

escuela **INTEGRAL** **AUTONOMA** **DE ENSEÑANZA**

“ #” E' ° ~ #

Unidad 2

GENERACION DE CORRIENTE ALTERNA

Las corrientes alternas, por sus ilimitadas aplicaciones tienen fundamental importancia en los circuitos electrónicos; su estudio abarcará dos etapas, en la presente se analizarán los principios básicos de generación mediante máquinas rotativas, en otra oportunidad se estudiarán los circuitos osciladores capaces de producir corrientes alternas de alta frecuencia, como las utilizadas en la transmisión de ondas de radio y televisión.

Previo al estudio de un generador elemental de corriente alterna se tendrá presente:

- 1) Las pilas y baterías utilizadas como fuentes de alimentación en los circuitos estudiados hasta el presente, no están capacitadas para entregar potencias elevadas durante un tiempo prolongado.
- 2) Las máquinas rotativas que generan potencias muy elevadas, generalmente entregan corriente alterna por la relativa simplicidad de su construcción y economía en el transporte de la energía que producen a distancias considerables.
- 3) Las fuentes de corriente continua mantienen una polaridad constante, es decir, **continuamente** uno de sus bornes es positivo respecto al otro. Por el contrario, en los generadores de alterna, durante una fracción de tiempo un borne es positivo con respecto al otro, en la fracción de tiempo siguiente se invierte la polaridad, para retomar después a la primera condición y así sucesivamente.

GENERADOR ELEMENTAL DE CORRIENTE ALTERNA

Su funcionamiento se basa en la inducción electromagnética -todo conductor que corta o es cortado por líneas de fuerza de un campo magnético recibe una tensión inducida-. La magnitud de

la fuerza electromotriz inducida depende de:

- a) Flujo magnético del campo inductor.
- b) Longitud del conductor que corta el campo.
- c) Velocidad de desplazamiento del conductor.
- d) Sentido del desplazamiento del conductor dentro del campo.

Principio de funcionamiento del generador elemental

En la figura de la siguiente página, se representa un generador elemental que posee una sola espira montada sobre un eje, quien es accionado mediante un motor de explosión. Cada extremo de la espira está conectado a un anillo metálico, las escobillas son láminas metálicas que permanecen en contacto con los anillos por intermedio de carbones especiales.

Se supone que el motor de explosión impone a la espira una velocidad constante, su giro dentro del campo magnético determina corrientes inducidas que son registradas por un instrumento que lleva el cero en el centro de la escala.

Las porciones A y B de la espira, se llaman «lados activos» por ser ellos los que al cortar líneas de fuerza reciben tensión inducida.

Durante el giro de la espira, sus lados activos cortan a las líneas de fuerza en sentido contrario; en la figura de la siguiente página (suponiendo el giro en el sentido de las agujas del reloj), el lado A se acerca al lector, simultáneamente el lado B se aleja del mismo.

Las tensiones inducidas en los lados A y B tienen polaridad opuesta, por encontrarse en serie se suman, haciendo que para el instante considerado en la figura anteriormente dicha, el anillo cercano a la polea sea negativo ya que del mismo salen electrones que pasando por el instrumento se dirigen al anillo positivo.

A partir de determinado instante el lado A se desplazará en sentido descendente y el lado B con sentido ascendente, siendo ésta una situación inversa a la recién consideradas las polaridades en los anillos se invertirán y por el instrumento circulará corriente en sentido contrario al indicado en la figura ya mencionada. El proceso descripto permite afirmar que la corriente obtenida es alterna, ya que periódicamente cambia su sentido de circulación.

Características de la corriente alterna

Sabiendo que la corriente alterna invierte periódicamente su sentido de circulación, interesa conocer cómo varía su valor a través del tiempo. Para evitar complicaciones, en la figura 2 no se indican las líneas de fuerza del campo inductor, simplemente se representan los extremos de la espira vistos de frente, señalando mediante un punto (.) la

corriente que sale hacia la carga y con una cruz (x) el retorno de dicha corriente.

Para un giro completo (360°) dentro del campo inductor se indican simultáneamente los valores y polaridades de la tensión alterna, destacando además los grados de giro de la espira.

Posición 1 - Los lados A y B se desplazan paralelos a las líneas de fuerza, no las cortan, por ello la tensión inducida es nula.

Posición 2 - La espira está cumpliendo 45° de giro, ataca a las líneas del campo en forma oblicua, la tensión inducida no alcanza su máximo valor.

Posición 3 - Los lados de la espira, atacan perpendicularmente a las líneas de fuerza, por lo tanto, a los 90° de giro la tensión es máxima.

Posición 4 - Se cumplen 135° de giro, los lados de la espira tienden progresivamente a desplazarse paralelos a las líneas de fuerza, por ello la tensión inducida disminuye su valor.

Posición 5 - Se cumple medio giro (180°), la espira no corta líneas de fuerza, la tensión inducida es nula. Observar que los lados de la espira se encuentran en posición invertida respecto a la posición 1 (lado A a la derecha y lado B a la izquierda) y que durante el primer medio giro la corriente "entra" (x) por el lado A y "sale" (.) por el lado B.

Posición 6 - Los lados de la espira inician el corte de las

líneas de fuerza desplazándose en sentido opuesto al del primer medio giro, por ello se invierte la polaridad, resultando ser "saliente" la corriente en el lado A y "entrante" en el lado B.

Posición 7 - Los lados de la espira atacan perpendicularmente al campo, la corriente toma máximo valor.

Posición 8 - La espira corta oblicuamente a las líneas del campo, la tensión inducida disminuye.

Posición 9 - Los lados A y B se desplazan paralelos a las líneas del campo, la tensión inducida desaparece.

En resumen: la corriente alterna toma su máximo valor al cumplirse un cuarto de giro (90°) y tres cuartos de giro (270°). Los valores nulos corresponden a medio giro (180°) y un giro (360°).

En la parte inferior de la figura, se representaron los valores correspondientes a cada posición de la espira, vale observar que a partir de los 180° de giro, dichos valores se indican por debajo del eje del tiempo, para señalar que se ha invertido la polaridad de la tensión inducida.

LA ONDA SENOIDAL

En la parte inferior de la figura anterior, se representó gráficamente una onda de tensión alterna donde se destacan algunos de sus valores. En caso de representarse una

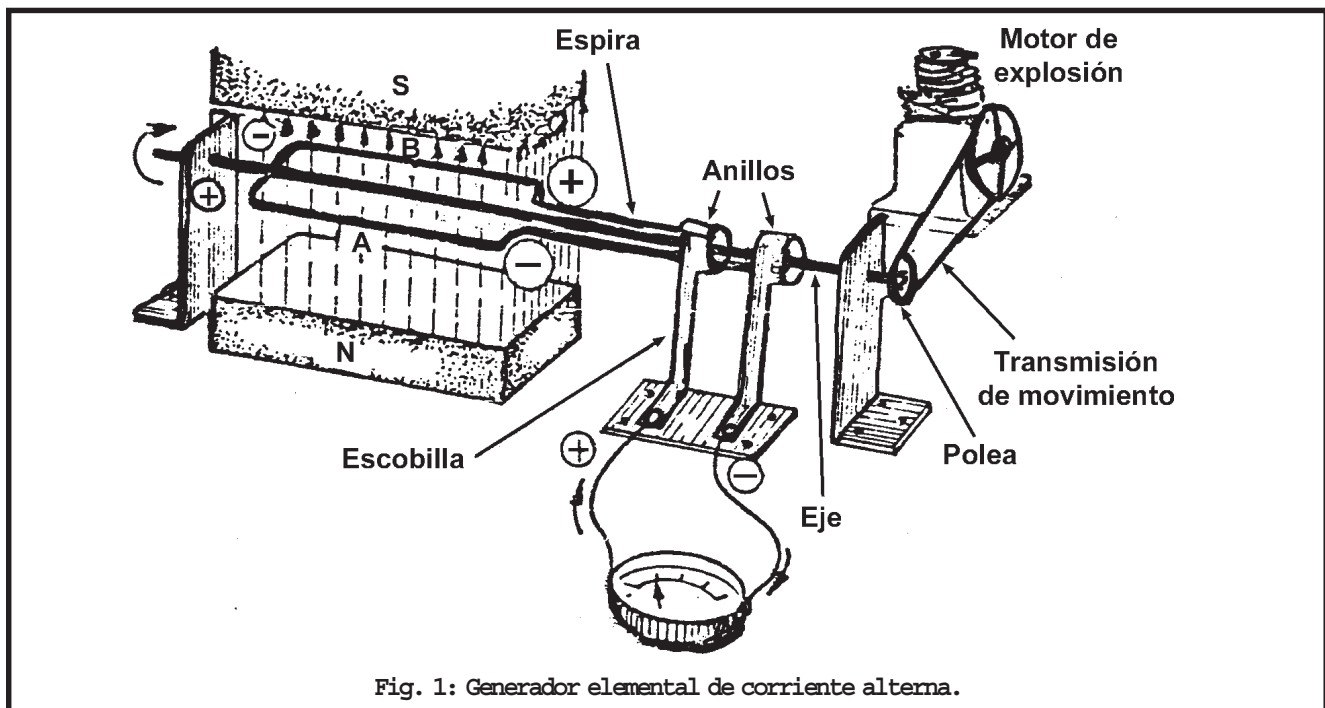
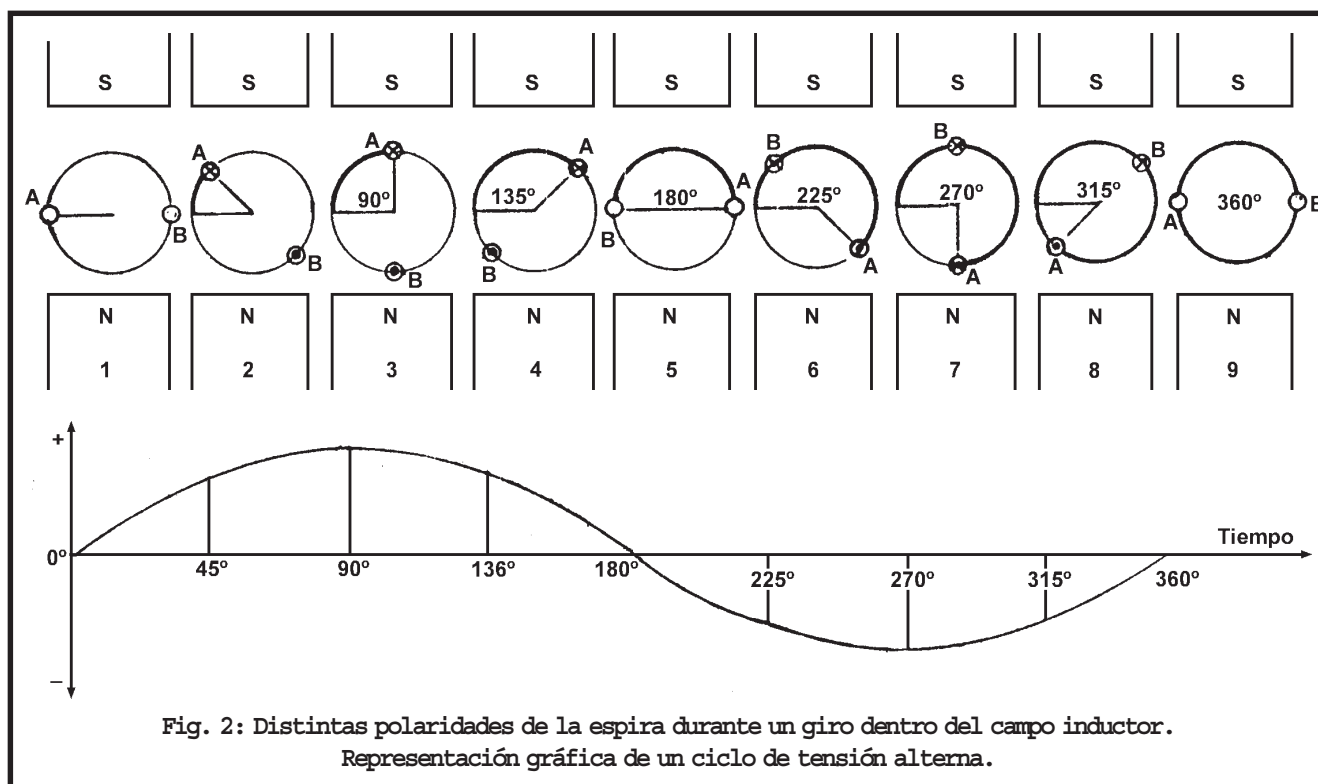


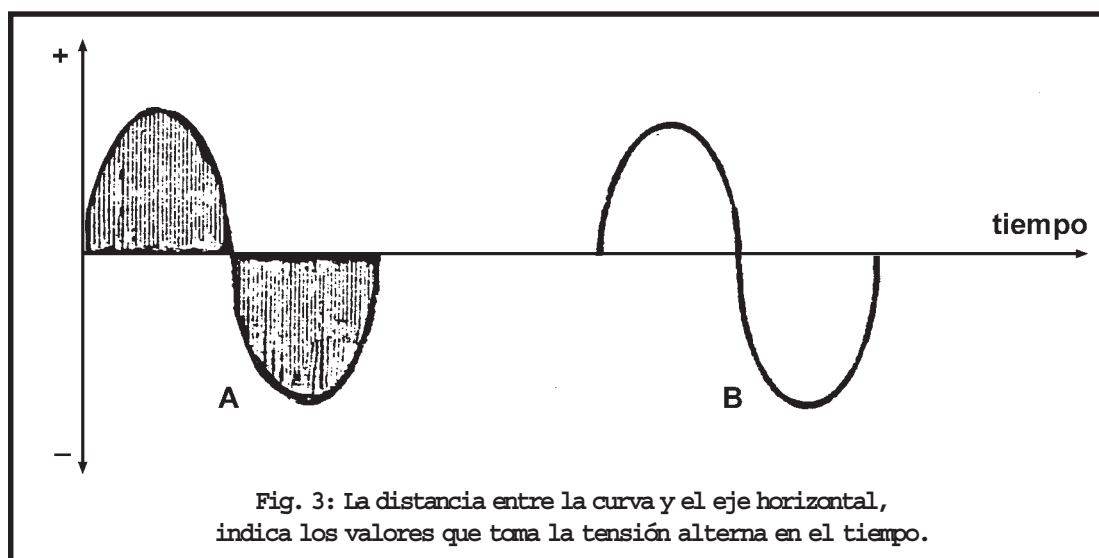
Fig. 1: Generador elemental de corriente alterna.



gran cantidad de valores el gráfico se asemejaría al caso A de la figura 3, los segmentos que señalan el valor de la tensión en cada instante quedarían tan próximos que se formarían una onda "compacta". Por ese motivo se representa la onda senoidal como en el caso B de la figura inferior, donde cada punto de la misma representa el valor de tensión o corriente en el tiempo.

Terminología utilizada en las corrientes alternas

En el análisis de tensiones o corrientes alternas se usan términos que ayudan a la interpretación de los fenómenos que se desarrollan en los circuitos, veamos los más comu-



nes.

Grados eléctricos- Establecen una relación entre el movimiento mecánico de la espira y la tensión generada, tal como se indicó en la figura 2, a los 90° y 270° de giro la tensión producida es máxima, resultando nula a los 180° y 360° . En resumen, para cada uno de los 360° de giro de la espira, corresponde un determinado valor de tensión.

Ciclo- Cuando la espira del generador cumple un giro, se dice que ha completado un ciclo. Se tendrá en cuenta que un ciclo se compone de dos partes, una llamada semiciclo positivo y la otra semiciclo negativo, representándose el primero sobre el eje tiempo y el segundo por debajo del mismo (figura 4).

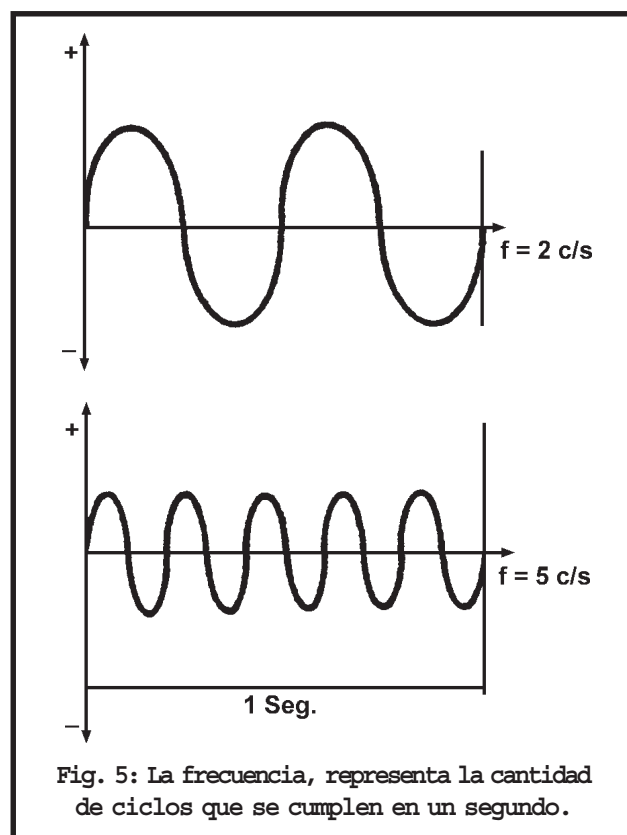
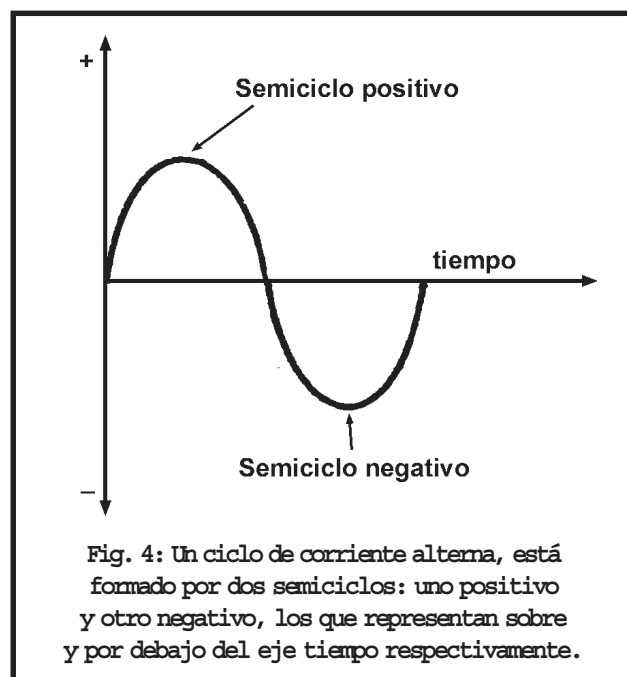
Para definir un semiciclo como positivo o negativo es necesario un punto de referencia; si éste es el lado B de la espira de la figura 2, durante los primeros 180° de giro, el lado A resultará ser positivo (respecto a B) y en los 180° restantes para completar el giro, el lado A es negativo respecto a B.

Frecuencia- Se denomina frecuencia de la corriente alterna a la cantidad de ciclos que se generan en el tiempo de un segundo. La figura 5 representa una frecuencia de dos ciclos y otra de cinco ciclos, obsérvese que el eje tiempo abarca un segundo en ambos casos.

La frecuencia se representa con la letra **f**, siendo costumbre agregar la expresión c/s a continuación del valor numérico, por ejemplo, $f = 2 \text{ c/s}$. Técnicamente la unidad no se denomina 1 c/s, sino 1 Hertz (1 Hz) ambas formas se encuentran en la literatura técnica.

Espectro de frecuencias- Sin hacer referencia al tipo de generador utilizado, las frecuencias pueden comprender desde unos pocos ciclos por segundo hasta muchos millones de c/s.

Las audiodfrecuencias, comprendidas entre 20 y 20.000 c/s, así llamadas porque cubren la gama de audición del ser humano. Por ejemplo, si una CA de 1.000 c/s circula por la bobina móvil de un parlante, el cono del mismo vibrará produciendo un tono audible de 1.000 c/s.



Las radiofrecuencias, incluyendo las usadas en radiodifusión, estaciones de aficionados, equipos de barcos y aviones, televisión, radar, etc., son del orden de millares y millones de ciclos por segundo.

Para simplificar su manejo numérico se utilizan múltiplos; ellos son:

- El Kilociclo (K c/s), que equivale a 1.000 c/s.
- El Megaciclo (M c/s), que equivale a 1.000.000 c/s.

Período: Representa el tiempo necesario para que se cumpla un ciclo, se conoce aplicando la fórmula $t = 1/f$. En el caso de la frecuencia de línea la duración de un ciclo será:

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ segundos}$$

Valor instantáneo- Es sabido que en cada posición que va tomando la espira durante su giro, se reproduce un determinado valor de tensión o corriente. Dichos valores, que corresponden a cualquier instante considerado del ciclo, se denominan valores instantáneos,

Valor máximo- Durante un ciclo se producen dos valores máximos, uno positivo y el otro negativo, corresponden respectivamente a los 90° y 270° de giro de la espira dentro del campo.

Valor eficaz- Es aquel valor de corriente alterna capaz de producir el mismo efecto térmico que un valor conocido de corriente continua. Cuando se dice que la tensión de líneas es de 220 Volt. se quiere significar que dicha tensión (que cambia de polaridad y valor permanentemente) puede producir el mismo efecto térmico, por ej. calentar un soldador, que 220 volt de continua.

Relación entre el valor máximo y el eficaz- Para facilitar el ejemplo tomaremos como referencia la tensión de línea. Si durante ciertos momentos del ciclo la tensión es muy baja, es evidente que los valores máximos deben sobrepasar los 200 volt, para "promediar" el efecto térmico ya mencionado. Para calcular el valor máximo de una tensión (o corriente) alterna se aplica la siguiente fórmula:

$$V_{\text{máx.}} = V_{\text{eficaz}} \times 1,41$$

para la tensión de línea, el voltaje máximo será:

$$V_{\text{máx}} = 220 \times 1,41 = 310 \text{ v. aproximadamente.}$$

Vale tener presente que los voltímetros comunes miden la tensión eficaz, por esa razón la fórmula anterior tiene gran importancia práctica cuando se desea conocer el valor máximo (también llamado de cresta o pico)

LA BOBINA EN CORRIENTE ALTERNA

Es sabido que la Inductancia de una bobina impone una demora a la corriente para que ésta tome el valor indicado por la Ley de Ohm.

Simplificando este comportamiento eléctrico podemos decir que:

- 1) Al aumentar la tensión aplicada a una bobina, la corriente es obligada a demorar su crecimiento.
- 2) Al disminuir la tensión aplicada a una bobina, la corriente es obligada a demorar su decrecimiento.

En resumen: las bobinas se oponen tanto a un aumento de corriente como a una disminución de la misma.

En realidad, todos los elementos de un circuito (incluyendo el alambre de conexión) tienen cierta inductancia, pero en la práctica se conocen como inductores a aquellos elementos específicamente destinados a tal fin.

REACTANCIA INDUCTIVA (XL)

Se analizará el comportamiento de circuitos inductivos para interpretar que representa la reactancia inductiva y cuáles son sus características fundamentales.

La figura 6 muestra una misma bobina conectada a dos generadores de CA que entregan distinta frecuencia. Como toda bobina se opone a los cambios de corriente, la oposición será mayor en el circuito que trabaja con 50 c/s que en el que actúan 25 c/s.

Conclusión: a medida que aumenta la frecuencia, la oposición que ofrece una bobina se hace mayor.

La segunda figura, representa un generador de 50 c/s de tensión alterna al que se conectaron sucesiva

mente una bobina de baja inductancia y otra de alta inductancia. Si bien la corriente tiende a variar igual cantidad de veces en ambos casos (la frecuencia es la misma), la oposición crece en el circuito de mayor inductancia.

Conclusión: para una determinada frecuencia, una bobina ofrece mayor oposición cuando mayor es su inductancia.

Concretando: la Reactancia Inductiva (X_L) es la oposición que una bobina ofrece a la corriente alterna. Dicha oposición se considera en Ohm y aumenta cuando crece la frecuencia o la inductancia se hace mayor.

La reactancia inductiva queda expresada mediante una fórmula que condensa los conceptos recién considerados, ella es, $X_L = 2\pi$ ($\pi = 3,1416 \times F \times L = \text{ohm}$).

Se trata de una simple multiplicación interviene como factor constante 2π que equivale a 6,28, puede notarse que si los valores de F y L son grandes el resultado será mayor, lo que coincide con lo visto, ya que a mayor frecuencia y/o mayor inductancia la reactancia inductiva se

hace mayor.

TRANSFORMADORES

Los transformadores son máquinas eléctricas que permiten la transferencia de potencia por intermedio de campos magnéticos. Estos dispositivos no cambian la potencia que les entrega la fuente, simplemente la transforman con las magnitudes de tensión y corriente necesarias para una aplicación determinada.

Principios de funcionamiento del transformador

Un transformador está formado básicamente por dos arrollamientos acoplados magnéticamente tal como lo indica el esquema de la figura 8. En este caso el acoplamiento es facilitado por la alta permeabilidad magnética de un núcleo de hierro, vale aclarar que el

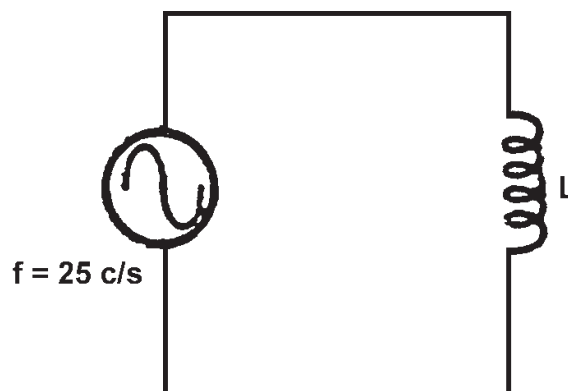
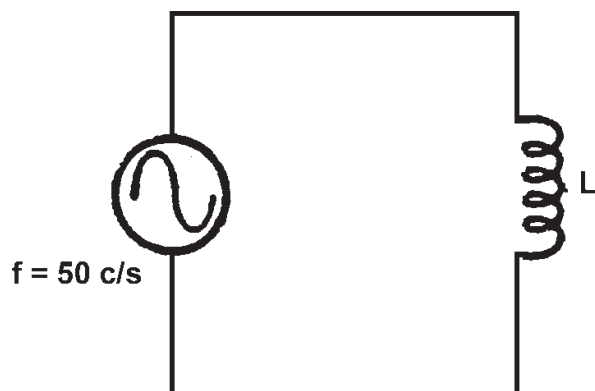


Fig. 6: A medida que aumenta la frecuencia, crece la oposición a la bobina.

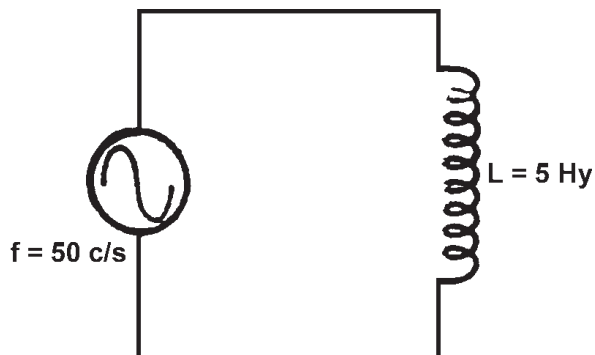
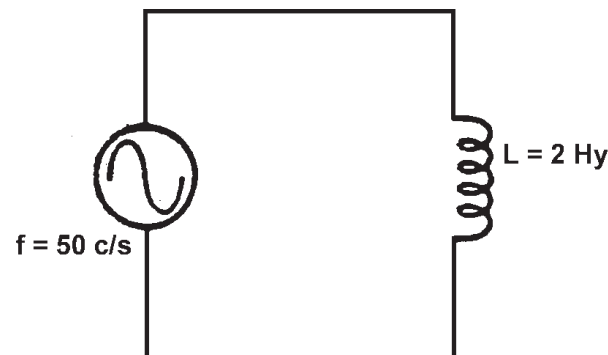


Fig. 7: A medida que aumenta la inductancia, crece la oposición a la bobina.

bobinado que recibe energía desde la fuente se llama primario y el bobinado que entrega energía al elemento de consumo se denomina secundario.

Si el primario se conecta a una fuente de corriente alterna, aparece un campo magnético que varía su valor y polaridad en el tiempo. Dicho campo magnético cierra su circuito por el núcleo del transformador, en consecuencia, el bobinado secundario abarca un flujo variable que induce en dicho arrollamiento una tensión alterna.

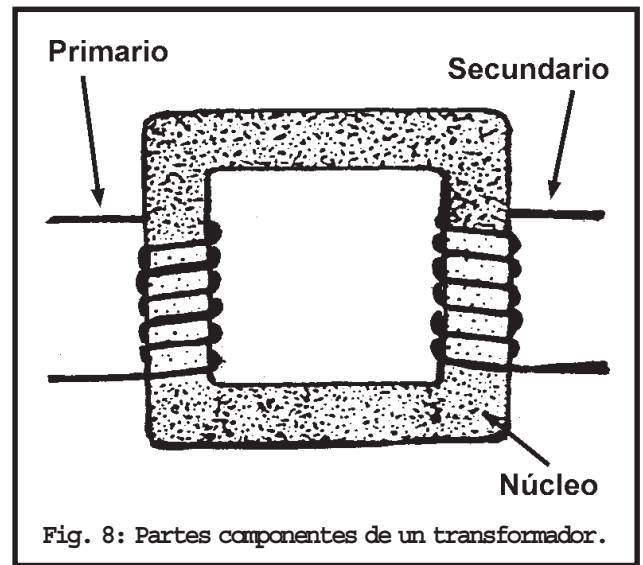
Si el arrollamiento secundario se conecta a un elemento de consumo (carga), circulará una corriente que dependerá de la tensión inducida en el secundario y del valor de la resistencia que actúa como carga.

Transformador elevador de tensión

En estos transformadores el número de espiras del bobinado secundario es mayor que la cantidad de espiras del arrollamiento primario.

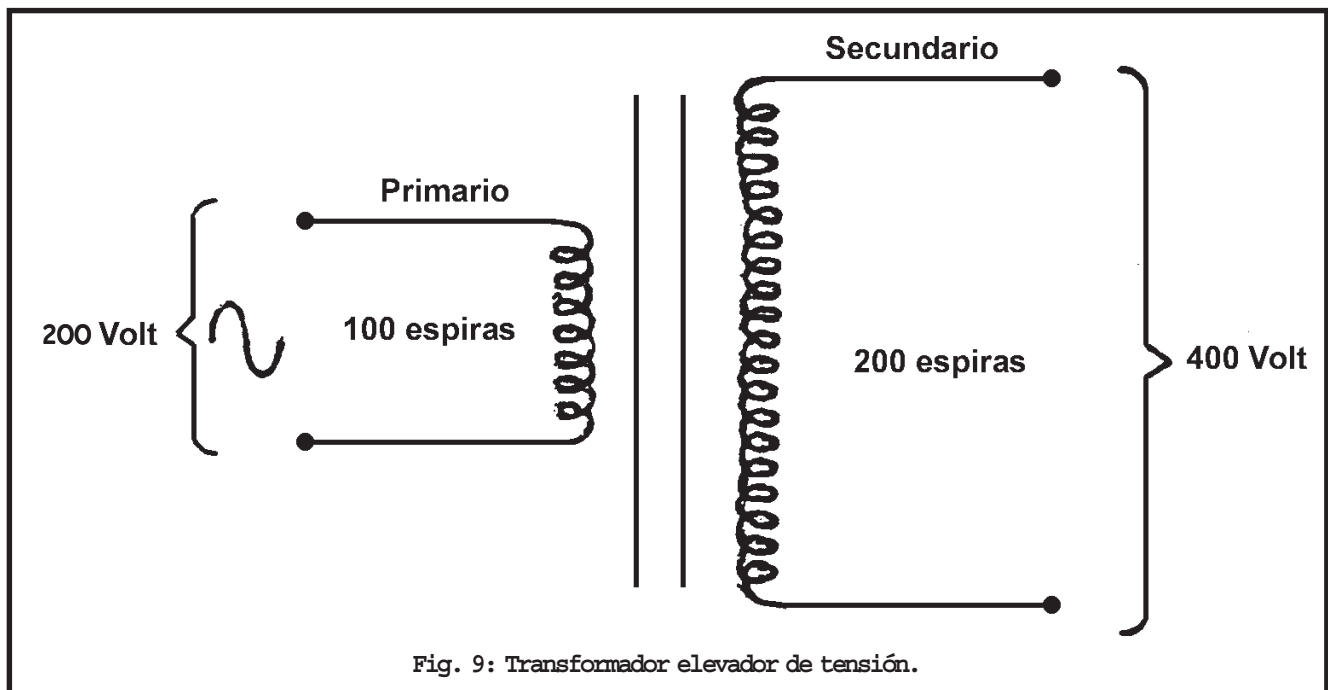
En la figura inferior, se muestra el esquema de un transformador que posee 100 espiras en el primario y 200 espiras en el secundario.

Si el bobinado primario recibe una tensión de 200 volt, es evidente que la misma se distribuye a razón de dos volt



por espira.

Si todo el campo magnético del primario influye sobre el secundario, teniendo éste 200 espiras a razón de dos volt por espira, la tensión secundaria mayor que la primaria se trata de un elevador de tensión.



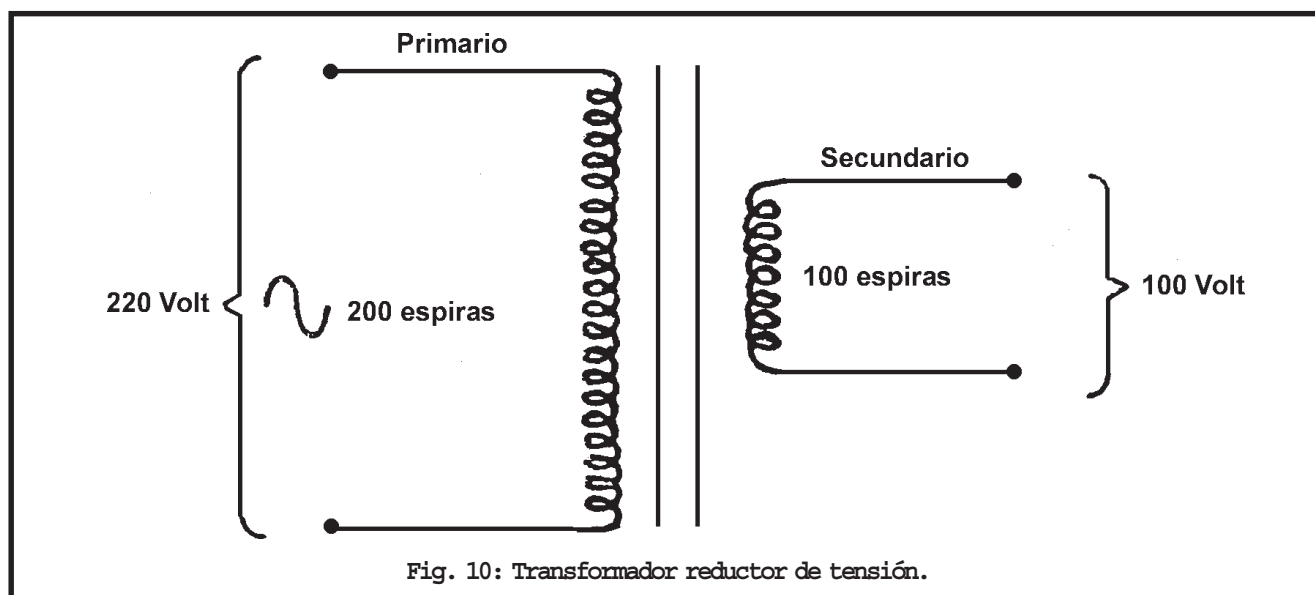
Transformador reductor de tensión

En estos transformadores el número de espiras del bobinado secundario es menor que la cantidad de espiras del arrollamiento primario. En la figura 10 se representa un transformador que posee 200 espiras en el arrollamiento primario y 100 espiras en el secundario; si el bobinado

primario tiene aplicada una tensión de 200 volt, la distribución de tensión resulta ser de un volt por espira.

Si todo el campo del bobinado primario influye sobre el arrollamiento secundario, la tensión en este último resulta ser $1 \times 100 = 100$ volt.

Si la tensión secundaria es menor que la primaria, se trata de un transformador reductor de tensión.

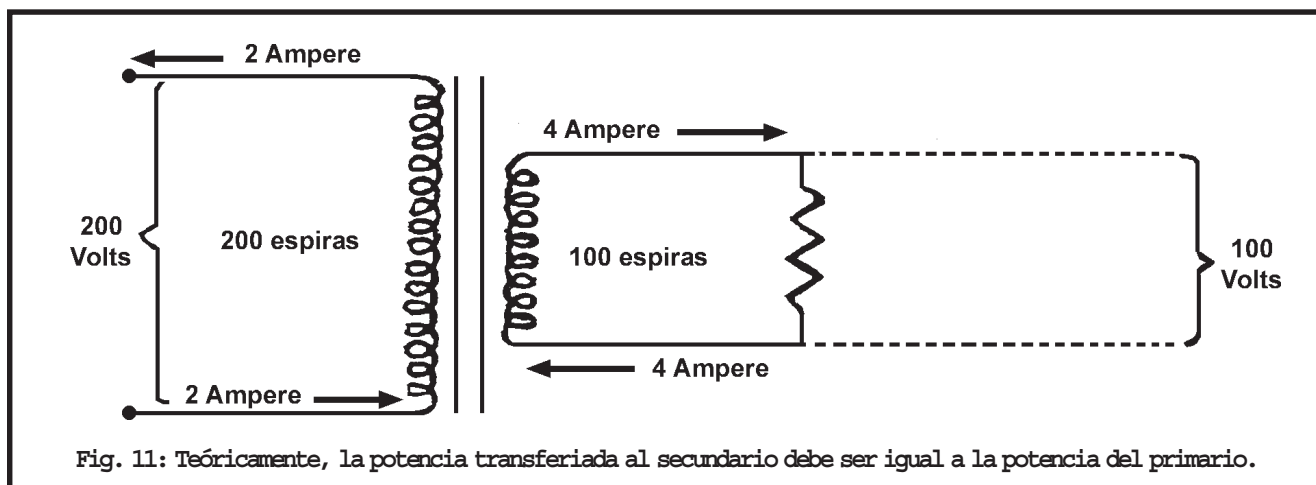


LA POTENCIA DE LOS TRANSFORMADORES

Se considera el caso ilustrado en la figura 11. Un transformador reductor de tensión tiene doble cantidad de espiras en el primario respecto al secundario, por ese motivo,

si al arrollamiento primario se aplican 200 volt, en el bobinado secundario se inducen 100 volt.

Al conectar una resistencia de 25 ohm al secundario, la corriente circulante en dicho circuito dependerá de la Ley de Ohm, es decir:



$$\text{Intensidad Secundaria} = \frac{\text{Tensión}}{\text{Resistencia}} = \frac{100}{25} = 4 \text{ ampere}$$

Si la tensión del circuito secundario es 100 volt y la corriente circulante vale 4 ampere, es evidente que en dicho circuito se disipa una potencia de:

$$\begin{aligned} \text{Potencia secundaria} &= \text{tensión} \times \text{intensidad} \\ \text{Potencia secundaria} &= 100 \times 4 = 400 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Los 400 Watt que se disipan en el secundario son provistos por el generador que alimenta al primario, ya que la energía que se desarrolla sobre la resistencia de carga no puede salir de la nada.

Teóricamente se puede afirmar que en los transformadores la potencia del primario y del secundario son iguales, por ese motivo, si en el primario existen 200 volt, la corriente primaria será 2 ampere, ya que la potencia es $200 \text{ volt} \times 2 \text{ ampere} = 400 \text{ Watt}$.

Lo anterior permite afirmar en un transformador reductor de tensión, en el circuito secundario, en la misma proporción que disminuye la tensión aumenta la corriente.

Observe que con respecto al primario la tensión secundaria se redujo a la mitad, simultáneamente la corriente secundaria aumentó el doble.

En los transformadores elevadores de tensión ocurre exactamente lo mismo, es decir, para que la potencia en el circuito primario y secundario se mantengan iguales, a todo aumento de tensión en el secundario corresponde una disminución proporcional de la corriente.

Rendimiento de los transformadores

La igualdad de la potencia entre el circuito primario y secundario de los transformadores es una condición teórica ya que existen pérdidas que pasamos a considerar:

a) Pérdidas por efecto resistivo del alambre. La resistencia óhmica de los arrollamientos producen una cierta disipación de calor, dicha energía no puede utilizarse en la carga, razón por la cual representa una pérdida.

b) Pérdidas por histéresis. El núcleo del transformador se magnetiza alternativamente, se comprueba que ofrece una cierta oposición a cambiar su sentido de magnetización, es decir, antes de producirse un cambio de polarización se debe vencer el magnetismo remanente del material, lo que supone un gasto de energía que no puede emplearse sobre la carga.

c) Pérdidas por corrientes de Foucault. Son producidas por la inducción de corrientes en el núcleo de hierro del transformador, ya que dichas corrientes no pueden utilizarse en el circuito secundario porque el núcleo está aislado de los arrollamientos, constituyen una pérdida.

Las pérdidas consideradas hacen que en un transformador la potencia disponible en el circuito secundario resulte ser siempre inferior a la potencia presente en el primario, por ello, se entiende por rendimiento del transformador a la relación entre dichas potencias. Por ejemplo, se dice que un transformador tiene un rendimiento del 98% cuando se aprovechan 98 watt en el secundario por cada 100 watt presentes en el circuito primario.

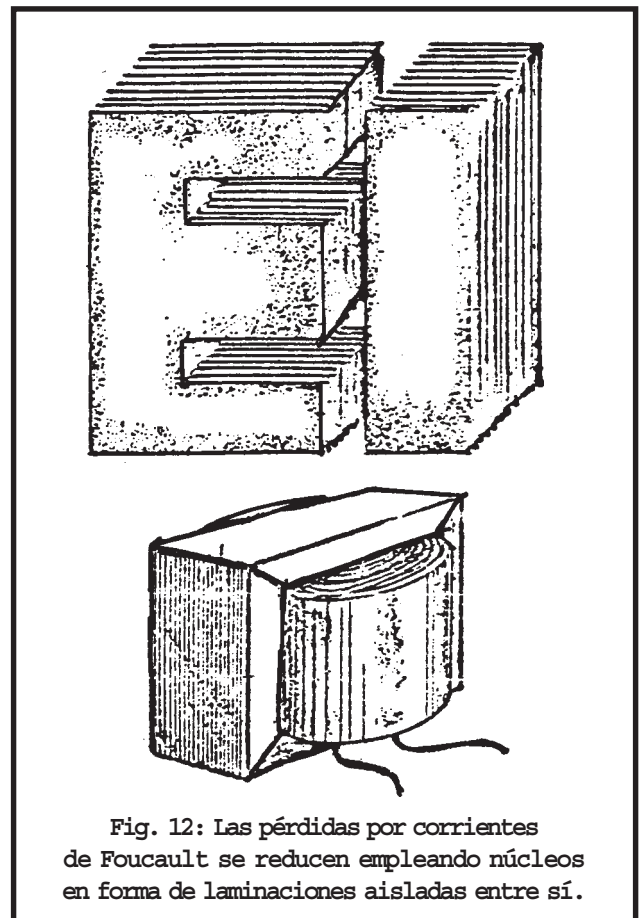


Fig. 12: Las pérdidas por corrientes de Foucault se reducen empleando núcleos en forma de laminaciones aisladas entre sí.

Polaridad de la tensión del secundario de un transformador

Dado que la corriente secundaria es inducida, de acuerdo a la Ley de Lenz, producirá, un campo magnético en oposición a la causa que la genera. Para que dicho campo se encuentre en oposición con el campo primario, la corriente en el secundario debe circular necesariamente en un sentido que le permita cumplir esa condición y ello depende del sentido de arrollamiento del bobinado. Si bien el análisis teórico de lo expresado resultaría ser complejo, a los fines prácticos consideramos dos posibilidades:

1) Polaridades fuera de fase. El sentido de los arrollamientos se observa en la siguiente figura, la tensión inducida en el secundario es de polaridad opuesta a la tensión del primario. En algunos circuitos el símbolo correspondiente se representa como lo indica la figura ya mencionada, o bien sin los puntos que indican terminales de igual

polaridad. Se tendrá en cuenta que en los transformadores de esta clase se dice que *defasan 180°* porque la tensión secundaria tiene polaridad opuesta a la primera.

2) Polaridades en fase. Es el caso que muestra la figura inferior, obsérvese que se ha invertido el sentido de arrollamiento del secundario. La tensión inducida en el secundario tiene igual polaridad que la tensión en el primario. El símbolo de estos transformadores suele indicarse con puntos a un mismo nivel o bien con el secundario conservando la misma dirección que el arrollamiento primario.

CAPACITORES

Son elementos que cumplen ilimitado número de funciones en los circuitos electrónicos, por ejemplo, colaboran en el logro de una corriente continua en las fuentes de alimentación, transfieren señales eléctricas de una a otra etapa de un equipo, forman parte de los circuitos de sintonía en los receptores, etc.

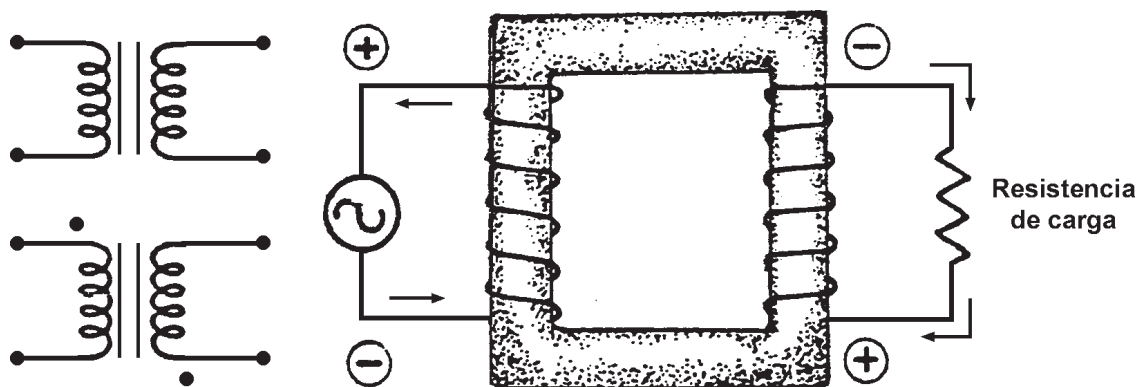


Fig. 13: Polaridad fuera de fase.

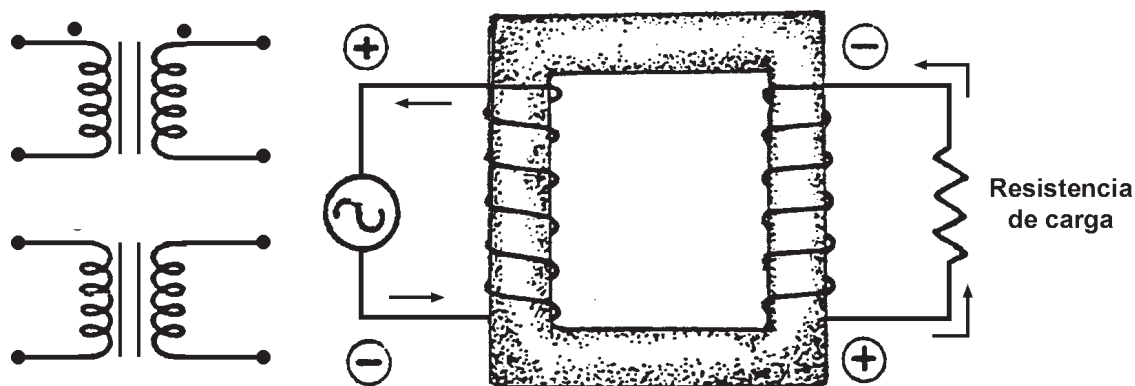


Fig. 14: Polaridad en fase.

Consecutivamente un capacitor elemental está formado, tal como lo indica la figura superior, por dos placas metálicas enfrentadas, aisladas entre sí por un medio llamado dieléctrico. La propiedad fundamental de los capacitores consiste en poder almacenar cargas eléctrica en sus armaduras.

El capacitor en corriente continua

Se analizará a continuación el comportamiento de un capacitor que por intermedio de una resistencia en serie es conectado a una fuente de tensión continua.

Chapas metálicas (Armaduras)

En la figura inferior, se observa que el capacitor no recibe alimentación alguna ya que la llave bipolar se encuentra abierta. Es muy importante tener presente que las armaduras del capacitor se encuentran en estado eléctrico neutro ya que todos los átomos que la forman tienen igual cantidad de cargas positivas que negativas.

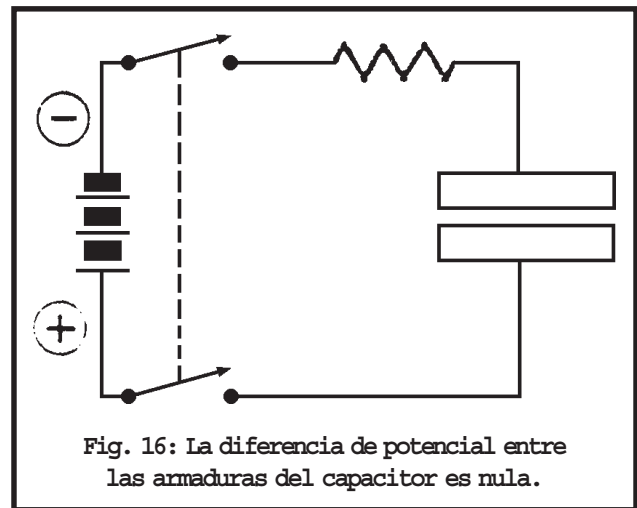
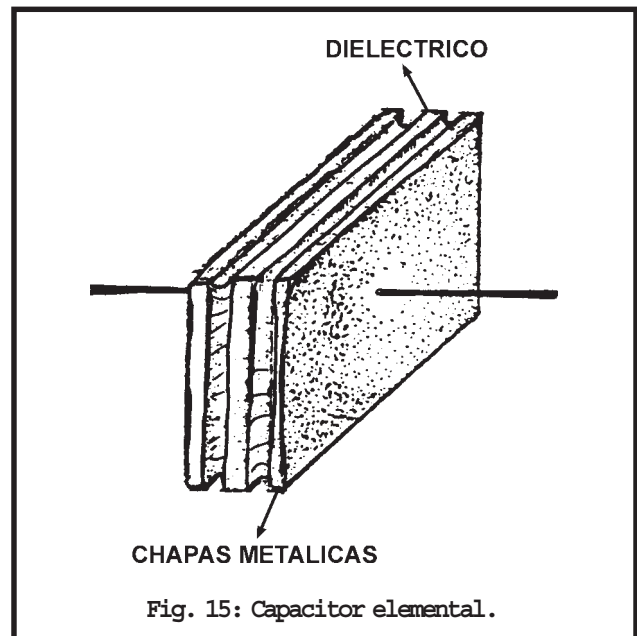
En la figura de la siguiente página, se muestra una secuencia de la carga del capacitor, se la analiza en tres etapas :

1) Apenas cerrada la llave, considerando un brevísimo intervalo de tiempo, la situación es la siguiente: el capacitor se encuentra en estado neutro porque no ha transcurrido tiempo suficiente como para que la fuente le entregue corriente ya que en serie se encuentra la resistencia. En consecuencia, la intensidad de corriente es máxima y queda determinada por la tensión de la fuente y el valor de la resistencia.

2) Ha transcurrido más tiempo, la armadura superior está recibiendo electrones (a través de R) desde el borne negativo de la batería, por ello dicha armadura comienza a hacerse negativa. Simultáneamente el borne positivo de la fuente, toma electrones a los átomos de la armadura inferior, por lo tanto dicha armadura se hace positiva.

Si bien no ha transcurrido tiempo suficiente como para que la diferencia de potencial entre armaduras iguale a la tensión de la fuente, es evidente que dicha diferencia de potencial se encuentra en oposición a la batería, por lo tanto la corriente de carga disminuye su valor.

Se tendrá presente que la misma cantidad de electrones que ingresa a la armadura superior es la que escapa desde la armadura inferior hacia la fuente, aunque a través del capacitor no ha circulado corriente, ya que entre pla-



cas existe un material aislante.

3) La diferencia de potencial existe entre las armaduras del capacitor aumentó hasta igualar a la tensión de la fuente, ante esta situación deja de circular corriente y se considera que el capacitor está cargado.

Descarga del capacitor

Si se desconecta la fuente de alimentación y se unen los terminales del circuito en la forma indicada en la figura 18, el capacitor se descarga.

En efecto, en el momento inicial existe un exceso de electrones en la armadura superior y un faltante en la inferior, por ese motivo se establece una corriente de descarga en el sentido indicado.

A medida que se van neutralizando las cargas eléctricas, la diferencia de potencial entre las armaduras disminuye y la corriente de descarga se hace menor, hasta que finalmente las armaduras se hacen eléctricamente neutras y el capacitor se considera descargado.

Unidad de capacitancia

La capacidad eléctrica es la aptitud de un capacitor para almacenar carga, esa propiedad depende de detalles constructivos de los capacitores, por ejemplo, cuanto mayor es la superficie de enfrentamiento de las armaduras y más próximas se encuentran, la capacidad aumenta.

También influye el medio aislante o dieléctrico, por ejemplo, si a un capacitor con dieléctrico de aire se agrega mica como aislante, la capacidad aumenta aproximadamente 7 veces (se dice que la constante dieléctrica de la mica vale 7).

Existiendo la posibilidad de distintos valores de capacidad, es imprescindible una unidad para considerar dicho fenómeno eléctrico, ella es el Faradio.

Un faradio representa la condición de un capacitor, al que se aplica una tensión del volt. y almacena una carga de un coulomb.

En la práctica el faradio resulta ser una unidad excesivamente grande. Por ello se usan submúltiplos:

- microfaradio (mF) = 1 millonésimo de Faradio
- picofaradio (mmF) o (pF) = 1 millonésimo de microfaradio
- nanofaradio (nF) = milésimo de microfaradio

Aislación

El dieléctrico que separa las placas o armaduras del capacitor, cualquiera sea su tipo, no es perfecto. Por ese motivo, el voltaje que puede soportar dicho aislante sin perforarse fija el límite máximo de tensión que puede aplicarse al capacitor sin deteriorarse. Próximamente ampliaremos detalles prácticos al respecto.

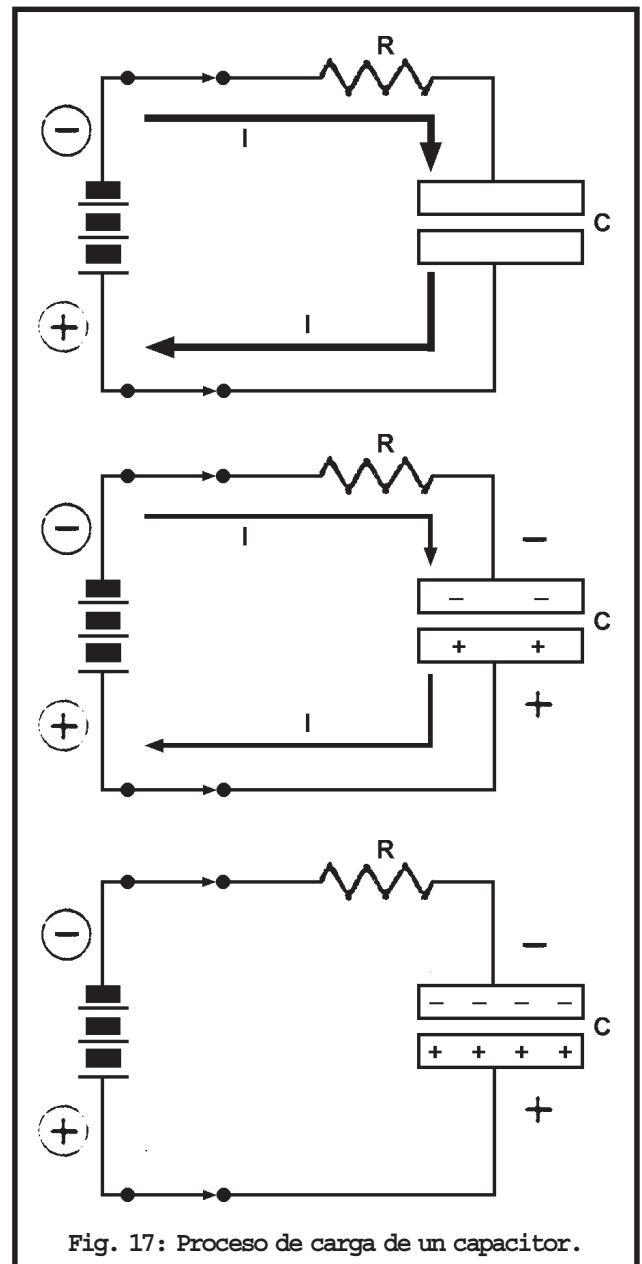


Fig. 17: Proceso de carga de un capacitor.

Constante de tiempo

Es importante conocer como varía la tensión en el capacitor y la corriente en un circuito resistivo capacitivo (RC) serie, durante el proceso de carga y descarga.

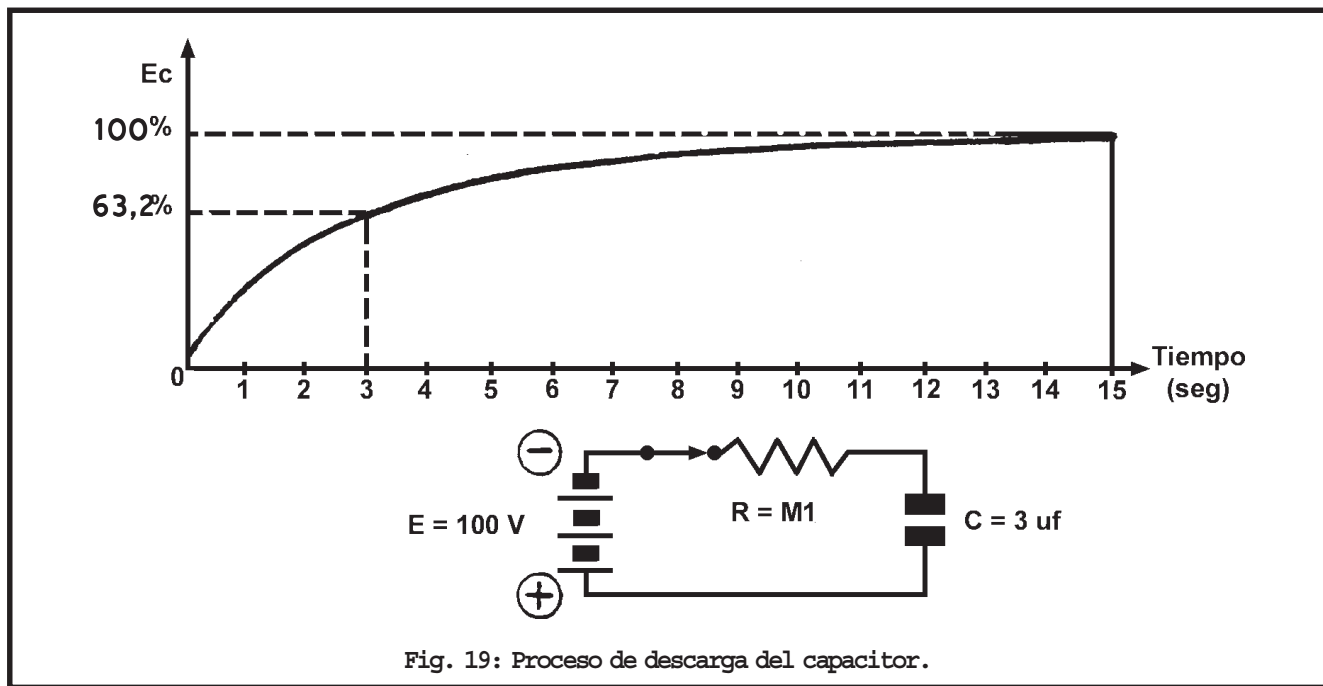
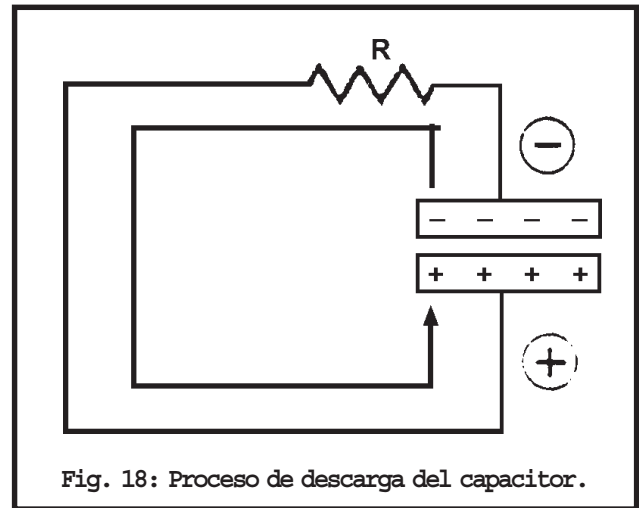
En la figura inferior, se representa un circuito RC serie cuyos valores son respectivamente 1 Megohm y 3 mF, siendo la tensión de la fuente 100 volts. Es sabido que al cerrar la llave interruptora la corriente circulante se ve limitada únicamente por la resistencia; a partir de esa condición el capacitor comienza a cargarse y la tensión que aparece en sus armaduras limita progresivamente la circulación de la corriente.

Cuando la tensión del capacitor iguala a la tensión de la fuente, la corriente deja de circular considerándose que ha concluido la carga.

Es evidente que el tiempo necesario para que se cumpla la carga del capacitor depende de dos factores:

La resistencia- a mayor resistencia menor será la corriente de carga lo que impone una demora en el proceso.

La capacidad- a mayor capacidad se necesita más carga



para igualar la tensión de la fuente, el tiempo necesario para lograr esa condición debe ser mayor.

En resumen: el tiempo de carga del capacitor depende en forma directamente proporcional de la resistencia en serie y del valor de capacidad.

La experiencia demuestra que al multiplicar la resistencia por la capacidad se obtiene el tiempo (en segundos) necesario para que el capacitor alcance entre sus placas una diferencia de potencial equivalente al 63,2% de la tensión de la fuente.

Para los valores del circuito de la figura 4, la constante de tiempo (Kt) será:

$$Kt = R \times C$$

$$Kt = 1 \times 3 = 3 \text{ segundos}$$

Para simplificar el cálculo se considera la resistencia en Megohm y la capacidad en Microfaradios.

En el gráfico correspondiente se observa en que forma crece la tensión en las armaduras del capacitor;

puede notarse que al cabo de 3 segundos de iniciada la carga posee aproximadamente el 63% de la tensión total, que en este caso es 63 volt. porque se eligió una fuente de 100 volt.

La carga total del capacitor exige un tiempo cinco veces mayor que la constante de tiempo. Para nuestro ejemplo será: $5 \times 3 = 15$ segundos. En el gráfico se observa que al cabo de 15 segundos la tensión del capacitor alcanza la tensión de la fuente.

La descarga del capacitor obedece al mismo régimen explicado para la carga, es decir, para los valores considerados de R y C al cabo de tres segundos el capacitor habrá perdido el 63% de su tensión y se encontrará descargado transcurridos 15 segundos de la iniciación del proceso.

ser:

$$C_{\text{total}} = C_1 + C_2$$

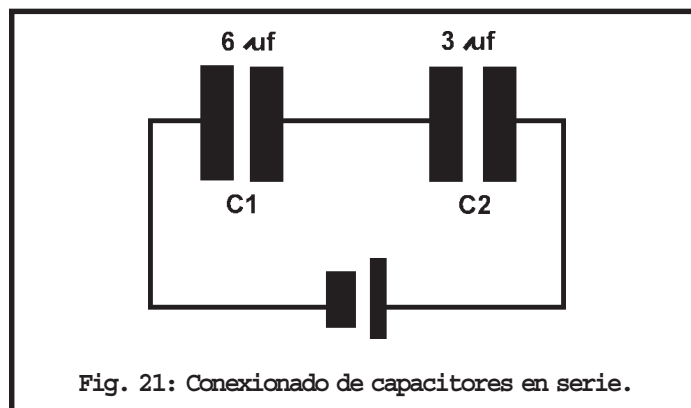
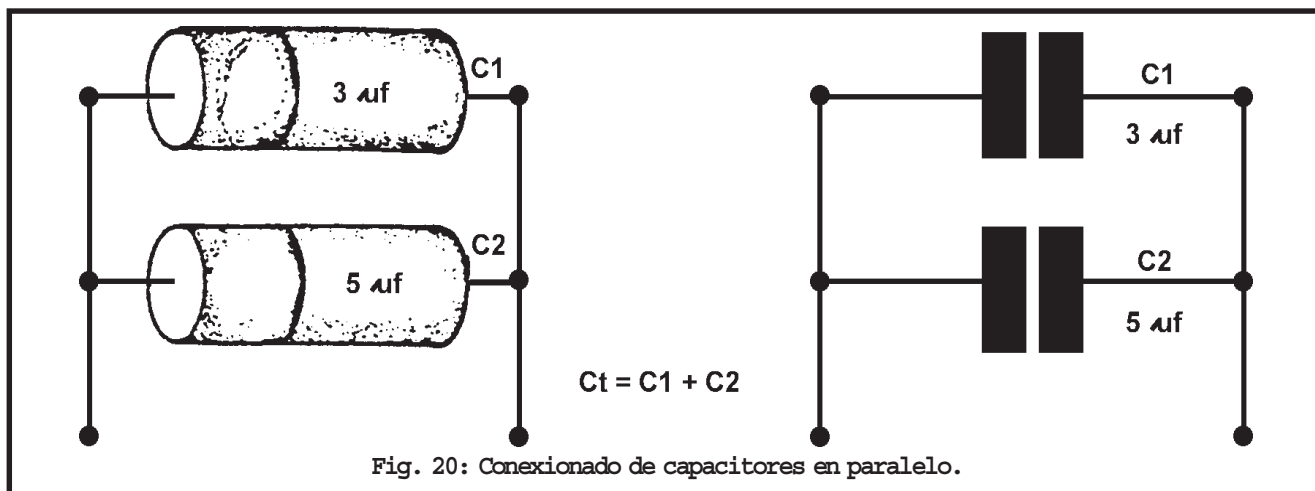
$$C_t = 3 + 5 = 8 \text{ mF}$$

La siguiente figura, se representa dos capacitores conectados en serie, en esta caso la capacidad total resultará ser menor que la menor de las capacidades del circuito. Para el cálculo de la capacidad total se procede a multiplicar los valores dividiendo luego dicho resultado por la suma de las capacidades. Para nuestro ejemplo:

$$C_{\text{total}} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{6 \times 3}{6 + 3} = \frac{18}{9} = 2 \mu\text{F}$$

Asociación de capacitores

Se los puede disponer en paralelo y en serie. En la figura, se muestra el conexionado de dos capacitores en paralelo de 3 y 5 μF respectivamente; la capacidad resultante equivale a la suma de los parciales, en este caso resulta



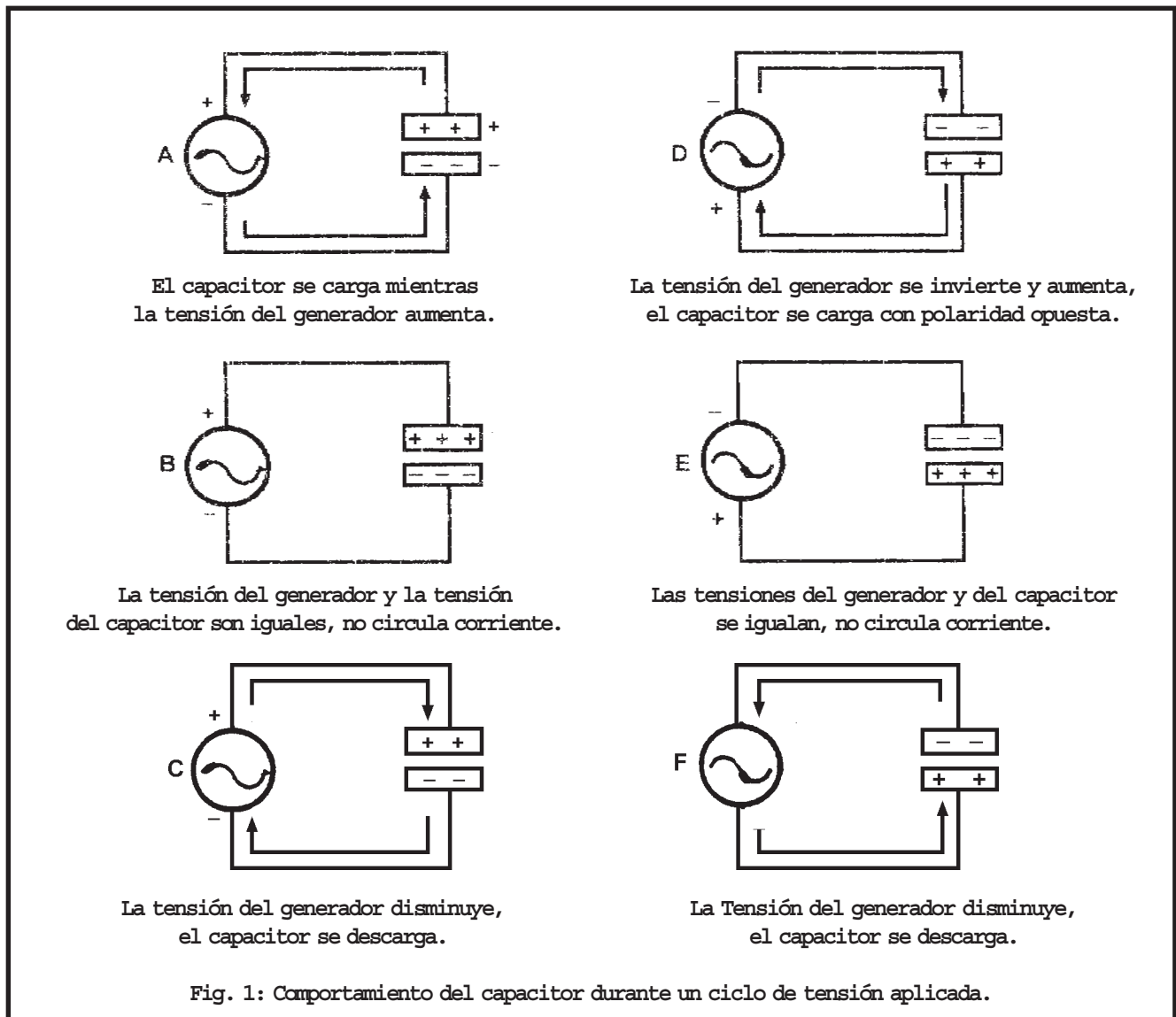
EL CAPACITOR EN CORRIENTE ALTERNA

En los circuitos electrónicos una de las funciones más comunes de los capacitores es la de transferir señales entre distintas etapas. Entendiendo como señal a toda variación eléctrica que contiene información (palabra, música, etc.) estudiaremos el comportamiento de los capacitores cuando están sometidos a tensiones alternas, ya que éstas componen buena parte de las señales utilizadas en nuestra especialidad.

En la figura 1 se muestra una secuencia del comporta-

miento de un capacitor ante un ciclo de señal aplicada, para su interpretación bastará tener presente que en corriente alterna un capacitor se carga cuando la tensión del generador es mayor que la ddp existente entre las armaduras. El capacitor se descargará cuando la tensión del generador es inferior a la que presentan las armaduras.

Se observará además que el símbolo de alterna representado en el generador, lleva marcado en trazo grueso la magnitud de tensión que dicho generador entrega en los instantes considerados; las armaduras contienen en forma simplificada las cargas correspondientes.



Situación A

La tensión del generador crece con la polaridad indicada.

Circula corriente, desde el borne negativo ingresando cargas (-) a la armadura inferior.

Simultáneamente la armadura superior cede electrones al generador por lo que presenta polaridad positiva.

Situación B

La tensión del generador llega al valor máximo, la carga de las armaduras también es máxima. En ese brevísimo instante se considera que no circula corriente y el capacitor se encuentra cargado.

Situación C

La polaridad del generador no cambia, pero su tensión decrece.

Por ese motivo el capacitor, que estaba cargado, comienza a entregar corriente al generador, es decir, se descarga.

Observar que la corriente de descarga tiene sentido opuesto a la de carga.

Situación D

Transcurrido el primer semiciclo, la tensión del generador se invierte y comienza a crecer. Esto significa que el capacitor ya se ha descargado (cuando la tensión del generador pasó por el valor cero) y se cumple una nueva carga con polaridad opuesta al semiciclo anterior.

Situación E

La diferencia de potencial que presentan las armaduras del capacitor iguala a la tensión del generador. En ese instante no circula corriente y se considera al capacitor cargado.

Situación F

La tensión del generador disminuye sin cambiar de polaridad. El capacitor, cargado al máximo, se descarga sobre el generador.

Conclusiones:

1) Por el dieléctrico no ha circulado corriente, a pesar de ello existe un desplazamiento electrónico desde los bornes del generador hasta las armaduras, durante el proceso de carga y descarga. Por ese motivo se acostumbra decir que los capacitores permiten el paso de la corriente alterna.

2) Durante un ciclo de tensión aplicada el capacitor se ha cargado dos veces y se descargó otras dos.

REACTANCIA CAPACITIVA (XC)

Analizaremos la reactancia capacitiva en dos etapas, en la primera de ellas se estudiará el comportamiento de un capacitor ante dos frecuencias de distinto valor.

En la figura 2 se suponen dos generadores que entregan 50 y 5000 ciclos respectivamente. Si dichos generadores acumulan en cada carga la misma cantidad de electrones en una armadura (o los quitan de la otra), es evidente que en cada carga (o descarga) del capacitor se moviliza la misma cantidad de corriente.

Es fácil deducir que en el circuito sometido a 5000 c/s circula mayor corriente ya que se producen más cargas y descargas del capacitor en el tiempo de un segundo.

Conclusión: a mayor frecuencia circula más corriente, por lo tanto la oposición será menor.

En la figura 3 un mismo generador alimenta a dos capacitores de distinto valor. Es evidente que ambos capacitores se cargan y descargan igual cantidad de veces por segundo, ya que la frecuencia de trabajo es la misma. Pero el capacitor mayor «moviliza» más corriente en cada carga y descarga, de manera que en ese circuito la Intensidad de corriente es más elevada.

Conclusión: a mayor capacidad circula más corriente por lo tanto la oposición será menor.

Definición: La reactancia capacitiva (X_C) es la oposición que ofrece un capacitor a la circulación de corriente alterna.

FÓRMULA DE REACTANCIA CAPACITIVA

Tratándose de una oposición la reactancia capacitiva se considera en Ohm, se la calcula mediante una fórmula que responde a los conceptos recién explicados, es decir, si la capacidad y/o la frecuencia aumentan, el capacitor ofrece menor oposición a la circulación de corriente. Se trata de una simple división, ella es;

$$\text{Reactancia} = \frac{1}{2\pi \times \text{frecuencia} \times \text{capacidad}} = \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{6,28 \times F \times C} = \Omega$$

Puede observarse que el número 1 está dividido por el producto 6,28 (constante) x F x C. Si la frecuencia y la capacidad son grandes, el número 1 queda dividido por un factor elevado, el resultado será una reactancia reducida.

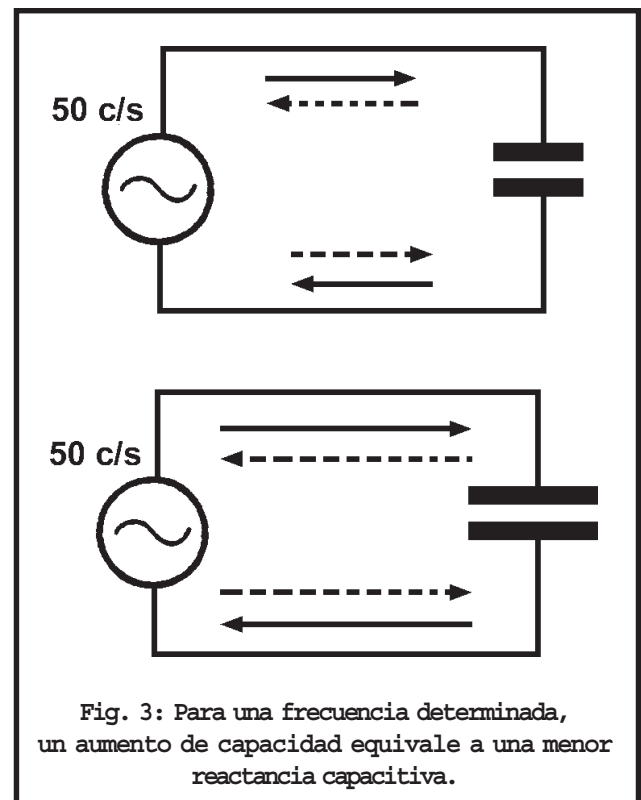
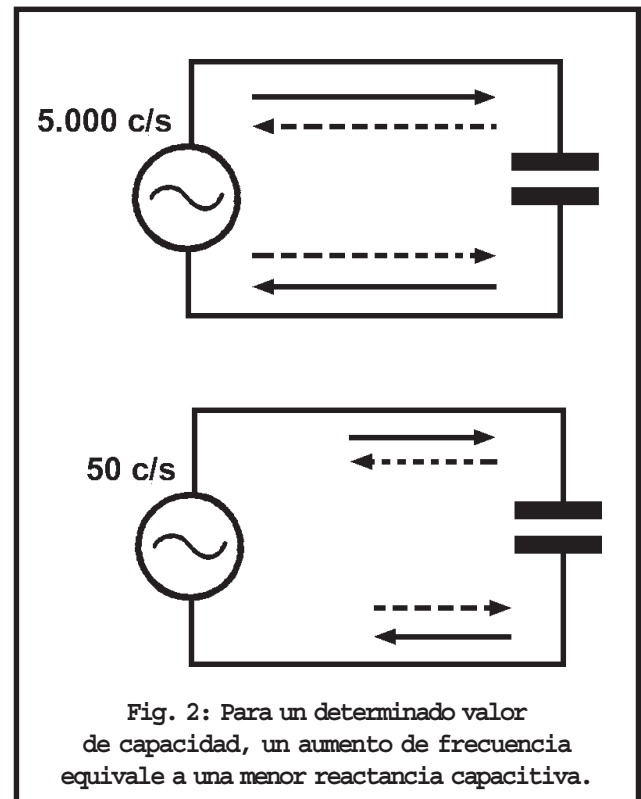
Los capacitores en la práctica

Los capacitores llevan su valor indicado en μF o nF ya sea con números o mediante el código de colores. Algunas unidades traen datos complementarios. Uno de ellos suele ser la tensión de prueba indicada con las letras TV (Test Voltage), el valor numérico correspondiente indica que el fabricante los ha sometido a ese voltaje durante un minuto sin que se perfora el dieléctrico.

Otro dato complementario es la tensión de trabajo, señalada con las letra TW (Work Voltage) indica el límite de tensión que en trabajo normal soporta el capacitor sin peligro de avería.

Estos datos, generalmente vienen acompañados por la sigla CC o DC para señalar que responden a valores de **tensión continua**, por lo tanto, en caso de conectarse los capacitores a tensiones alternas se tendrán en cuenta el valor de pico (máximo), para lo cual basta con multiplicar el valor eficaz por 1,41.

Constructivamente los capacitores poseen distintos materiales que guardan relación con el valor de capaci



tancia; para valores comprendido entre unos pocos picofaradios hasta unos 5000 pf se usan generalmente los capacitores de "mica" o de "cerámica", así llamados por el dieléctrico que utilizan. También existen las unidades tubulares de "poliester", formadas por dos láminas conductoras aisladas con poliester; estos capacitores son de buena calidad aunque admiten una tensión de trabajo menor (para iguales dimensiones) que los de mica o cerámica.

Los valores comprendidos entre .005 μF y .5 μF son generalmente tubulares usan dieléctrico de papel impregnado con aceite, poliester, papel mylar, etc.

Entre aproximadamente 1 μF y varios miles de mF se utilizan los capacitores llamados electrolíticos, que tienen una gran capacidad en relación a sus dimensiones, su dieléctrico está formado por una fina capa de óxido de aluminio que puede dañarse si se invierte la polaridad correspondiente.

IMPEDANCIA (Z)

La impedancia es la oposición que ofrece a la corriente alterna un circuito formado por resistencia y reactancia inductiva, capacitiva o ambas. Su estudio reviste gran importancia ya que todos los circuitos que trabajan con señales presentan una cierta impedancia.

Para la correcta interpretación del tema, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- En un circuito capacitivo, la tensión en las armaduras del capacitor aparece con **retardo** respecto a la corriente que lo carga. Se dice que en dichos circuitos la tensión **atrás** 90° respecto a la intensidad. Este atraso o **defasaje** indica además que el capacitor no consume potencia, ya que la energía solicitada al generador para la carga la devuelve al mismo durante la descarga.

- En un circuito inductivo, la intensidad sufre un **retardo** respecto a la tensión aplicada.

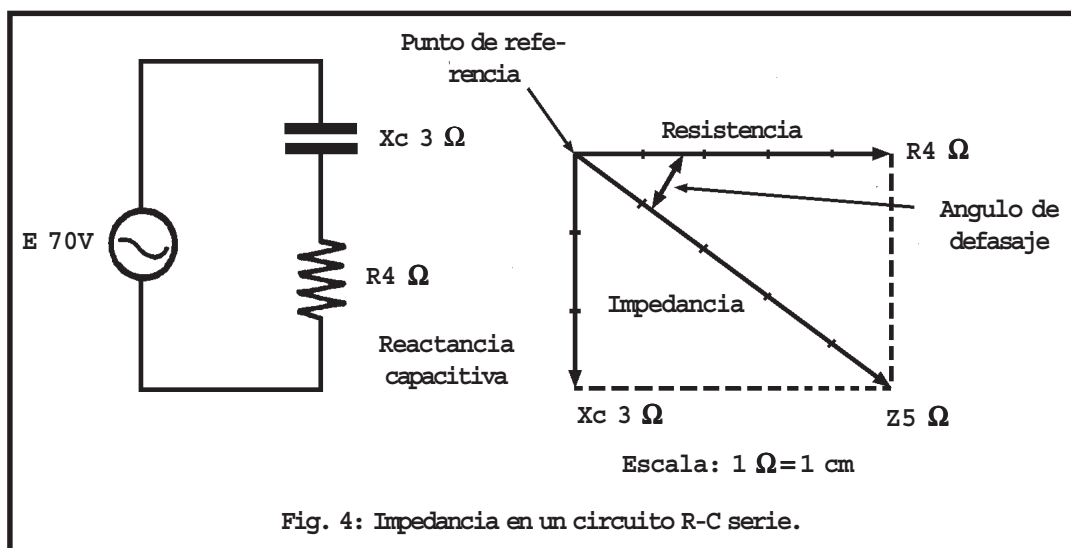
Se dice que en dichos circuitos la corriente **atrás** 90° respecto a la tensión. Este atraso o **defasaje** señala que la bobina **no consume potencia**, ya que la energía tomada al generador para la creación del campo magnético, es devuelta a dicho generador en forma de corriente cuando el campo decrece.

- En un circuito resistivo la corriente sufre un efecto de limitación, pero no atrasa ni adelanta respecto a la tensión. Se dice que en estos circuitos la intensidad y la tensión se encuentran en **fase**. Cabe agregar que los circuitos resistivos consumen potencia, por lo tanto un resistor no devuelve energía alguna al generador, ya que la disipa en forma de calor.

CIRCUITO R-C SERIE

En el análisis de los circuitos que presentan impedancia es muy utilizado un procedimiento llamado **representación vectorial**, que si bien no explica las propiedades eléctricas, conduce a resultados correctos.

A continuación se analiza el circuito de la figura 4. Un generador de CA funciona a una frecuencia para la cual el capacitor ofrece 3 ohm de reactancia capacitiva; para los valores indicados en la figura el cálculo de la corriente circulante es aparentemente simple.



Bastaría con dividir la tensión por la oposición que ofrece el circuito; dado que dichas oposiciones se encuentran conectadas en serie se las suma, resultando por Ley de Ohm

$$\text{Intensidad} = \frac{70}{4 + 3} = \frac{70}{7} = 10 \text{ amperes}$$

Sin embargo la práctica demuestra que la corriente circulante es apreciablemente mayor que la calculada, el error cometido consistió en sumar la reactancia y la resistencia, olvidando que:

- 1) La resistencia **no defasa** intensidad y tensión; además consume potencia.
- 2) El capacitor **adelanta** la intensidad respecto a la tensión 90° y no consume potencia.

En resumen, no es correcto sumar las oposiciones de elementos que presentan propiedades eléctricas completamente diferentes.

La oposición que ofrece el circuito a la corriente alterna puede determinarse mediante una **representación vectorial** tal como la que acompaña al circuito de la figura 4. Tomando un punto como origen se dibujan dos segmentos que representan los valores de la resistencia y la reactancia capacitiva de acuerdo a una escala previamente elegida, en nuestro caso cada centímetro representa un Ohm.

Dichos segmentos o **vectores** se indican como flechas para señalar el sentido del fenómeno que representan, por ejemplo, el vector R está ubicado horizontalmente en este caso, tomándose como referencia, ya que en una resistencia la intensidad y tensión se encuentran en fase.

Con el fin de lograr resultados matemáticos correctos (que escapan a la finalidad del curso), se supone que los vectores "giran" en sentido contrario a las agujas del reloj, por ese motivo el vector que representa a XC se lo representa 90° atrasado respecto a R, ya que el capacitor **atrasa** 90° la tensión respecto a la intensidad.

A continuación, tal como se observa en la figura 4, se transporta cada vector sobre la flecha del restante (ver líneas cortadas), la diagonal trazada desde el punto de referencia representa la **Impedancia** del circuito y su valor queda determinado con la misma escala que se utilizó para representar los vectores R y XC.

Obsérvese que la impedancia (Z) del circuito es menor que la oposición calculada anteriormente; la Ley de Ohm

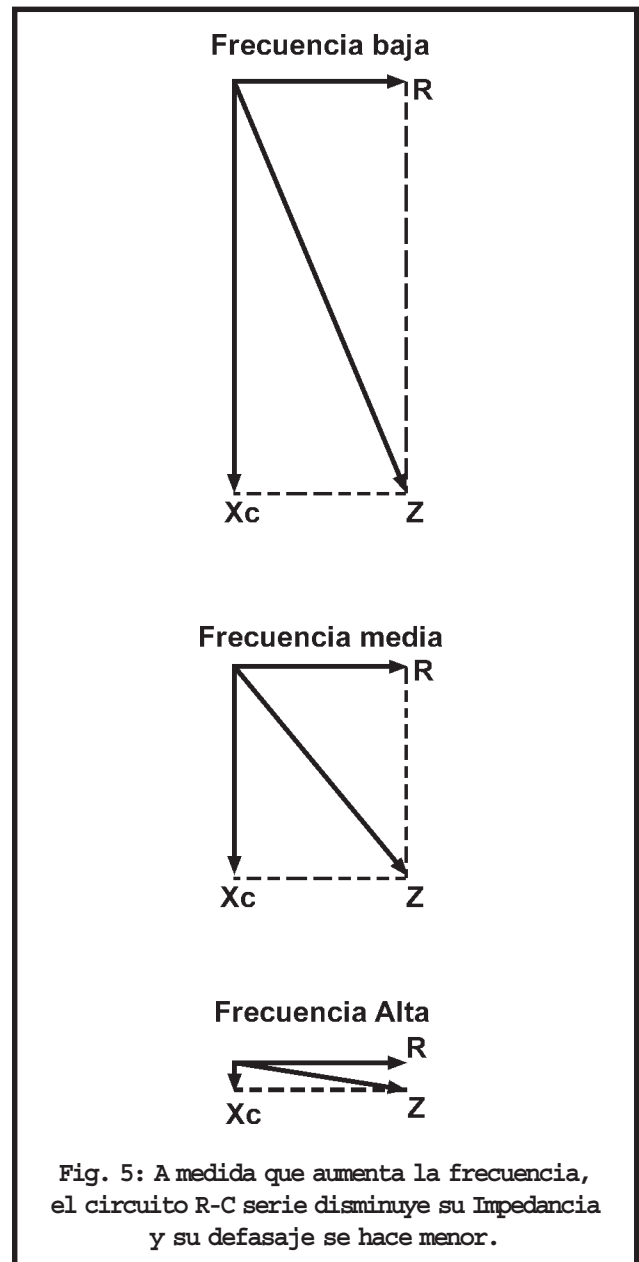
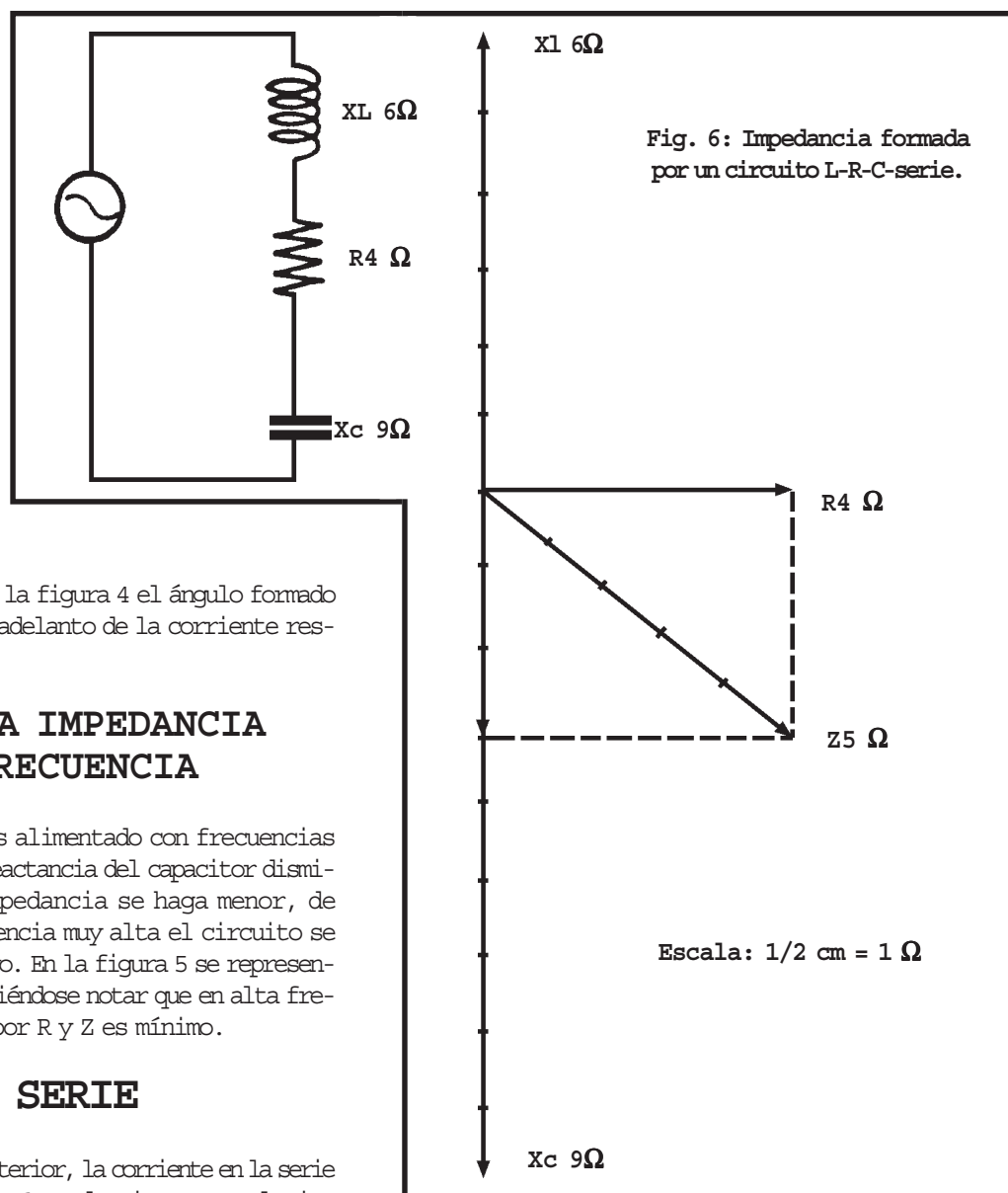


Fig. 5: A medida que aumenta la frecuencia, el circuito R-C serie disminuye su Impedancia y su defasaje se hace menor.

permite calcular la corriente circulante:

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{70}{5} = 14 \text{ Amperes}$$

que resulta ser mucho mayor que el primer resultado obtenido.



En el diagrama vectorial de la figura 4 el ángulo formado por R y Z indica en grados el adelanto de la corriente respecto a la tensión.

VALORACIÓN DE LA IMPEDANCIA RESPECTO A LA FRECUENCIA

Si un circuito R-C serie es alimentado con frecuencias que aumentan su ciclaje, la reactancia del capacitor disminuye permitiendo que la impedancia se haga menor, de forma tal que ante una frecuencia muy alta el circuito se comporta "casi" como resistivo. En la figura 5 se representa lo recién considerado, debiéndose notar que en alta frecuencia, el ángulo formado por R y Z es mínimo.

CIRCUITO L-R-C SERIE

Al igual que en el circuito anterior, la corriente en la serie XL-R-XC que muestra la figura 6, es la misma en cualquier sector que se considere. Se supone que la frecuencia del generador determina en la bobina una XL de 6 ohm y en el capacitor una XC de 9 ohm, el valor de R es 4 ohm.

Al hacer la representación vectorial del circuito debe recordarse que en el capacitor la tensión atrasa 90° respecto a la corriente, mientras que en la bobina se produce el efecto contrario, es decir, la tensión adelanta 90° con respecto a la corriente.

Por ese motivo, respetando en este caso la escala 1/2 cm = 1 ohm, las reactancias quedan en oposición, se dice que defasan 180° entre sí. Ya que las reactancias, por estar en oposición tienden a neutralizar sus efectos, pre-

dominará la que resulte de restar la mayor de la de menor valor.

En el circuito de la figura 6, la reactancia capacitiva vale 9 ohm y la reactancia inductiva 6 ohm, evidentemente predomina XC por la diferencia, es decir 9 - 6 = 3 Ω.

Con este método, reducimos el planteo a un sistema ya empleado, dado que el circuito se comportará como si lo formarían una XC de 3 ohm y una resistencia de 4 ohm.

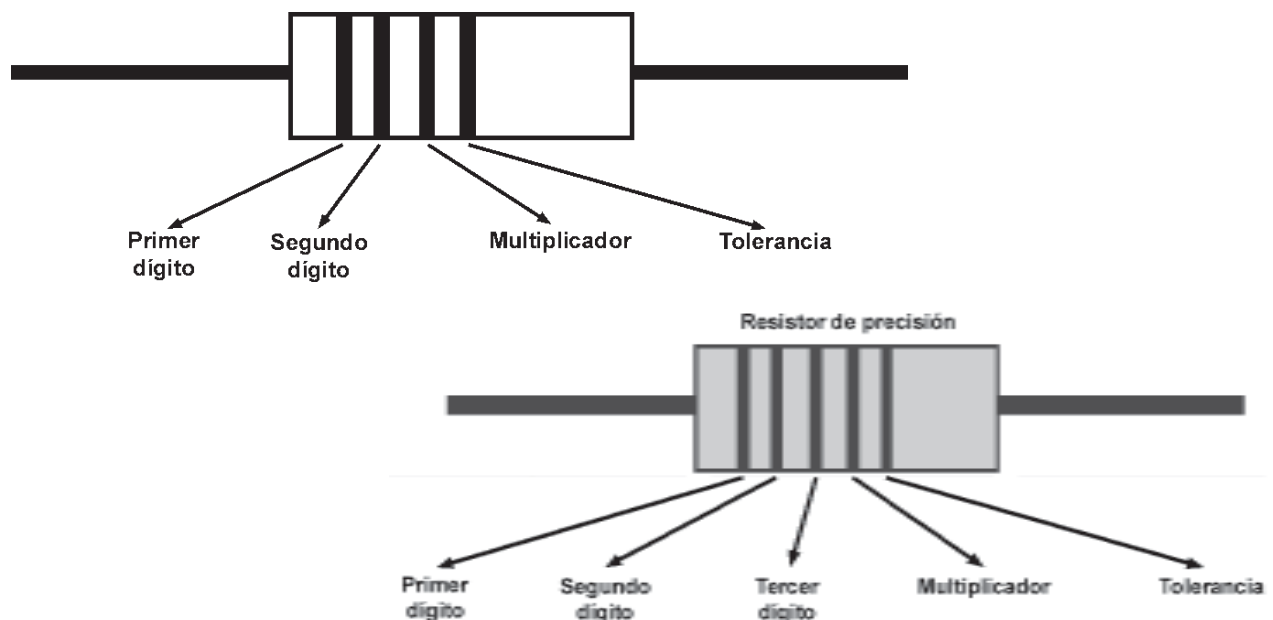
Para esos valores, el análisis de la figura 5 determina una Impedancia de 5 ohm.

En resumen: la solución vectorial de un circuito $XL R Xc$ se obtiene restando la reactancia menor de la reactancia mayor. La reactancia resultante y la resistencia determinarán la impedancia correspondiente.

CODIGO DE COLORES PARA RESISTENCIAS Y CAPACITORES

COLOR DE LA BANDA	1ª CIFRA	2ª CIFRA	FACTOR MULTIPLICAR	TOLERANCIA	AISLACION
negro	—	0	1	—	—
marrón	1	1	10	1 %	100 V
rojo	2	2	100	2 %	200 V
naranja	3	3	1000	3 %	300 V
amarillo	4	4	10.000	4 %	400 V
verde	5	5	100.000	0,5 %	500 V
azul	6	6	1.000.000	0,25 %	600 V
violeta	7	7	10.000.000	0,1 %	700 V
gris	8	8	100.000.000		800 V
blanco	9	9	1.000.000.000		900 V
dorado	—	—	0,1	5 %	1000 V
plateado			0,01	10 %	2000 V
sin color				20 %	

Las tolerancias indicadas en recuadro gris, corresponden solamente a resistencias de precisión.



TORNILLO MICROMÉTRICO (PALMER)

Es otro instrumento de medición utilizado generalmente en controles que requieren una exactitud apreciable, por ejemplo, dentro del orden de la centésima de milímetro.

Esa precisión se consigue mediante un mecanismo ingenioso y simple, supongamos tal como lo muestra la figura 1 un tornillo colocado en una tuerca que de alguna forma se mantiene fija; si hacemos girar el tornillo se produce su avance con sentido longitudinal, la longitud de ese desplazamiento es proporcional a las «vueltas» que se le da al tornillo y al paso de la rosca.

Esta situación se entenderá mejor mediante un ejemplo: si al tornillo de la figura 1 se lo hace girar en el sentido de las agujas del reloj, al dar una vuelta completa avanza una longitud igual al paso de la rosca, si lo hacemos girar dos vueltas avanzará una longitud igual a dos pasos de rosca, etc. Supongamos que se ha elegido un tornillo cuyo paso de rosca es de medio milímetro (0,5 mm), o sea, la separación entre dos salientes consecutivos es 1/2 mm, y que se coloca alrededor de la cabeza del tornillo una escala circular dividida en 50 partes iguales. Al hacer girar el tornillo UNA VUELTA COMPLETA avanza medio milímetro y

las 50 divisiones de la escala graduada habrán pasado frente a nosotros, pero si pretendemos que UNA SOLA división de la escala pase frente a nuestra vista, el tornillo necesariamente tiene que avanzar cincuenta veces menos que antes, o sea, $0,5/50=0,01$ mm (una centésima de milímetro).

En la figura 2 se puede apreciar el aspecto físico de un micrómetro, está formado por un cuerpo en forma de herradura denominada arco, además posee una regla cilíndrica graduada en medios milímetros (manguito) que sostiene la tuerca fija; el extremo del tornillo tiene forma de varilla cilíndrica (vástago) entre cuyo extremo y el tope del arco se coloca la pieza a medir.

El otro extremo del tornillo está unido al tambor graduado, al hacer girar el tambor el tornillo se rosca o desenrosca en la tuerca fija y el tambor avanza o retrocede para ajustar la pieza a medir.

Cuando el tope y el vástago hacen contacto el tambor cubre completamente la escala de la regla

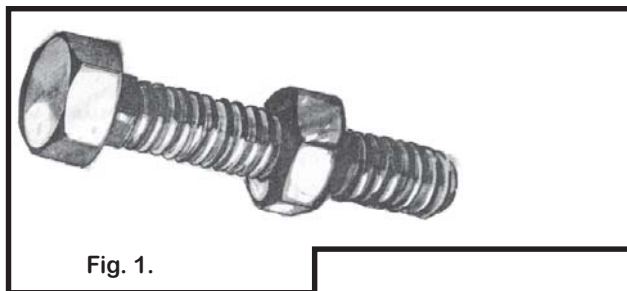


Fig. 1.

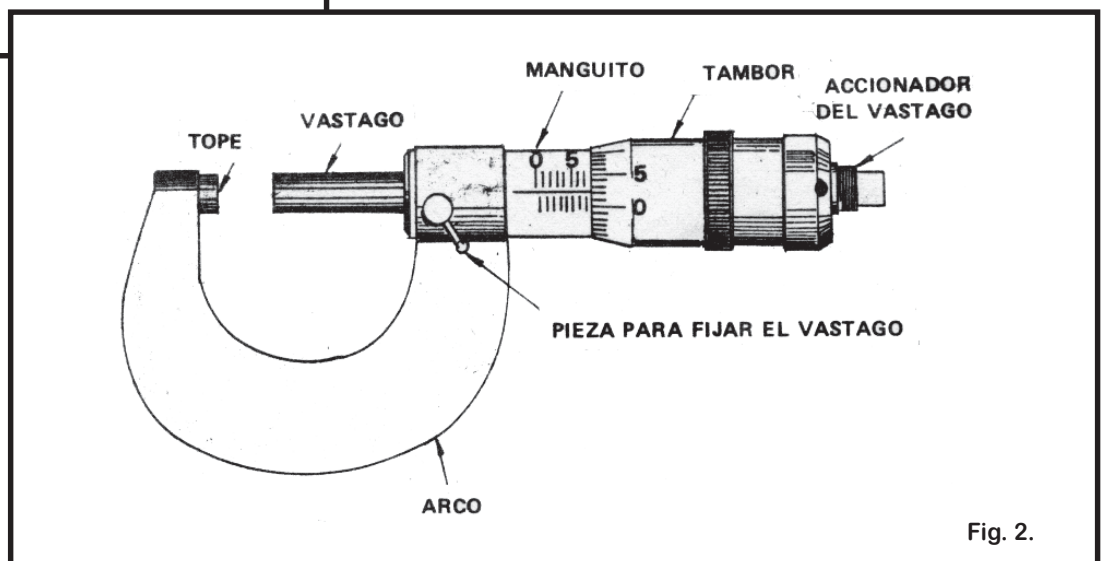


Fig. 2.

cilíndrica, o sea, tapa totalmente la escala graduada del mango.

Al separarse el vástago del tope se va descubriendo la escala para permitir la medición; ya que se pretende una gran precisión de los micrómetros, «en caso de realizar», una presión excesiva sobre la pieza que se mide puede falsear el resultado de la lectura además de ocasionar un daño al propio instrumento con la consiguiente pérdida de precisión, es por estos motivos que el mando del tornillo se efectúa por medio del accionador del vástago, el que posee un mecanismo de escape cuando se establece una presión excesiva.

El cuerpo del micrómetro está construido de forma tal que se hacen difíciles deformaciones por flexión, se utiliza en su fabricación acero tratado y estabilizado.

Los topos tienen sus caras de contacto templadas y de superficies perfectamente planas, incluso ciertos instrumentos tienen el tope del arco regulable con el objeto de permitir un perfecto ajuste a cero. Incluso el tornillo micrométrico se realiza con acero templado y estabilizado con una tolerancia en el paso sumamente estricta, un milésimo de milímetro.

Con respecto a la capacidad de medición es conveniente aclarar que los tornillos micrométricos se fabrican para distintos tamaños de piezas a controlar, por ejemplo de 0 a 25 mm, como el mostrado en la figura 2.

Para capacidades mayores de medición se construyen micrómetros cuyo arco tiene una abertura mayor, en estos la posibilidad de uso se encuentra comprendida entre una dimensión máxima y una mínima existiendo entre ambas una diferencia de 25 mm, como por ejemplo de 25 a 50

mm, de 50 a 75 mm y de 75 a 100 mm, siendo estos los casos de mayor utilización en el taller.

MANEJO DEL MICRÓMETRO

Antes de explicar la forma práctica de medición con este instrumento debemos conocer en qué forma se efectúa su lectura. Supongamos ya perfectamente colocada la pieza a medir quedando el micrómetro en la posición que indica la figura 3. Es evidente que el tambor ha corrido hasta dejar al descubierto una parte de la regla fija, vemos que quedan al descubierto tres marcaciones a la derecha del número cinco, por lo tanto la medición en principio es de ocho milímetros.

Pero el tambor graduado coincide con la línea horizontal de la regla cilíndrica en la Segunda marca a partir de cero, en consecuencia a los 8 milímetros mencionados anteriormente debemos agregar dos centésimos de milímetro por lo tanto la lectura final es 8,02 mm.

En la figura 4 se representa otra variante que puede encontrarse en la práctica de medición con el palmer, vemos que el tambor ha dejado al descubierto tres divisiones y «algo más» a la derecha del número CINCO de la regla cilíndrica, aparentemente la lectura correcta sería 8 mm más el agregado de 34 centésimas de milímetro en razón de que la horizontal de la regla coincide con ese valor en el tambor.

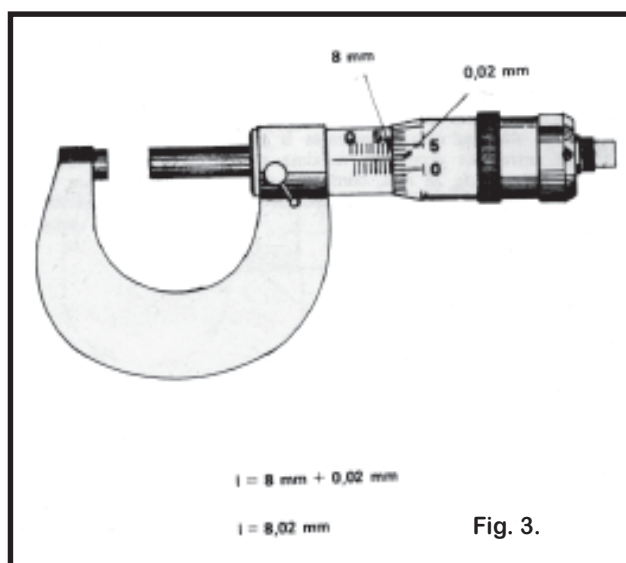


Fig. 3.

Pero si observamos con mayor detenimiento la figura notamos que cada una de las divisiones inferiores de la regla «cae» justo en la mitad de cada milímetro de la parte superior, o sea, esas marcaciones corresponden a MEDIO MILÍMETRO.

Analizando nuevamente la posición del tambor, vemos que dejó al descubierto no solamente tres marcas después del «cinco» de la regla, sino también UNA marca (inferior) a la derecha de las mencionadas. Para una mejor interpretación de lo anterior le proponemos lo siguiente: con un lápiz de punta fina indique la marca que corresponde al CINCO de la regla, el próximo paso a la derecha corresponde a 6 mm, el caso siguiente a 7 mm, y el otro a 8 mm, pero hasta llegar al borde del tambor, el lápiz pasaría sobre la marcación inferior QUE CORRESPONDE A MEDIO MILÍMETRO, resulta entonces que la lectura resultará ser 8,5 mm más lo indicado por la escala del tambor, o sea, 34 centésimas de mm.

Efectuamos esa sencilla suma $8,5 + 0,34 = 8,84$ mm.

Nos falta comentar que los tornillos micrométricos pueden presentar la escala de la regla fija graduada únicamente en milímetros y la escala del tambor con cien divisiones, por lo tanto la precisión es similar a la del caso anterior ya que el tornillo al avanzar (o retroceder) cubre una distancia de un milímetro cuando se lo ha girado una vuelta completa.

TORNILLO MICROMÉTRICO CON SISTEMA INGLÉS DE MEDICIÓN

Si bien se aclaró al comenzar esta lección que el sistema inglés de medición, va quedando paulatinamente en desuso, es conveniente tener una idea de la forma en que se efectúan lecturas con un micrómetro graduado en ese sistema.

Comenzaremos por indicar que generalmente la regla fija está graduada en pulgadas y cada división numerada de la escala equivale a $1/10$ de pulgada. Estas divisiones están fraccionadas en cuatro, de modo que cada sección menor representa $1/40$ de pulgada, o lo que es lo mismo, 0,025 de pulgada.

La graduación de la escala móvil va de 0 a 25 y una revolución completa del tambor recorre una división íntegra de la escala fija. Esto quiere decir que 25 divisiones de la escala móvil representan 0,025 de pulgada, o sea, que una subdivisión menor de la escala móvil nos representa 0,001 pulgadas de espesor.

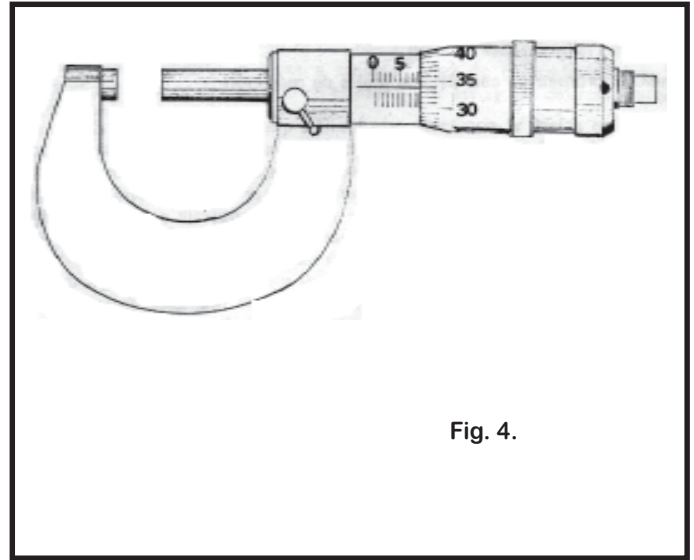


Fig. 4.

Técnica de la Medición

Si bien la mejor manera de efectuar una medición depende en parte de quién la ejecute es conveniente tener presente una serie de indicaciones que facilitan enormemente la tarea. El micrómetro se sostiene con la mano derecha en forma tal que la escala es claramente visible para el operador. El primer paso antes de usar el micrómetro consiste en verificar la posición del punto «0», para esto se accionará sobre el vástago viendo si cuando éste resbala porque los dos topes están unidos al cero de la escala fija coincide con el cero de la escala móvil. De no suceder así se tendrá muy en cuenta restar la diferencia encontrada en todas las mediciones siguientes. Recordemos que se usan tornillos micrométricos en los que el tope y el vástago no hacen

contacto, tal es el caso de los de 25 mm a 50 mm o 50 mm a 75 mm, etc., para controlar la posición de punto cero estos instrumentos traen un cilindro exactamente calibrado de acuerdo a la distancia que debe separar ambos topes cuando coinciden los ceros, como en el caso anterior, si esto no ocurre se debe restar la diferencia en todas las mediciones que se realicen.

Antes de que la pieza a medir quede apretada entre el tope y el vástago, los dedos pulgar e índice se deben trasladar al accionador del vástago haciendo que la rotación final se realice desde allí. Esto asegura en primer lugar que el roscado del micrómetro no soporte ningún esfuerzo perjudicial y en segundo lugar que la pieza a medir no sufra una presión tan fuerte como para modificar su espesor real.

Demás está decir que se debe tener mucho cuidado en que la pieza a medir se encuentre colocada perpendicularmente entre el tope y el vástago pues de lo contrario la lectura del instrumento no sería la correcta.

El paso siguiente es hacer rotar el tambor en sentido opuesto a las agujas del reloj entre el pulgar y el índice hasta lograr suficiente abertura como para colocar cómodamente la pieza a medir. Luego de colocada la pieza se hace girar el accionador del vástago en el sentido de las agujas del reloj hasta que la pieza quede correctamente ajustada.

MICRÓMETROS DE INTERIORES

Los micrómetros de interiores tienen los mismos principios de funcionamiento que los micrómetros ya explicados, se usan para efectuar mediciones de diámetros de orificios como así también entre planos paralelos enfrentados, tal es el caso respectivamente del diámetro de los cilindros del motor, distancia entre bancadas, etc. Estos vienen acompañados por un juego de varillas perfectamente graduadas que permiten ampliar el rango de medición a los efectos de mejor aclaración, la figura 5 representa un comparador centesimal.

Es necesario tener en cuenta que la medición de diámetros interiores con este instrumento exige ciertos cuidados ya que se hace necesario colocarlo según el diámetro, esto se consigue apoyando uno de los topes contra la pared del cilindro haciéndolo oscilar alrededor del punto de apoyo en un plano perpendicular al eje del agujero, se ajusta el micrómetro al valor máximo y luego se lo hace oscilar ajustando el valor para el cual pasa rozando suavemente, siendo este valor que se toma como diámetro interior.

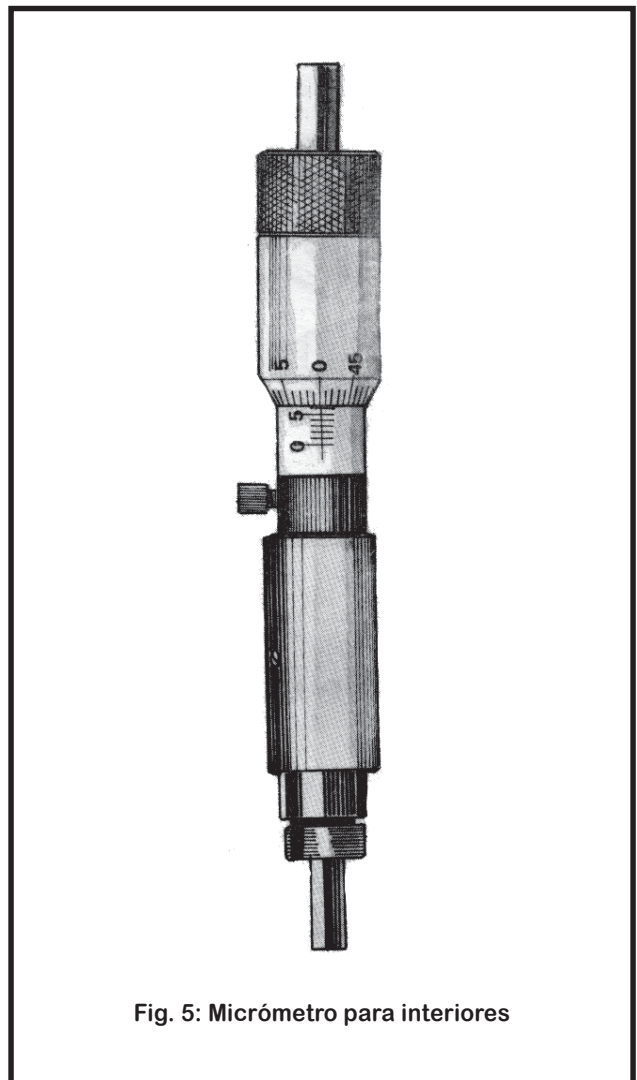


Fig. 5: Micrómetro para interiores

Práctica de Mediciones

Una de las más importantes tareas que un técnico debe saber realizar con precisión es MEDIR.

Medir es determinar una magnitud comparándola con otra de la misma especie determinada con anterioridad. Para que al efectuar una medición los resultados sean correctos, es necesario que la magnitud que se toma como referencia sea siempre la misma y de valor constante, en consecuencia a esas magnitudes se las llama unidades y se hace necesario en la práctica que tengan valor invariable o por lo menos lo más inalterable posible.

En la práctica, son muchas las magnitudes que deben medirse y por supuesto de distintas especies, tales como, longitud, superficies, volúmenes, fuerzas, temperaturas, etc., por ese motivo resulta conveniente adoptar una serie de unidades relacionadas entre sí de una manera determinada. A un conjunto de unidades que cumpla la condición mencionada anteriormente se la denomina sistema de unidades.

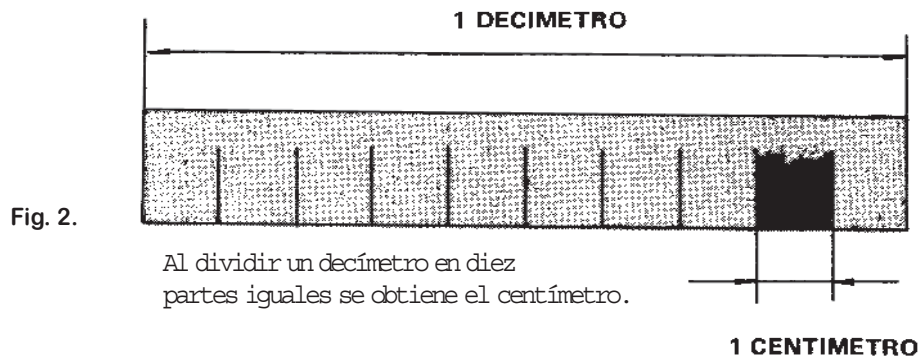
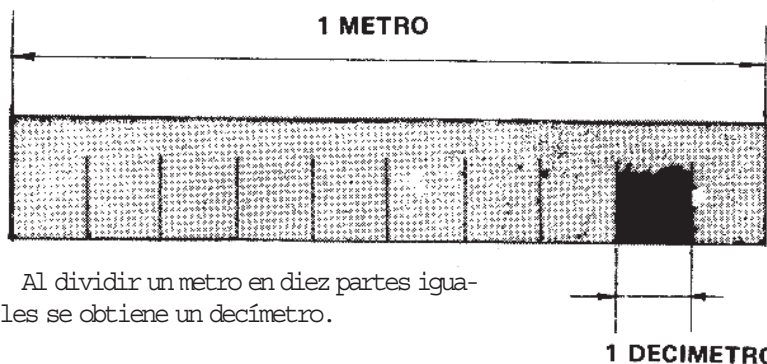
Antes de pasar a la descripción de los distintos elementos que se utilizan en el taller para efectuar mediciones, creemos conveniente aclarar la existencia de dos sistemas de unidades, uno de ellos, el sistema métrico decimal que es utilizado por un gran número de países aunque todavía quedan naciones de habla sajona que usan el sistema inglés de medición pese a que últimamente han decidido pasar al sistema métrico por ser más lógico y útil en la práctica.

SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

La unidad de este sistema es el metro (m), equivale a dividir el meridiano terrestre en cuarenta millones de partes iguales considerando luego como unidad a una sola de esas partes. Desde el punto de vista práctico esta consideración es satisfactoria, aunque no exacta. Por supuesto que a simple título informativo, señalamos que la longitud del metro ha sido fijada con precisión por el Comité Científico de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas comparándola con 1.650.763 longitudes de onda del átomo de criptón, esta aparente complicación tiene un solo fin, buscar la máxima precisión que requiere la técnica actual, por ese motivo se comparó al metro con cierta cantidad de ondas de luz (naranja) emitida por un determinado tipo de átomo, ya que la experiencia demuestra que los átomos emiten bajo ciertas condiciones, ondas de luz prácticamente constantes en su longitud.

No se necesita mayor explicación para interpretar que el metro resulta ser una unidad demasiado grande para realizar buena parte de las mediciones en el taller, por ese motivo se utilizan los llamados submúltiplos, o sea, magnitudes menores que la unidad. De todas maneras, a los efectos de una mejor ubicación con respecto al sistema métrico decimal procederemos a indicar los submúltiplos acudiendo a una sencilla figura (1) en la que se representa «un metro» dividido en diez partes iguales, cada una de ellas equivale a un decímetro, o sea, $0,1 \text{ m} = 1 \text{ dm}$.

Si suponemos que en la figura 2 se representa la longitud equivalente a un decímetro y procedemos a dividirla en diez partes iguales, cada una de ellas es equivalente a un centímetro (1 cm).



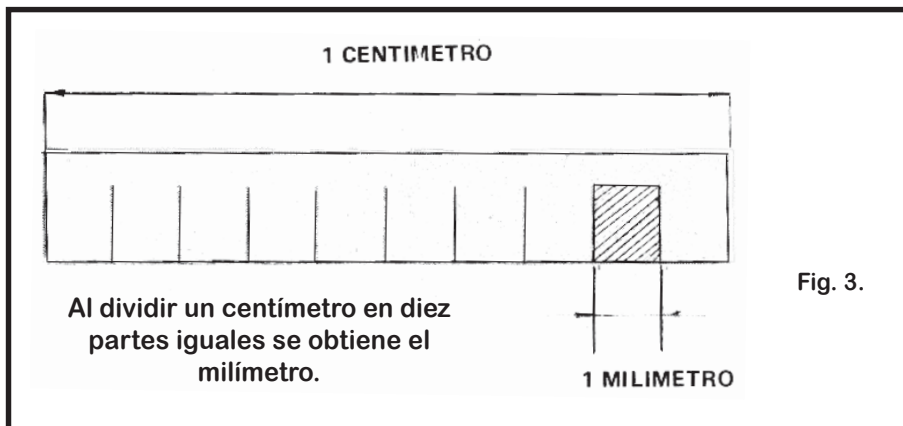
Igual procedimiento puede seguirse para llegar al milímetro, se trata simplemente de dividir un centímetro en diez partes iguales, tal como lo muestra la figura 3 en la que se ha representado un centímetro suficientemente «agrandado» como para que pueda verse a simple vista la proporción equivalente a un milímetro.

En mecánica, se utiliza como unidad de longitud el milímetro que como se deduce de lo explicado anteriormente

equivale a la milésima parte del metro aunque en la mayoría de los casos, o sea, cuando se desea comprobar una tolerancia se usa la décima de milímetro (0,1 mm), eventualmente la centésima de milímetro (0,001 mm) llamada micrón y que se representa con la letra griega μ .

A continuación, indicamos los múltiplos y submúltiplos del sistema métrico decimal.

Miriámetro	ma	10.000 m	Múltiplos
Kilómetro	km	1.000 m	
Hectómetro	hm	100 m	
Decámetro	dca	10 m	
Metro	m	1 m	Unidad
Decímetro	dm	0,1 m	Submúltiplos
Centímetro	cm	0,01 m	
Milímetro	mm	0,001 m	
Micrón	μ	0,000001 m	



Sistema Inglés de Medición

Este sistema de medición se basa en magnitudes que el hombre fijó de acuerdo a sus necesidades y tradiciones, por ese motivo no es un sistema lógico en el sentido de la proporción que mantiene entre sí los múltiplos o submúltiplos. La unidad de este sistema es la yarda, que equivale aproximadamente a la medida del paso de un hombre; la siguiente lista contiene los principales múltiplos y submúltiplos del sistema inglés de medición:

Milla	mile	1.760 yardas
Braza	fathom	2 yardas
Pie	foot	1/3 yarda
Pulgada	inch	1/36 yarda

De la simple lectura de la tabla anterior puede apreciarse el detalle ya anticipado, o sea, los múltiplos y submúltiplos no guardan entre sí una proporción regular, por ese motivo creemos conveniente agregar una equivalencia entre el sistema métrico decimal y el inglés de medición.

1 milla	= 1.609,3149 metros
1 braza	= 1,8288 metros
1 yarda	= 0,9144 metros
1 pie	= 0,3048 metros
1 pulgada	= 0,0254 metros

Con referencia a la pulgada debemos aclarar que se la divide en partes, ya sea en milésimas o en forma fraccionaria. Veamos: se divide la pulgada en dos partes iguales siendo cada una de ellas equivalente a media pulgada, si a esa media pulgada se la divide nuevamente por la mitad se obtiene (1/4) un cuarto de pulgada y así sucesivamente.

En la tabla siguiente se indica la equivalencia entre fracciones de pulgada y milímetros.

TABLA DE CONVERSIÓN ENTRE FRACCIONES DE PULGADA Y MILÍMETROS

Pulg.	m m	Pulg.	m m	Pulg.	m m	Pulg.	m m	Pulg.	m m
—	—	13/64	5,119	13/32	10,319	39/64	15,478	13/16	20,638
1/64	0,397	7/32	5,556	27/64	10,716	5/8	15,875	53/64	21,034
1/32	0,794	15/64	5,953	7/16	11,112	41/64	16,272	27/32	21,431
3/64	1,191	1/4	6,350	29/64	11,509	21/32	16,669	55/64	21,828
1/16	1,588	17/64	6,747	15/32	11,906	43/64	17,066	7/8	22,225
5/64	1,984	9/32	7,144	31/64	12,303	11/16	17,462	57/64	22,622
3/32	2,381	19/64	7,541	1/2	12,700	45/64	17,859	29/32	23,019
7/64	2,778	5/16	7,938	33/64	13,097	23/32	18,256	59/64	23,416
1/8	3,175	21/64	8,334	17/32	13,494	47/64	18,653	15/16	23,812
9/64	3,572	11/32	8,731	35/64	13,891	3/4	19,050	61/64	24,209
5/32	3,969	23/64	9,128	9/16	14,288	49/64	19,447	31/32	24,606
1/64	4,366	3/8	9,525	37/64	14,684	25/32	19,844	63/64	25,003
3/16	4,762	25/64	9,922	19/32	15,081	51/64	20,241	1	25,400

Necesidad de la medición

Para que haya ajuste entre dos piezas, tanto el juego como el apriete están limitados por medidas máximas y mínimas cuya diferencia es la tolerancia. Eligiendo las tolerancias adecuadas se logra el ajuste necesario entre dos piezas, lo que permite cambiarlas o reemplazarlas sin inconvenientes. Se tendrá en cuenta que las características de una pieza son fijadas por la fábrica quien determina como factores más importantes:

- La naturaleza del material con que se fabrica la pieza.
- La forma geométrica de la pieza.
- Las dimensiones de la pieza.
- La calidad en la terminación de las piezas, especialmente de las superficies mecanizadas.

Con referencia a la forma de la pieza es natural que nunca pueda ser alcanzada con perfecta precisión debido a las limitaciones propias de la fabricación, en consecuencia, la medición de las piezas se limita fundamentalmente a la comprobación de longitudes y ángulos.

En la mecánica automotriz se requiere una precisión bastante elevada en la mayoría de las partes que forman el automóvil, como norma general aceptamos la centésima de milímetro o milésima de pulgada como valores standards.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Si bien la cantidad de elementos destinados a la medición de piezas es abundante, creemos conveniente explicar aquellos instrumentos que mayor aplicación práctica tienen en el taller. Comenzaremos por mencionar a las «Reglas Metálicas», empleadas generalmente con fines de verificación. Se construyen con acero tratado y estabilizado, lo que permite una gran estabilidad en sus formas y dimensiones, aún ante apreciables cambios de temperatura, aunque se aconseja efectuar las mediciones a una temperatura ambiente de 20°. Estas reglas presentan el aspecto que muestra la figura 4, pueden tener graduación en milímetros solamente o también en milímetros y pulgadas.

Estas reglas son muy empleadas en ciertas mediciones de mecánica, tienen la sección de forma rectangular y son fabricadas generalmente en caero con la escala grabada en uno de sus bordes o en ambos como lo muestra la figura 5, se construyen hasta una longitud de dos metros con cincuenta centímetros. A los efectos de evitar el error de paralaje, se utilizan reglas biseladas en el borde que lleva la escala graduada.

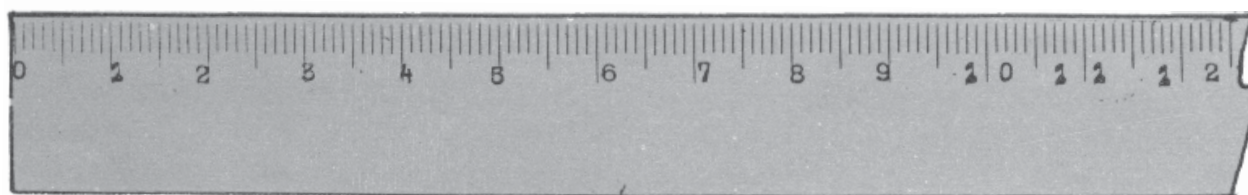


Fig. 4: Regla graduada en milímetros.

Es conveniente que analicemos en qué consiste el error de paralaje: como una regla metálica tiene un cierto espesor, si la sección de la regla es perfectamente rectangular es natural que la escala se encuentre un poco más «alta» que la pieza a medir, esto indica que si el observador no se encuentra perfectamente perpendicular a la marca de la regla puede efectuar una lectura falsa. En la figura 6 se muestra el error de paralelaje producido por una incorrecta posición de trabajo (A), resulta claro ver en la figura que la posición correcta es la (B), pero de todas maneras esto no es fácil de conseguir, sobre todo cuando se trata de una medición que requiere cierta precisión, por ese motivo convienen las reglas biseladas. En la figura 6B se representa una de éstas pudiéndose apreciar que el borde que lleva la escala graduada finaliza suficientemente «afilado» como para coincidir casi con la superficie de la pieza a medir, razón por la cual el error de paralaje es mucho menor.



Fig. 4: Regla metálica con doble marcación.

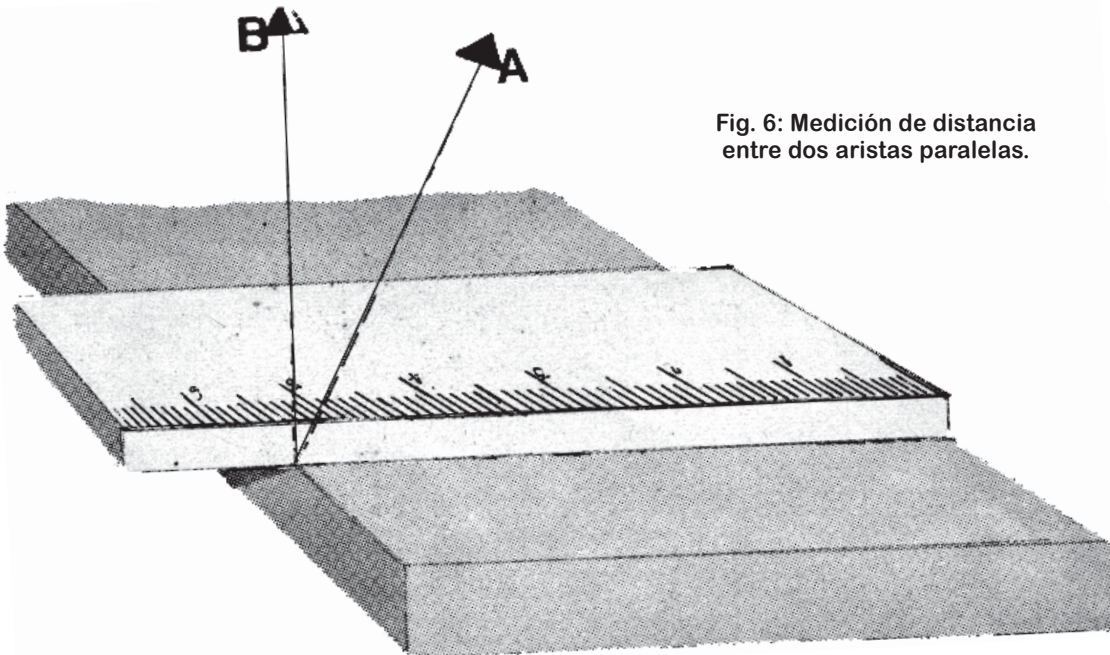


Fig. 6: Medición de distancia entre dos aristas paralelas.

Las reglas graduadas de muy buena calidad están construidas generalmente con acero inoxidable, además deben tener una exactitud no inferior a un milímetro en más o en menos, por metro de longitud, esto nos hace notar que se utilizan en mediciones que requieren poca precisión, tal es así que en la mayoría de los casos la escala está graduada en milímetros no siendo muy necesario que lleve marcas de medio milímetro ya que un técnico con buena práctica puede distinguir a «ojo» diferencias de longitud de una décima de milímetro mientras que el grueso de cada marcación de la regla tiene fácilmente dos a tres décimas de milímetro.

Naturalmente, la medición efectuada con una regla graduada no ofrece mayores dificultades, tal es el caso de verificar la distancia entre dos puntos determinados si-

tuados en una superficie plana o en una arista de igual característica. En tales casos bastará que el cero de la escala coincida con uno de los puntos, quedando señalada la medida por la coincidencia del otro punto con la regla. Otro es el caso al medir la distancia que separa dos rectas paralelas, la figura 7 muestra claramente que se debe tomar la precaución de que la regla quede perfectamente perpendicular a las paralelas.

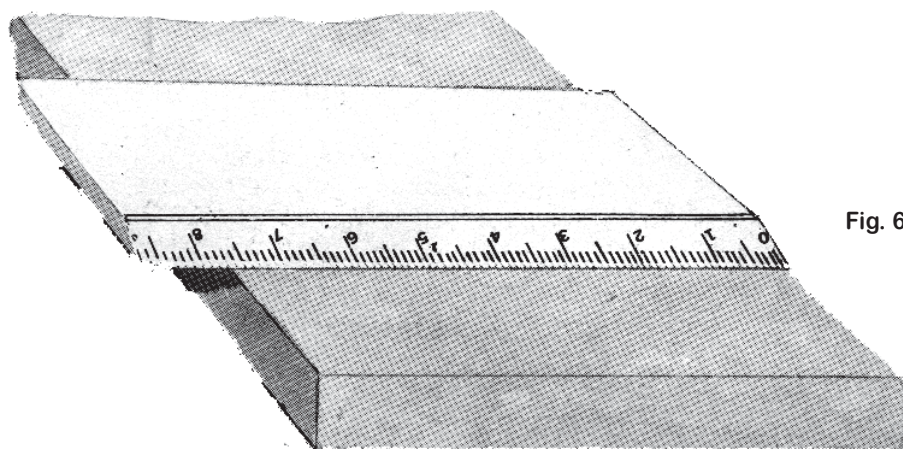


Fig. 6 B: Regla biselada.

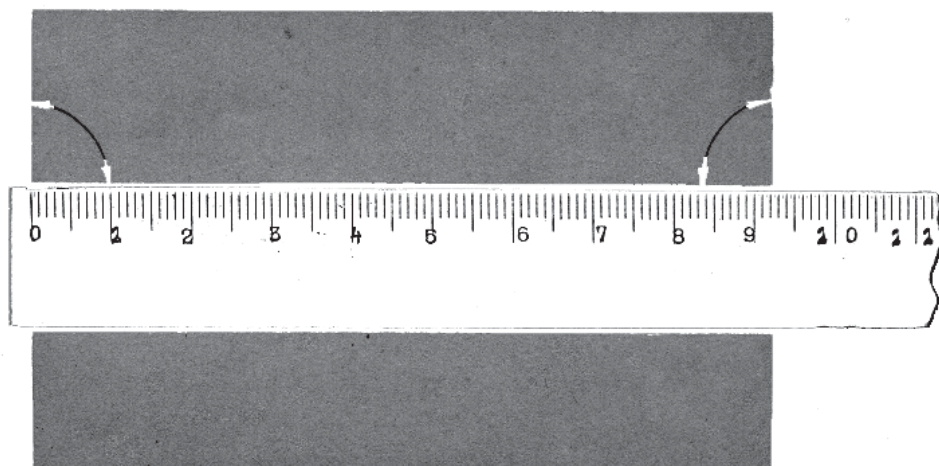
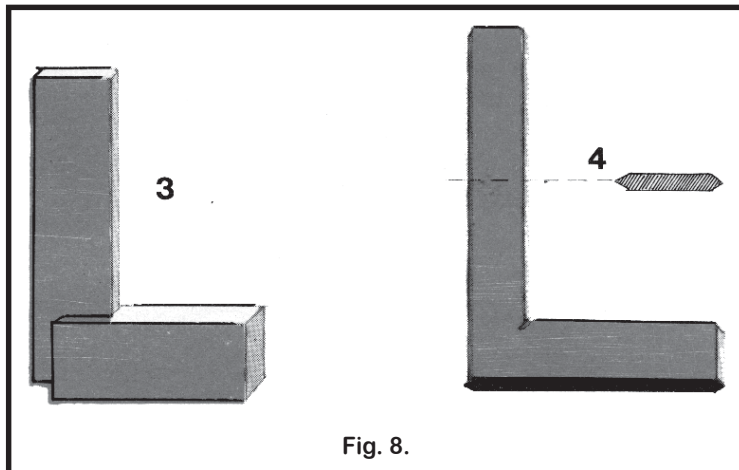
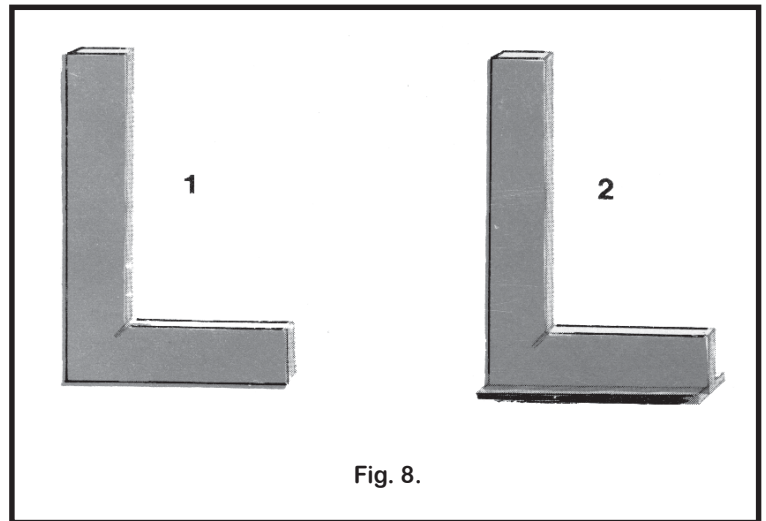


Fig. 7.

ESCUADRAS

Las escuadras más utilizadas en el taller son de acero, cuando de ellas se pretende buena precisión, el acero debe ser templado y estabilizado. Estos instrumentos permiten realizar comprobaciones de planicidad y ángulos rectos. Pueden presentar distintos aspectos, como los muestra la figura 8.

El caso 1 señala una escuadra plana y simple, la que indica el número 2, posee una base ancha para dar mayor estabilidad al efectuar comprobaciones sobre superficies muy lisas (mármol), en los casos 3 y 4 se trata de escuadras de lámina y lámina biselada respectivamente, las que se caracterizan por su gran precisión.



EL CALIBRE DE PIE DE REY

Es uno de los instrumentos de medición más útiles en el taller ya que permite el control de las dimensiones de las piezas con una exactitud que en los casos comunes puede establecerse en la décima de milímetro. El calibre de pie de rey, también llamado compás de corredera presenta el aspecto que muestra la figura 9, es una regla graduada, uno de cuyos extremos tiene una prolongación que forma con la regla propiamente dicha un ángulo de 90° . Sobre la regla puede desplazarse una abrazadera, la que posee una prolongación perfectamente perpendicular a la regla. Queremos decir que al efectuar una medición (como veremos más adelante), al correr la abrazadera siempre quedarán paralelas las prolongaciones mencionadas anteriormente.

Ya que el técnico se ve obligado al uso del calibre en forma frecuente nos parece bien hacer una breve referencia a los principios de funcionamiento de este instrumento, ya que como anticipamos permite efectuar mediciones de precisión bastante elevada.

Si el lector analiza la figura 10, podrá realiza algunas

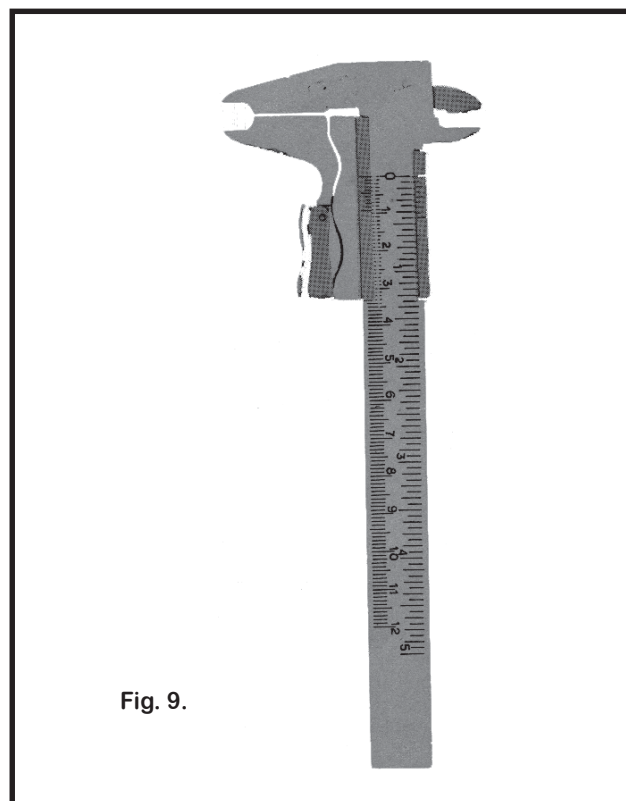


Fig. 9.

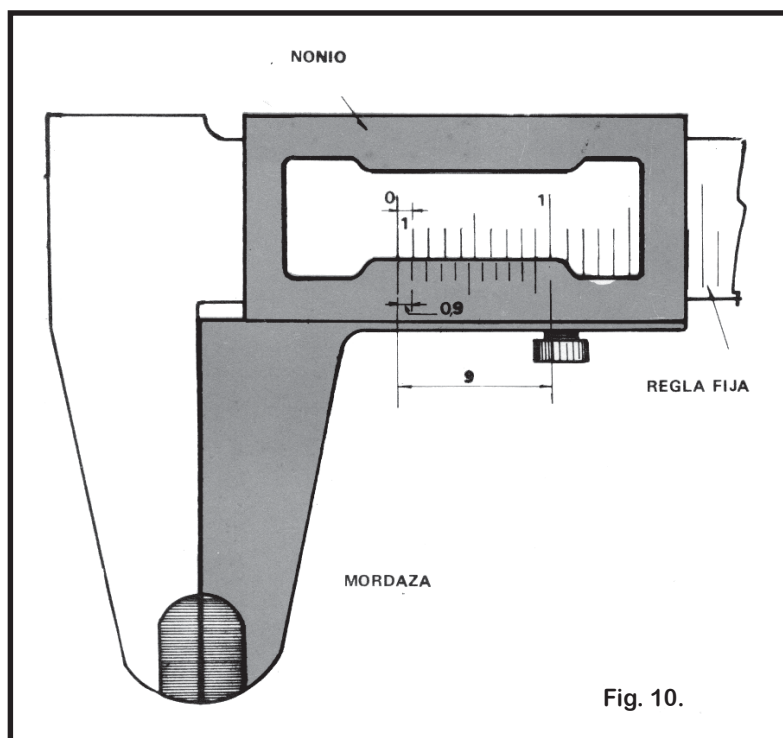


Fig. 10.

observaciones sumamente útiles: la abrazadera deslizante posee una escala graduada (nonio) que lleva diez divisiones exactamente iguales.

Si hacemos coincidir el cero de la escala del nonio con el cero de la escala de la regla notaremos que la «décima» división del nonio coincide con la «novena» división de la regla, en este detalle se encuentra la clave del calibre pie de rey.

Teniendo en cuenta que la regla es milimetrada, es fácil deducir que cada una de las divisiones del nonio tiene una longitud de nueve décimas de milímetro ya que las divisiones de éste coinciden con nueve milímetros de la regla. Por si queda alguna duda sobre la explicación anterior le aconsejamos analizar los ejemplos siguientes:

En la figura 11 se muestra el nonio desplazado de manera tal que la primera división del mismo coincide con una división de la regla. Puede notarse que la distancia entre «cero» del nonio y la división inmediata inferior de la regla graduada es de 0,1 mm. Si se deslaza nuevamente el nonio hasta que la segunda división coincida con una de la regla, la distancia entre el cero del nonio y la división inmediata inferior de la regla será de «dos décimas de milímetro» y así sucesivamente. (Figura 12)

«En resumen, la distancia considerada en décimas de milímetro desde el cero del nonio hasta la división inmediata inferior de la regla aparece

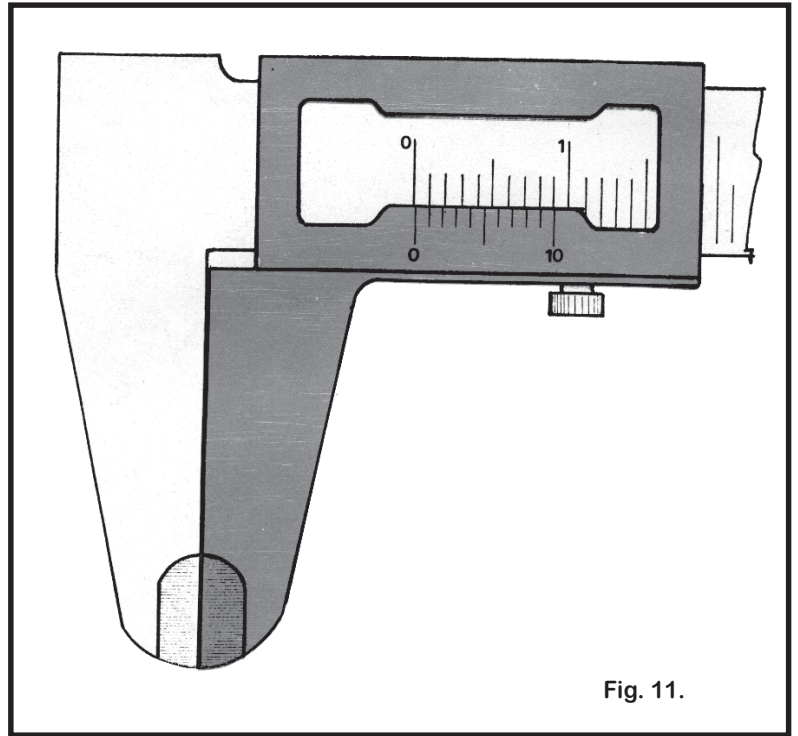


Fig. 11.

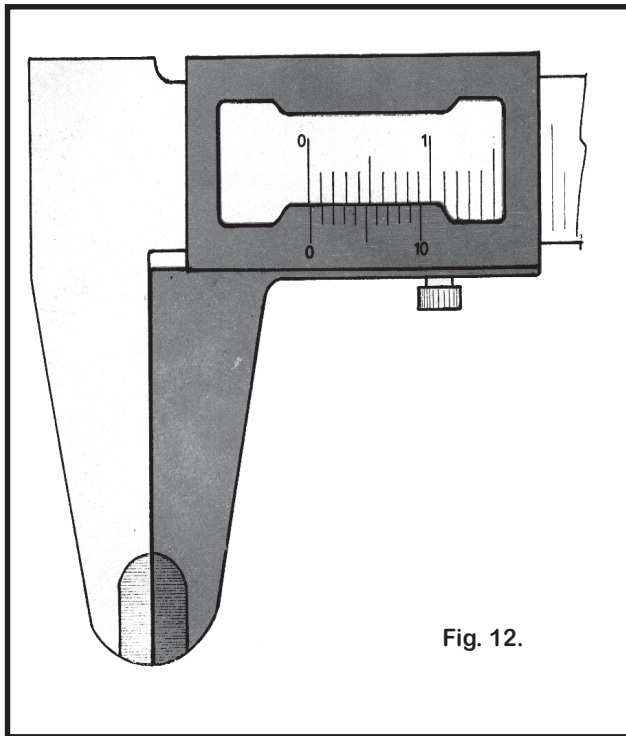


Fig. 12.

señalada por la división del nonio que coincide con una división de la regla».

Veamos un caso práctico: en la figura 13 se aprecia que la división «cero» del nonio sobrepasa los 38 milímetros de la regla, por lo tanto la pieza medida tiene esa longitud. Pero queremos saber en cuántas décimas de milímetro se supera ese valor. Para ello debemos observar que «la cuarta» división del nonio coincide con una división de la regla, en consecuencia la lectura correcta de esta medición es 38,4 mm.

Para finalizar esta explicación es necesario recordar que la regla graduada lleva números impresos cada centímetro, si observa la figura 13 notará que «el cero» del nonio se encuentra en la zona comprendida entre la penúltima y última marca anteriores al número 4 (que equivale a 40 mm) razón por la cual el primer valor a considerar es 38 mm.

Los calibres pie de rey tienen en la mayoría de los casos sus nonios con diez divisiones lo que permite mediciones con precisión hasta la décima de milímetro. En los casos de mayor precisión, se utilizan calibres que tienen el nonio dividido en 20 partes iguales con lo que se consiguen mediciones con una precisión del orden de $1/20$ de milímetro.

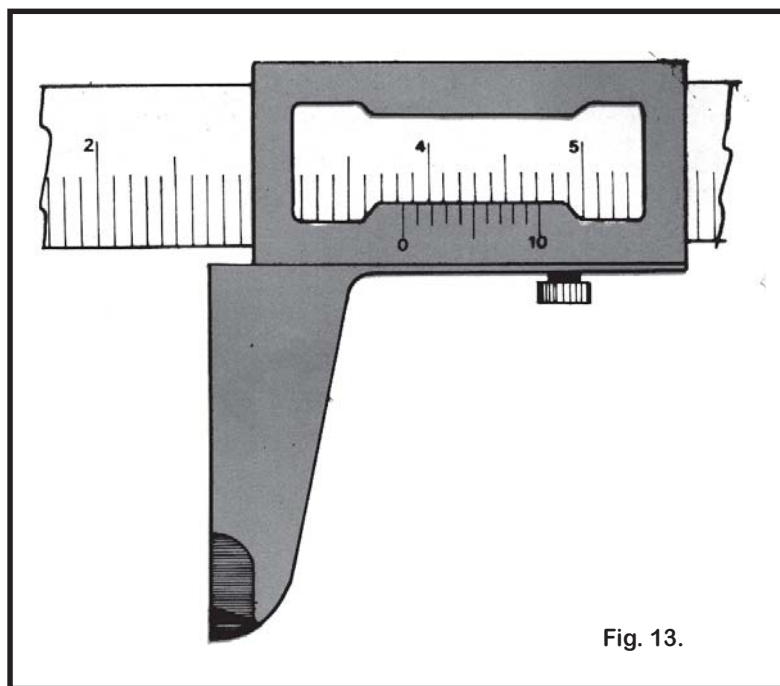


Fig. 13.

FORMAS PRÁCTICAS DEL CALIBRE UNIVERSAL

Los calibres presentan distintas formas de acuerdo a los diversos usos que se les da en las mediciones, los más corrientes son como los que muestra la figura 14, en ella puede apreciarse la posibilidad de distintas mediciones, en el caso A se mide en interiores, por ejemplo, diámetros interiores de orificios. En caso B se comparan distancias externas, para nuestro ejemplo, el diámetro exterior de una varilla. Finalmente, el caso C permite observar cómo se usa el calibre cuando se desea medir en profundidad.

Es conveniente que el lector tenga muy presente que se ha utilizado la figura 14 para indicar las tres posibilidades de medición con un calibre pie de rey, pero naturalmente cada una de ellas se realiza por separado, o sea, si realizamos una medición de exteriores, también se mueven las prolongaciones que permiten medición de interiores y profundidad aunque no se estén realizando estas últimas.

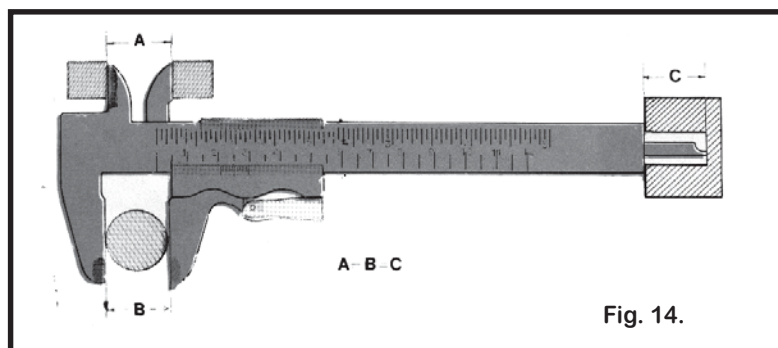


Fig. 14.

COMPÁS DE CORREDERA O CALIBRE

Sistema inglés

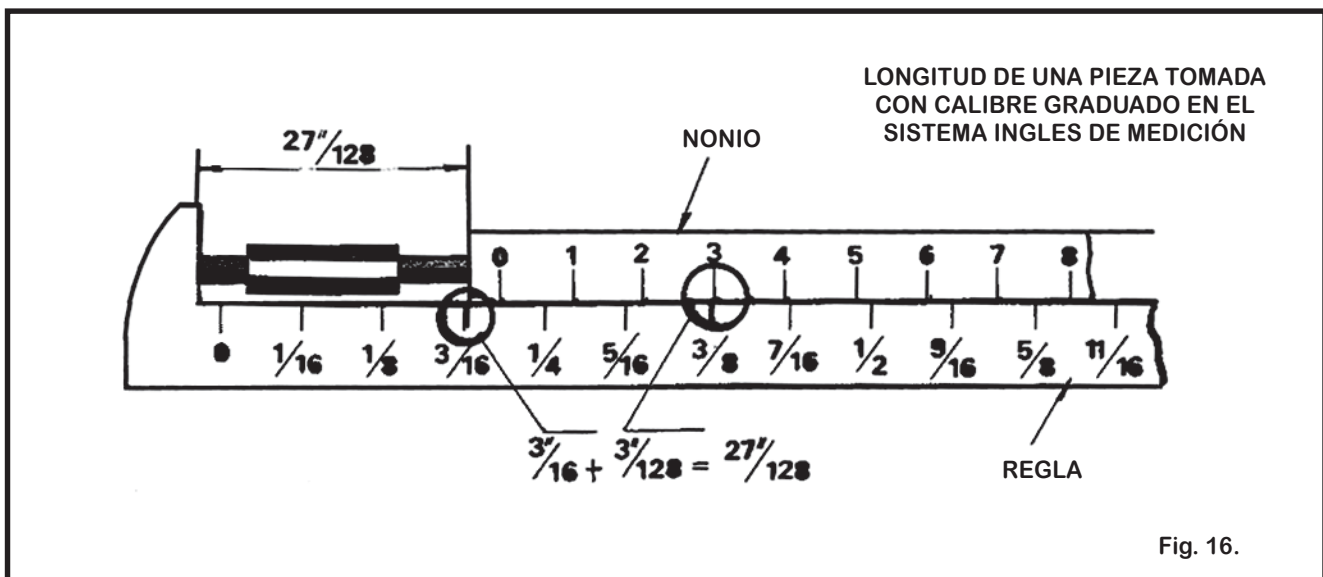
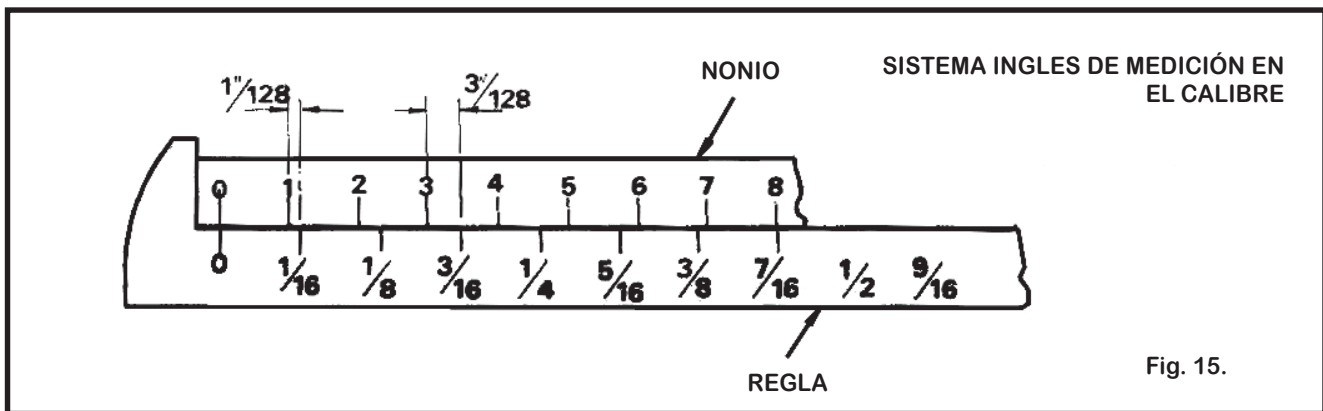
Si bien el sistema inglés de medición se está dejando de lado paulatinamente, es conveniente que el técnico conozca el mecanismo de medición de un calibre graduado en pulgadas. Por supuesto que es aparentemente complicado ya que las divisiones se encuentran marcadas con quebrados, pero desde el punto de vista práctico, un sencillo razonamiento permitirá entenderlo sin mayores complicaciones.

En principio, debemos recordar que la regla graduada está marcada en pulgadas y que cada pulgada se encuentra dividida en 16 partes iguales. El nonio tiene 8 divisiones o marcas exactamente iguales, éstas tienen una lon-

gitud equivalente a «siete» divisiones de la regla. Es necesario prestar especial atención a lo indicado anteriormente, por ese motivo le aconsejamos observar detenidamente la figura 15.

Sin ánimo de repetir la explicación, es necesario antes de seguir adelante comprobar lo dicho, o sea, el nonio (dibujado en la parte superior) tiene «ocho» divisiones, al hacer que coincidan ambos zeros (regla y nonio) la octava división del nonio se encuentra exactamente sobre la séptima división de la regla.

La longitud del nonio cubre 7 de las 16 partes en que se dividió cada pulgada, por ese motivo si dividimos esa longitud por las ocho divisiones del nonio llegamos a la conclusión de que cada división del nonio equivale a $7/128$ de pulgada.



Es evidente que a esta altura de la explicación, la situación se está complicando, por lo tanto vemos la conveniencia de recordar en forma simple cómo se realiza una división con quebrados, en nuestro caso teníamos que dividir 7/16 por 8. Veamos cómo se procede:

$$\frac{7}{16} \div \frac{1}{8} = \frac{7}{128}$$

Es decir, se multiplica el dividendo por el divisor invertido.

De acuerdo a explicaciones anteriores cada una de las divisiones del nonio tiene una longitud levemente inferior a la longitud de las divisiones de la regla, para establecer cuál es la diferencia entre ambas debemos restarlas lo que hace necesario igualar los denominadores, o sea, buscar un denominador común, ya que de lo contrario la resta no tiene sentido.

Insistimos en esto último, por ejemplo, no puede restarse 1/2 metro - 1/3 metro sin reducir todo a centímetros (u otra unidad).

En concreto, debemos restar 1/16 - 7/128, lo que hace necesario «convertir» la fracción 1/16 en otra fracción que permita la resta, para ello multiplicamos numerador y denominador por «ocho».

$$\frac{1}{16} \times \frac{8}{8} = \frac{8}{128}$$

«convertida» ya la fracción 1/16 en 8/128, lo que es lo mismo porque se multiplicó numerador y denominador por el mismo número, estamos en condiciones de hacer la resta con lo que intentamos saber la diferencia de longitud entre una división de la regla con respecto a una división del nonio.

Longitud de una división de la regla - Longitud de una división del nonio

$$= \frac{8}{128} - \frac{7}{128} = \frac{1}{128}$$

¡Por fin llegamos a la operación final! El resultado equivale a decir que la menor medida que registra este instru-

mento representa 1/128 de pulgada. Vemos que el sistema inglés de medición aplicado al calibre pie de rey es evidentemente más complejo que en caso de usarse el sistema métrico decimal, pero consideramos importante que el lector sepa realizar mediciones con la menor dificultad posible, por ese motivo, utilizaremos la figura 16 para explicar cómo se mide en este caso.

Se trata de medir la longitud de una pieza, tal como lo muestra la figura, la fracción 3/16 es la inmediata anterior al cero del nonio, por lo tanto contamos ya con la fracción principal.

A continuación, buscamos dos marcas coincidentes (para mayor claridad están encerradas en un círculo); vemos que esto ocurre con la marca 3 del nonio significando que se deben agregar 3/128 de pulgada a la fracción considerada anteriormente.

En resumen, se debe sumar la fracción inmediata anterior al cero del nonio más la que resulte de la coincidencia de marcas, estas dos situaciones están indicadas mediante círculos en la figura 16.

Veamos cómo efectuar la suma:

Multiplicamos por ocho el numerador y denominador de la primera fracción para equipararla con la otra,

$$\frac{3}{16} \times \frac{8}{8} = \frac{24}{128}$$

luego procederemos a sumar las dos fracciones

$$\frac{24}{16} + \frac{3}{128} = \frac{27}{128} \text{ de pulgada}$$

o lo que es lo mismo $27''/128$.

Compás de corredera o calibre con precisión de milésima de pulgada.

En este caso, cada pulgada está dividida en diez partes

iguales y cada una de éstas contiene cuatro divisiones, la distancia comprendida entre dos marcas consecutivas es de $1/40$.

El nonio tiene 25 divisiones iguales que corresponden a 24 de la regla fija, esto significa una aproximación de una milésima de pulgada ya que la fracción $1/40$ es dividida en 25 partes iguales, en la figura 17 se muestran las características mencionadas.

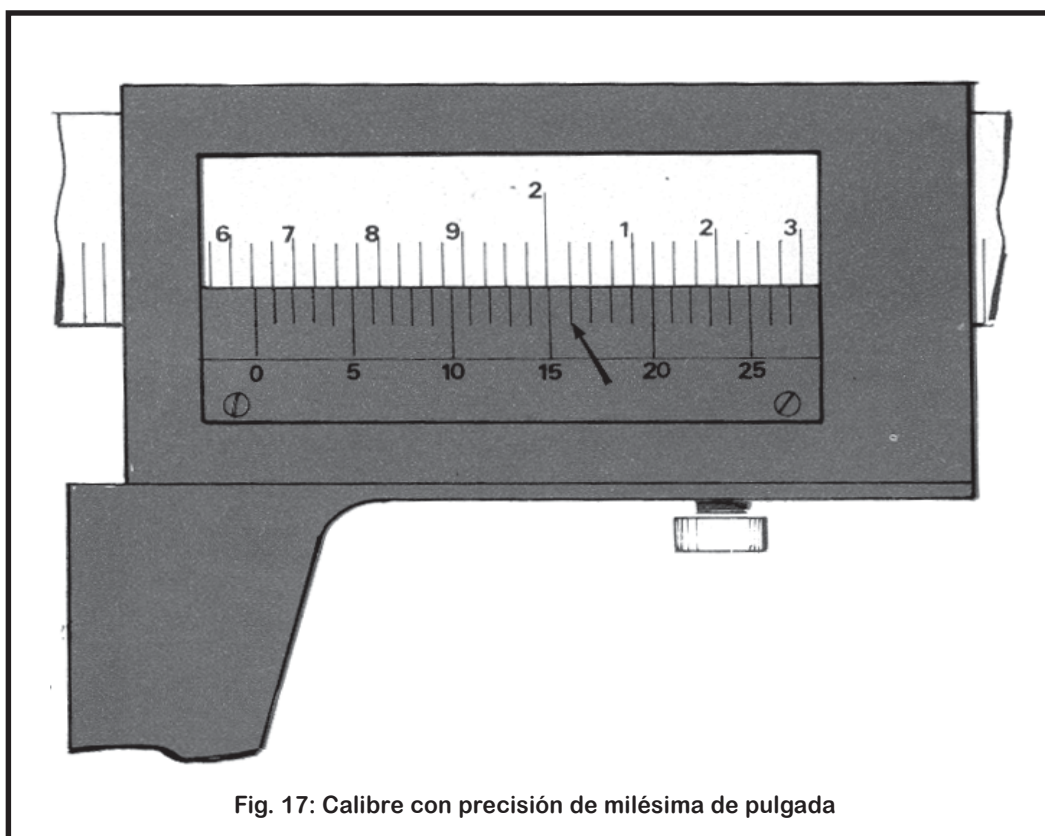


Fig. 17: Calibre con precisión de milésima de pulgada

