes partes de la señal para después reconstruir la señal completa.

4.16.1. Muestreo en tiempo real con Interpolación

El método standard de muestreo en los osciloscopios digitales es el muestreo en tiempo real: el osciloscopio reune los suficientes puntos como para reconstruir la señal. Para señales no repetitivas ó la parte transitoria de una señal es el único método válido de muestreo.

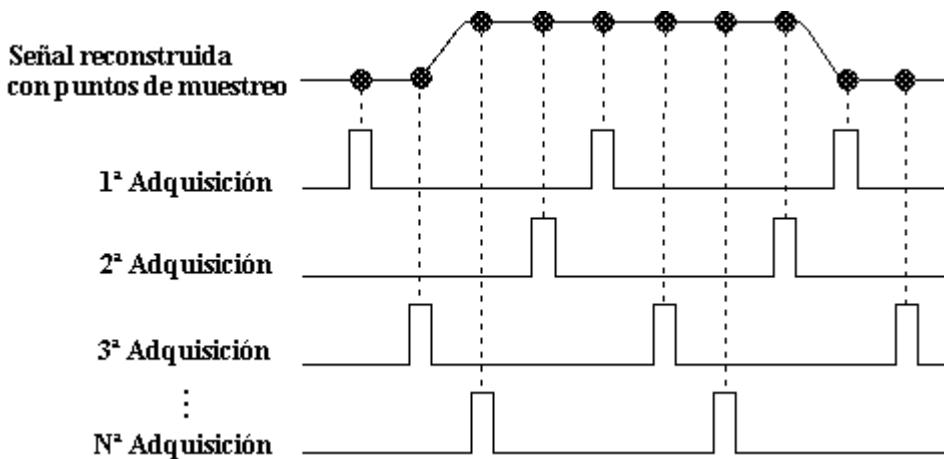
Los osciloscopios utilizan la interpolación para poder visualizar señales que son más rápidas que su velocidad de muestreo. Existen basicamente dos tipos de interpolación:

Lineal : Simplemente conecta los puntos muestreados con líneas. Senoidal : Conecta los puntos muestreados con curvas según un proceso matemático, de esta forma los puntos intermedios se calculan para llenar los espacios entre puntos reales de muestreo. Usando este proceso es posible visualizar señales con gran precisión disponiendo de relativamente pocos puntos de muestreo.



4.16.2. Muestreo en tiempo equivalente

Algunos osciloscopios digitales utilizan este tipo de muestreo. Se trata de reconstruir una señal repetitiva capturando una pequeña parte de la señal en cada ciclo. Existen dos tipos básicos: Muestreo secuencial- Los puntos aparecen de izquierda a derecha en secuencia para conformar la señal. Muestreo aleatorio- Los puntos aparecen aleatoriamente para formar la señal



4.17. Parámetros importantes de los osciloscopios

A continuación hacemos una relación de las características técnicas más importantes de nuestros osciloscopios:

Ancho de banda: nos especifica el rango de frecuencias en las que los osciloscopios pueden medir con precisión. El ancho de banda se calcula desde 0Hz (continua) hasta la frecuencia a la cual una señal de tipo senoidal se visualiza a un 70.7% del valor aplicado a la entrada.

Tiempo de subida: este es otro parámetro que nos dará, junto al anterior, la máxima frecuencia de utilización del osciloscopio. Es un parámetro importante si se desea medir con fiabilidad pulsos y flancos (recordar que este tipo de señales poseen transiciones entre niveles de tensión muy rápidas). Los osciloscopios no pueden visualizar pulsos con tiempos de subida más rápidos que el suyo propio.

Sensibilidad vertical: indica la facilidad de los osciloscopios para amplificar señales débiles. Se suele proporcionar en mV por división vertical, normalmente es del orden de 5mV/div (llegando hasta 2 mV/div).

Velocidad: para los osciloscopios analógicos esta especificación nos indica la velocidad máxima del barrido horizontal, lo que nos permitirá observar sucesos más rápidos. Suele ser del orden de nano segundos por división horizontal.

Velocidad de muestreo: en los osciloscopios digitales se indican cuantas muestras por segundo son capaces de tomar el sistema de adquisición de datos (específicamente el conversor A/D). Cuando los osciloscopios son de calidad se llegan a velocidades de muestreo de Megamuestras/sg. Una velocidad de muestro grande es importante a la hora de poder visualizar pequeños periodos de tiempo. En el otro extremo de la escala, también se necesita velocidades de muestreo bajas para poder observar señales de variación lenta. Generalmente la velocidad del muestreo cambia al actuar sobre el mando TimeBase para mantener constante el número de puntos que se almacenaran para representar la forma de la onda.

Resolución vertical: esta se mide en bits y es un parámetro que nos da la resolución del conversor A/D del osciloscopio digital. Nos indica con que precisión

se convierten las señales de entrada en valores digitales almacenados en la memoria. Técnicas de cálculo pueden aumentar la resolución efectiva de los osciloscopios.

Longitud del registro: nos indica cuantos puntos de memorizan en un registro para la reconstrucción de la forma de la onda. Algunos osciloscopios nos permiten variar, dentro de ciertos límites, este parámetro. La máxima longitud del registro depende del tamaño de la memoria de que dispongan los osciloscopios. Una longitud del registro grande permite realizar zooms sobre detalles en la forma de onda de manera rápida (los datos ya han sido almacenados), sin embargo esta ventaja es a costa de consumir más tiempo en muestrear la señal completa.

Exactitud en la ganancia: nos indica la precisión con la cual el sistema vertical de los osciloscopios amplifica ó atenúa la señal. Se proporciona normalmente en porcentaje máximo de error.

Exactitud de la base de tiempos: nos indica la precisión en la base de tiempos del sistema horizontal de los osciloscopios para visualizar el tiempo. También se suelen dar el porcentaje de error máximo.

5. **¿Qué parámetros influyen en la calidad de un osciloscopio**

Los términos definidos en esta sección nos permitiran comparar diferentes modelos de osciloscopio disponibles en el mercado.

6. **Ancho de Banda**

Especifica el rango de frecuencias en las que el osciloscopio puede medir con precisión. Por convenio el ancho de banda se calcula desde 0Hz (continua) hasta la frecuencia a la cual una señal de tipo senoidal se visualiza a un 70.7% del valor aplicado a la entrada (lo que corresponde a una atenuación de 3dB).

7. **Tiempo de subida**

Es otro de los parámetros que nos dará, junto con el anterior, la máxima

frecuencia de utilización del osciloscopio. Es un parámetro muy importante si se desea medir con fiabilidad pulsos y flancos (recordar que este tipo de señales poseen transiciones entre niveles de tensión muy rápidas). Un osciloscopio no puede visualizar pulsos con tiempos de subida más rápidos que el suyo propio.

8. Sensibilidad vertical

Indica la facilidad del osciloscopio para amplificar señales débiles. Se suele proporcionar en mV por división vertical, normalmente es del orden de 5 mV/div (llegando hasta 2 mV/div).

9. Velocidad

Para osciloscopios analógicos esta especificación indica la velocidad máxima del barrido horizontal, lo que nos permitirá observar sucesos más rápidos. Suele ser del orden de nanosegundos por división horizontal.

10. Exactitud en la ganancia

Indica la precisión con la cual el sistema vertical del osciloscopio amplifica ó atenua la señal. Se proporciona normalmente en porcentaje máximo de error.

11. Exactitud de la base de tiempos

Indica la precisión en la base de tiempos del sistema horizontal del osciloscopio para visualizar el tiempo. También se suele dar en porcentaje de error máximo.

12. Velocidad de muestreo

En los osciloscopios digitales indica cuantas muestras por segundo es capaz de tomar el sistema de adquisición de datos (específicamente el conversor A/D). En los osciloscopios de calidad se llega a velocidades de muestreo de Megamuestras/sg. Una velocidad de muestreo grande es importante para poder visualizar pequeños períodos de tiempo.

En el otro extremo de la escala, también se necesita velocidades de muestreo bajas para poder observar señales de variación lenta. Generalmente la velocidad de muestreo cambia al actuar sobre el mando TIMEBASE para mantener constante

el número de puntos que se almacenaran para representar la forma de onda.

13. Resolución vertical

Se mide en bits y es un parámetro que nos da la resolución del conversor A/D del osciloscopio digital. Nos indica con que precisión se convierten las señales de entrada en valores digitales almacenados en la memoria. Técnicas de cálculo pueden aumentar la resolución efectiva del osciloscopio.

14. Longitud del registro

Indica cuantos puntos se memorizan en un registro para la reconstrucción de la forma de onda. Algunos osciloscopios permiten variar, dentro de ciertos límites, este parámetro. La máxima longitud del registro depende del tamaño de la memoria de que disponga el osciloscopio. Una longitud del registro grande permite realizar zooms sobre detalles en la forma de onda de forma muy rápida (los datos ya han sido almacenados), sin embargo esta ventaja es a costa de consumir más tiempo en muestrear la señal completa.