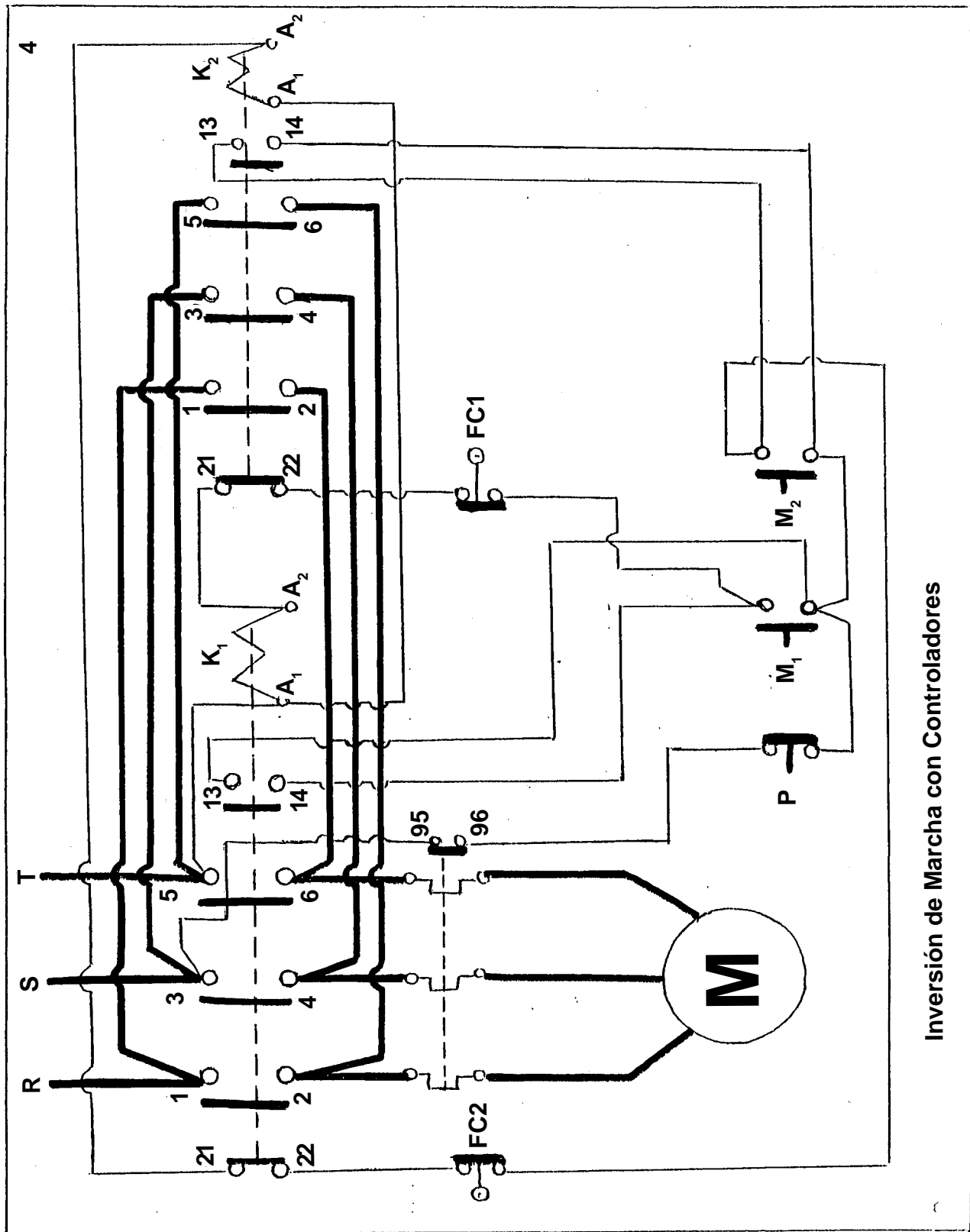


escuela **INTEGRAL** **AUTONOMA** **DE ENSEÑANZA**

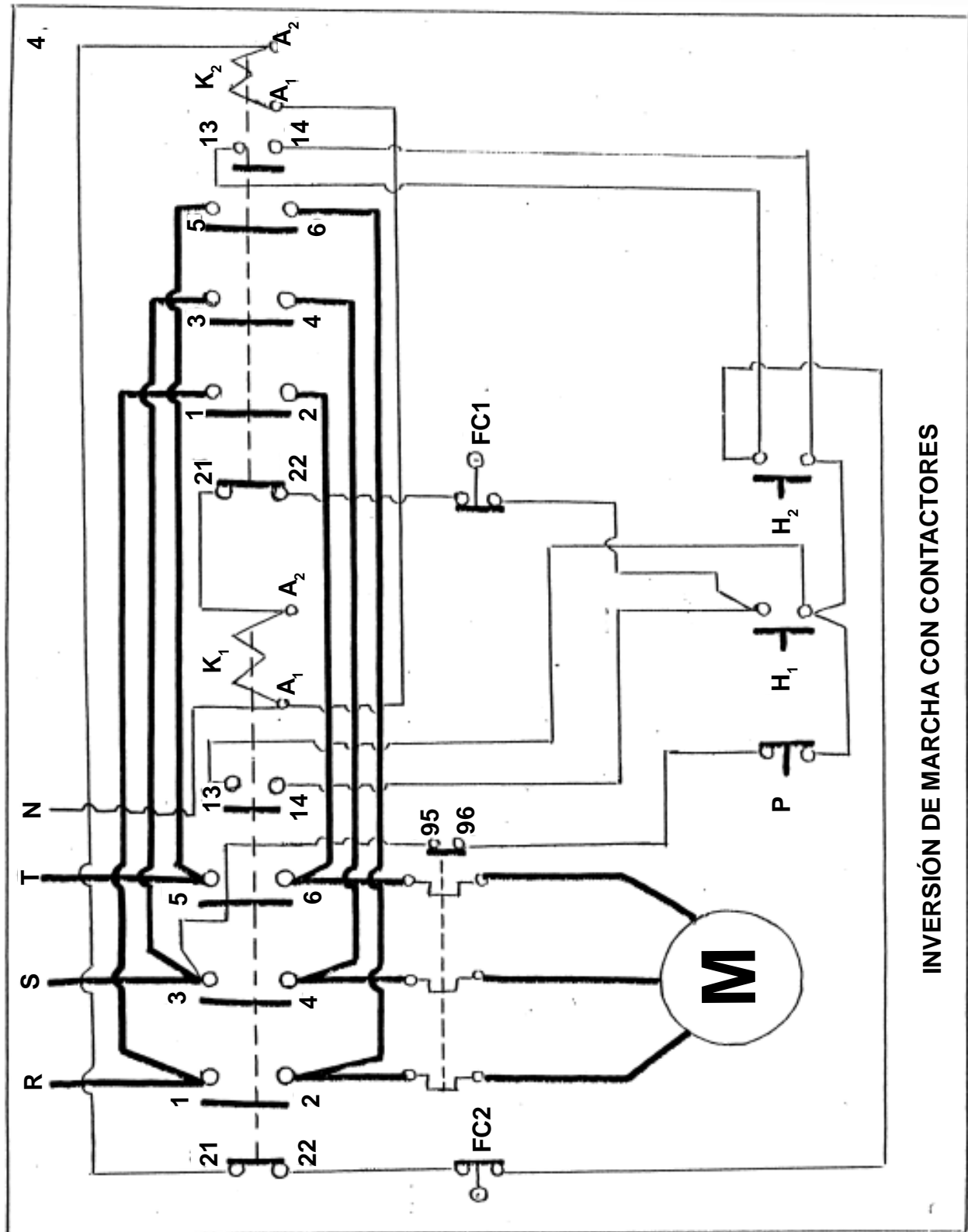
Escuela Integral Autónoma de Enseñanza

Unidad 9





Inversión de Marcha con Controladores



INSTALACIONES DE FUERZA MOTRIZ

En esta oportunidad trataremos los detalles relativos a las instalaciones de fuerza motriz, es decir, nuestro objetivo consistirá en elegir los conductores adecuados según sea la potencia de los motores y la longitud de las líneas.

Aparentemente se trata de una tarea sencilla ya que básicamente la sección de los conductores a utilizar depende de la corriente que los mismos deben transportar. Sin embargo es preciso considerar que el cálculo de dichas corrientes no es simple ya que en él intervienen las características eléctricas de los motores, como así también las de la red de alimentación que se utiliza.

Aunque anteriormente hemos considerado los detalles relativos a la potencia eléctrica, nos vemos obligados a realizar una ampliación del tema, ya que en dicha oportunidad tratamos la potencia que se desarrolla en circuitos resistivos alimentados con corriente continua. Evidentemente no es este nuestro caso, ya que nos es imprescindible conocer las características de la potencia en circuitos inductivos alimentados con corriente alterna.

Potencia en corriente alterna

Como se recordará, para calcular la potencia que se disipa en una resistencia se multiplica la tensión aplicada a sus extremos por la intensidad que la recorre. La simplicidad de esta operación se debe a que en un circuito resistivo toda la potencia entregada por el generador se disipa en forma de calor, pero no ocurre lo

mismo en un circuito inductivo ya que las bobinas parte de la energía recibida la almacenan en forma de campo magnético, disipando únicamente la que corresponde a la resistencia propia del alambre.

Dado que en una bobina la intensidad atrasa con respecto a la tensión aplicada, no es posible calcular la potencia disipada en la misma con la fórmula $W = E \times I$. Por ese motivo, dado que la tensión y la intensidad no se encuentran en fase es necesario multiplicar el resultado de $E \times I$ por el llamado "factor de potencia".

El factor de potencia. Para interpretar el significado práctico del factor de potencia debemos recurrir a algunas sencillas representaciones vectoriales. Comenzaremos por analizar un circuito resistivo como el representado en la figura 1. En dicho circuito un generador de tensión alterna alimenta a una resistencia; como sabemos, una resistencia; como sabemos, una resistencia únicamente limita a la corriente, por lo tanto, si en determinado momento la tensión del generador crece simultáneamente también lo hace la intensidad de corriente.

Por supuesto que si en otro instante la tensión del generador disminuye, también lo hará la intensidad. Esto nos lleva a decir que en los circuitos resistivos la Intensidad y la Tensión siempre se encuentran en fase.

Esta situación eléctrica suele representarse en dos formas distintas, tales como las que acompañan al circuito de la figura 1. En el primer caso, sobre un eje de tiempo, se representan dos ondas, una de ellas indica la tensión que el generador proporciona a la resistencia, la otra señala las características que presenta la corriente producida por la onda de tensión.

Del simple análisis de la figura se deduce que ambas

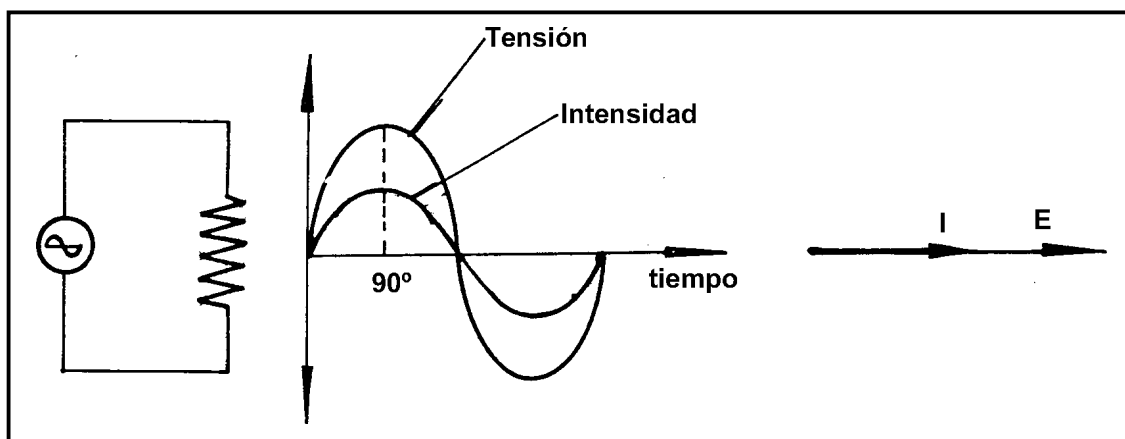


Fig.1: En los circuitos resistivos, la intensidad se encuentra en fase con la tensión.

ondas se encuentran en fase ya que las mismas crecen o decrecen simultáneamente. Otra manera de representar esta situación es mediante el uso de vectores, tales como se observa, ambos, el de tensión y de intensidad, se representan superpuestos sobre una misma línea y guardando idéntico sentido. Como se recordará, la longitud de estos vectores se indica de acuerdo a una escala elegida previamente.

Circuito inductivo

En la figura 2 suponemos que el mismo generador entrega tensión a un circuito inductivo puro, o sea, se trataría de una bobina ideal ya que no posee resistencia óhmica alguna.

En estas condiciones no existe en el circuito disipación de potencia, y el efecto de autoinducción hace que la intensidad atrase un cuarto de ciclo respecto a la

tensión. Como en el caso anterior, esta situación la podemos representar en dos formas. Cuando lo hacemos mediante ondas, vemos que la intensidad comienza a crecer cuando la tensión se encuentra a máximo valor, indicando esto que el atraso de la corriente respecto a la tensión es de 90° (un cuarto de ciclo).

En la representación vectorial el defasaje mencionado se indica colocando el vector Tensión en posición horizontal y el vector Corriente desplazado 90° con respecto al anterior.

Circuito inductivo real

En la práctica, cuando se considera un circuito inductivo se debe tener en cuenta la resistencia del alambre que forma el arrollamiento. Por dicho motivo, en la figura 3 se ha representado un circuito real considerando que la resistencia del alambre queda en serie

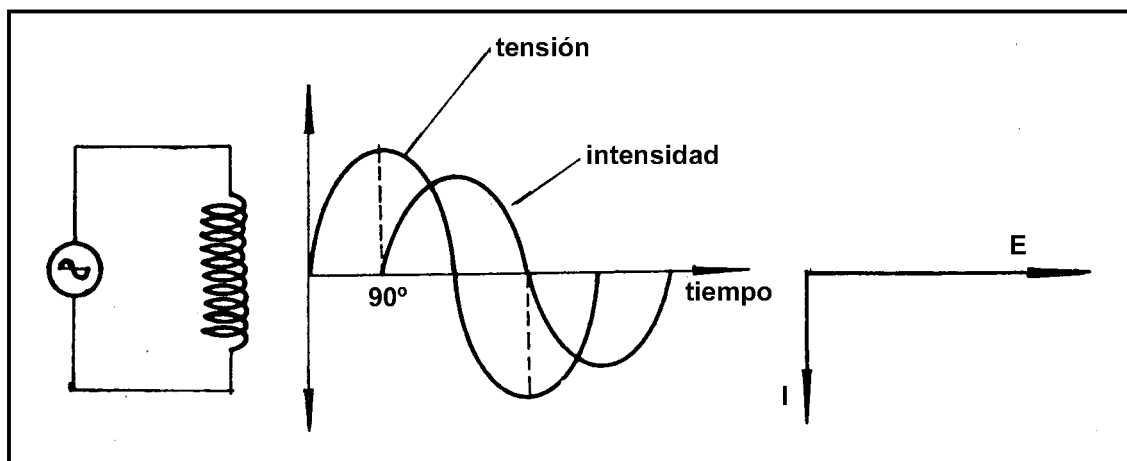


Fig.2: En un circuito inductivo ideal, la corriente atrasa 90° con respecto a la tensión.

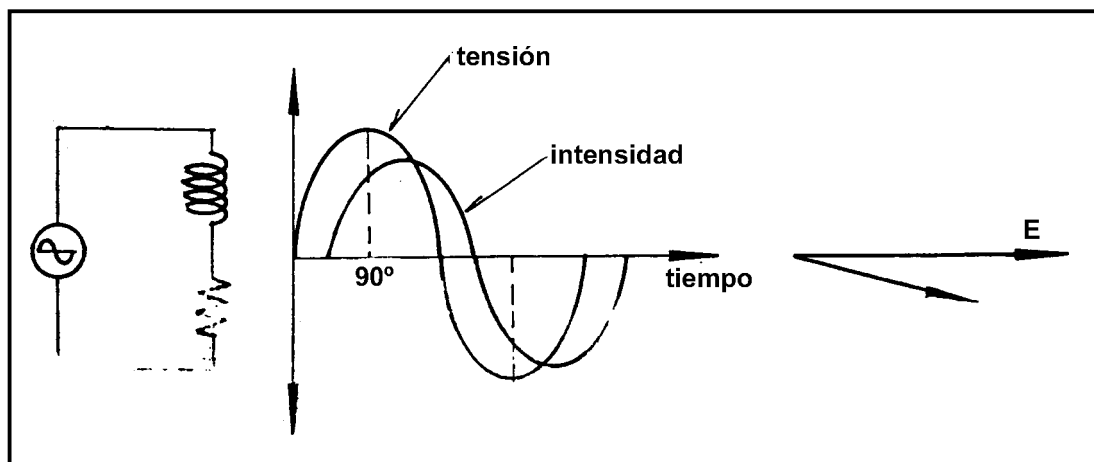


Fig.3: En los circuitos inductivos reales, la intensidad atrasa menos de 90° con respecto a la

con la inductancia. Se interpretará fácilmente que sobre la corriente obran dos "tendencias" eléctrica, es decir, mientras el efecto inductivo tiende a atrasarla 90° , el efecto resistivo tiende a mantenerla en fase con la tensión; por ello, el resultado final de la situación será una corriente con un atraso menor que en un circuito inductivo puro, pero sin llegar nunca a ponerse en fase, como ocurre en los circuitos resistivos.

Por supuesto que la magnitud del atraso dependerá de la relación de valores existentes entre la inductancia y la resistencia, por ejemplo, si la inductancia es elevada y la resistencia del alambre muy baja, predominará el efecto inductivo, por lo tanto, la corriente tiende a atrasar un ángulo cercano a los 90° .

En caso contrario, es decir, cuando la resistencia del alambre es muy grande comparada con la inductancia, predomina el efecto resistivo, y la corriente tiende a ponerse en fase con la tensión.

En las representaciones la figura 3 puede notarse que en el circuito predomina el efecto resistivo, ya que la corriente forma con la tensión un ángulo muy pequeño.

Interpretados estos conceptos utilizaremos la figura 4 con el fin de analizar prácticamente en qué consiste el "coseno fi" también llamado factor de potencia.

Potencia aparente. En el esquema se supone que un motor de corriente alterna se alimenta de la línea llevando como instrumentos de control un Amperímetro y un Voltímetro. Vale hacer notar que para la red de alimentación el motor es una carga inductiva, por lo tanto, en dicho circuito la Intensidad señalada por el Amperímetro no se encuentra en fase con la tensión aplicada.

Si para conocer el valor de la potencia en juego procedemos a multiplicar los valores indicados por los instrumentos, es decir, tensión por intensidad, obtenemos como resultado la potencia tomada por el motor para convertirla en energía mecánica más la que dicho motor "devuelve" a la línea por tratarse de una máquina de características inductivas.

Es evidente que para esta situación el término Potencia no es suficientemente aclaratorio ya que el resultado obtenido no representa la energía tomada de la línea para realizar un trabajo mecánico determinado. Por ello al producto tensión por intensidad se lo denomina Potencia aparente, acostumbrándose en la práctica a indicarla con las letras VA.

Potencia activa. Representa la cantidad de energía que realmente el motor utiliza durante su funcionamiento.

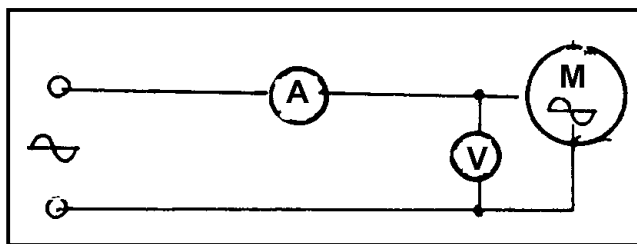


Fig.4: El producto de la lectura del instrumento, indica la potencia aparente.

to. Es sabido que un motor convierte energía eléctrica en mecánica por intermedio de sus arrollamientos y que éstos inevitablemente poseen una cierta resistencia eléctrica. Estas dos situaciones permiten deducir que la potencia activa representa la suma de la energía disipada en la resistencia de los arrollamientos más la empleada en producir trabajo mecánico.

Cómo calcular la Potencia activa

Si nos remitimos nuevamente a la figura 4 observamos que al multiplicar la lectura señalada por los instrumentos se obtiene la Potencia aparente. En la práctica interesa más conocer el valor de la potencia activa ya que es la que realmente consume el motor. Es entonces de suma importancia disponer de un método que nos permita calcular la Potencia activa; para ello es necesario analizar el diagrama vectorial que se representa en la figura 5.

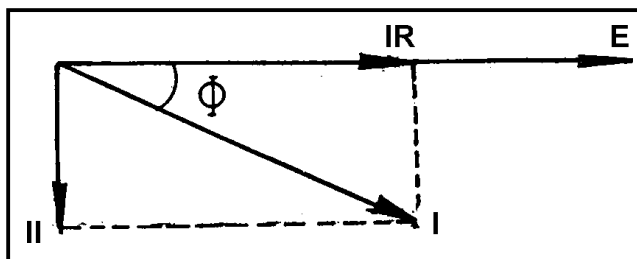


Fig.5: Diagrama vectorial de un circuito inductivo real.

La intensidad circulante señalada por el Amperímetro (I), está compuesta por aquella destinada al consumo real y la que el motor, por ser inductivo, devuelve a la línea.

Por estos motivos, la corriente que se devuelve a la línea se representa atrasada 90° con respecto a la tensión y dado su carácter inductivo se la indica II.

Se observará que en fase con la tensión de línea (E) se encuentra IR; sabemos que una corriente en fase con la tensión representa consumo de energía, pero

en el caso que nos ocupa, dicho consumo no se debe en su totalidad a un efecto óhmico propiamente dicho.

En efecto, una mínima fracción de la IR. En la práctica, el valor de la tensión de línea es un factor conocido, por lo tanto basta averiguar la magnitud de IR; para ello es imprescindible utilizar tablas que resumen un procedimiento geométrico que pasamos a analizar.

Coseno fi

Observemos la figura 6, se trata de una construcción muy elemental que nos permitirá interpretar en qué consiste el coseno fi (cos ϕ). Sobre el borde de una mesa se ha fijado una regla de un metro de longitud, un brazo móvil, también de un metro de largo, puede girar libremente sobre uno de sus extremos, llevando en el opuesto un hilo que sujeta una plomada.

Pongamos en funcionamiento el mecanismo. Coloquemos por el momento el brazo giratorio en posición horizontal. Nuestra atención ha de dirigirse únicamente al punto en que el hilo pasa sobre la regla fijada al borde de la mesa.

Dado que el brazo giratorio tiene la misma longitud que la regla, es evidente que el hilo señalará sobre esta última una "lectura" de 1 m.

Pero a medida que elevamos el brazo móvil, el hilo va pasando por diversas divisiones de la escala, aproximándose al eje de rotación, hasta que finalmente, cuando el brazo alcanza la posición vertical, dicho hilo señalará el valor cero.

Como observará el lector, para cada uno de los ángulos que forma durante su desplazamiento el brazo con respecto a la regla, el hilo indica un determinado valor, que pasa a recibir el nombre de coseno de dicho ángulo.

Por ejemplo cuando el ángulo es cero grado, o sea, cuando se superponen la regla y el brazo móvil, el coseno resulta ser la unidad. Por el contrario, si el ángulo es de 90°, el coseno vale cero. Para ángulos comprendidos entre cero y noventa grados, el coseno toma valores intermedio, por ejemplo, en la figura 6, para un ángulo de 45°, el coseno vale 0,707 y para un ángulo de 15° corresponde un valor de 0,966.

En la tabla siguiente se indican los valores correspondientes al coseno de los ángulos comprendidos entre cero y noventa grados tomados en intervalos de 5°.

Valores de cos. ϕ para ángulos comprendidos entre 0° y 90°

Angulo ϕ	Cos ϕ	Angulo ϕ	Cos ϕ
0°	1,000	50°	0,642
5°	0,996	55°	0,573
10°	0,984	60°	0,500
15°	0,965	65°	0,422
20°	0,939	70°	0,342
25°	0,906	75°	0,258
30°	0,866	80°	0,173
35°	0,819	85°	0,087
40°	0,766	90°	0,000
45°	0,707		

Vale decir que la tabla de cosenos se ha realizado de ex profeso partiendo de una regla y un brazo móvil de un metro de longitud, de esta manera se facilitan los cálculos. Por ejemplo, si el brazo inclinado forma con la regla horizontal un ángulo de 45°, la lectura sobre la regla indica 0,707 m cuando dicho brazo tiene un metro de longitud.

¿Pero que ocurre si el brazo es más largo? Ante esta situación, la lectura sobre la regla horizontal equivale a multiplicar la longitud del brazo por el coseno del ángulo. Es oportuno resolver un ejemplo: si el brazo móvil tiene una longitud de 12 metros y forma con la horizontal un ángulo de 45°, la lectura sobre la regla será:

longitud sobre regla = largo del brazo móvil x coseno del ángulo

$$\text{longitud sobre regla} = 12 \times \cos. 45^\circ$$

$$\text{longitud sobre regla} = 12 \times 0,707 \\ 8,48 \text{ m.}$$

¿Qué importancia tiene el cálculo de la longitud sobre la regla? Para interpretarlo debemos comparar la construcción de la figura 6 con el diagrama de la figura 5. El brazo móvil estaría representado por la I que señala el Amperímetro, mientras que la lectura sobre la regla horizontal corresponde a IR.

Dado que en los motores el coseno fi está indicado

por el fabricante, para determinar la potencia activa bastará realizar la siguiente operación:

$$\text{Potencia activa} = E \times I \times \cos.\phi$$

Veamos un caso práctico

Procederemos a calcular la intensidad de corriente necesaria para el funcionamiento de dos motores que a pesar de entregar la misma potencia mecánica tienen distinto factor de potencia.

Supongamos que se trata de dos máquinas, que de acuerdo a lo indicado por el fabricante, conectadas a una tensión de 220 Volt, entregan 100 HP, presentando una de ellas un $\cos \phi$ de 0,80 y la otra un $\cos \phi$ de 0,50.

Debemos tener presente que 1 HP equivale a 746 Watt, por lo tanto la potencia de los motores que nos ocupan, expresada en Watt, resulta ser

$$\text{Potencia activa} = 746 \times 100 = 74600 \text{ W}$$

Conociendo el valor de la potencia activa, o sea, entendiendo que 74600 Watt es el consumo necesario para que los motores entreguen 100 HP, es muy importante calcular la Intensidad de corriente que utilizará cada uno, de acuerdo al factor de potencia que posee.

Tal como se explicó al comenzar esta lección, la Potencia activa resulta de multiplicar, la tensión, por intensidad de corriente y por el factor de potencia. Si en dicha fórmula, reemplazamos cada término por los valores conocidos, nos queda para el primero de los motores

$$\begin{aligned} \text{Potencia activa} &= E \times I \times \cos.\phi \\ 74600 &= 220 \times I \times 0,80 \end{aligned}$$

Dado que nos interesa conocer el valor de la corriente, en la fórmula anterior bastará con "pasar" a la izquierda del signo igual los valores conocidos ubicados a la derecha de dicho signo. De este proceso resulta

$$\frac{74600}{220 \times 0,80} = 424 \text{ Amper (aproximadamente)}$$

¿Qué ocurre con el segundo motor? Es evidente que debemos aplicar el mismo procedimiento, teniendo en cuenta que su $\cos \phi$ es menor. Por lo tanto, la corriente

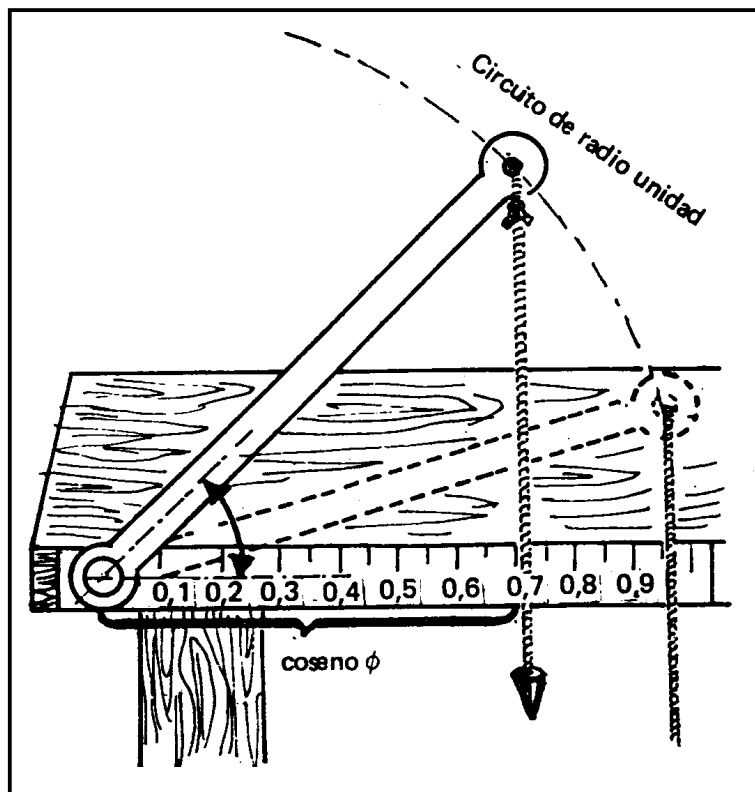


Fig. 6: A medida que el brazo móvil se acerca a la posición vertical, el coseno se reduce.

que éste utilizará para entregar 100 HP será:

$$I = \frac{\text{Potencia activa}}{E \times \cos.\phi} = \frac{74600}{220 \times 0,50} = 678 \text{ Amper}$$

Conclusiones: los cálculos realizados tienen como único fin demostrar la importancia práctica del factor de potencia.

En efecto, a pesar de que los dos motores entregan la misma potencia, aquel que tiene un coseno de ϕ comparativamente bajo, tomará de la línea, una corriente más elevada. Recuerde que de acuerdo a los cálculos resultó:

$$\text{Motor 1 - } \cos.\phi = 0,80 \dots\dots\dots 424 \text{ Amper}$$

$$\text{Motor 2 - } \cos.\phi = 0,50 \dots\dots\dots 678 \text{ Amper}$$

Resulta evidente que para una misma potencia el segundo motor necesita utilizar $678 - 424 = 254$ Amper más que el primero.

La diferencia de corriente utilizada es suficientemente apreciable como para señalar dos ventajas para un

coseno fi alto.

1) Para el usuario: dado que una determinada potencia demanda una corriente menor, la sección de los conductores de alimentación no debe ser incrementada innecesariamente.

2) Para la productora de energía eléctrica: tanto los generadores como las líneas de alimentación no son sobrecargadas innecesariamente con corrientes que no producen potencia útil alguna.

Potencia trifásica

Como es sabido, la potencia producida por un generador trifásico equivale a la que pueden entregar tres generadores monofásico, cuyas tensiones se encuentran defasadas 120°.

En igual forma, adelantamos que un motor trifásico puede ser comparado con tres motores monofásicos que funcionando simultáneamente reciben tensiones defasadas 120°; un esquema aclaratorio puede observarse en la figura 7, donde se indica la equivalencia mencionada.

En efecto, en A se encuentran conectados a una línea trifásica tres motores monofásicos. Cada uno de ellos lleva una conexión al conductor neutro y la otra a una de las fases; en cierta forma esta situación se repite en el caso B, donde un motor, por tener tres bobinados

dispuestos a 120° y conectados a cada una de las fases, resulta equivalente al conexionado del caso A.

Evidentemente, un motor trifásico entregará una potencia equivalente a tres veces la de un motor monofásico, por lo tanto, si para el caso de los monofásicos la potencia activa resultaba ser: $P \text{ activa} = E \times I \times \cos.\phi$, tratándose de un motor trifásico, la potencia será

$$\text{Potencia trifásica} = 3 \times E \times I \times \cos.\phi$$

Con referencia a la aplicación de esta fórmula, vale tener en cuenta que el valor de tensión utilizado responde a la tensión de fase, o sea, a la existente entre cada una de las fases y el conductor neutro.

Ahora bien, como generalmente el dato que se conoce es la tensión de línea (380 v), en la fórmula anterior, el triplo de la tensión de fase se puede reemplazar por la constante $1,73 \times E \text{ línea}$.

Resumiendo, para calcular la Potencia activa en circuitos trifásicos se utiliza la siguiente fórmula

$$\text{Potencia trifásica} = 1,73 \times E \text{ línea} \times I \times \cos.\phi$$

En forma similar al caso estudiado para potencia monofásica, de esta fórmula se deduce la que permite calcular la Intensidad que tomará un motor de la línea;

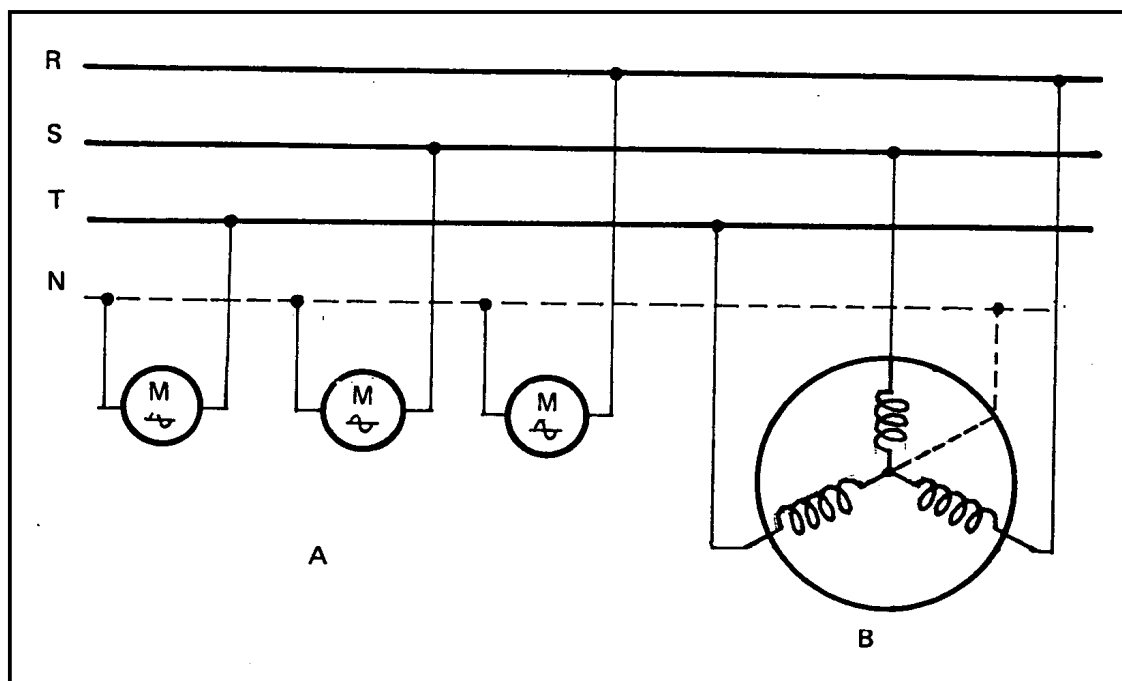


Fig. 7: Conexionado equivalente de un motor trifásico y tres motores monofásicos..

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

realizando el pasaje de términos correspondiente nos queda:

$$I = \frac{\text{Potencia trifásica}}{1,73 \times E \text{ línea} \times \cos.\phi}$$

Con referencia a la importancia práctica de esta fórmula, basta indicar que permitirá determinar la sección de los conductores de la instalación, siempre que sea conocido el $\cos.\phi$.

Como mejorar el factor de potencia

Siendo conocidas las ventajas que representa un factor de potencia elevado, es útil saber en qué forma se lo incrementa, cuando por razones constructivas los motores presentan un $\cos.\phi$ bajo.

Sin entrar en mayores detalles, sabemos que un motor está formado por bobinas, de manera que se comportará como un circuito inductivo. Esta condición se indica en la figura 8, donde el circuito equivalente acompaña el correspondiente diagrama vectorial; como sabemos, la corriente I_L atrasa 90° con respecto a la tensión aplicada, además, dicha corriente debe tener el valor más bajo posible para conseguir un coseno ϕ elevado.

Ahora bien, aunque dicha corriente no puede ser eliminada, es posible reducir sus efectos, introduciendo en el circuito otra corriente que tiende a neutralizar a la anterior.

Para que esto ocurra es necesario que la corriente

agregada adelante con respecto a la tensión, por ello se conecta un capacitor en la forma indicada en la figura 9. Recordando que un capacitor adelanta la intensidad 90° con respecto a la tensión, representamos un diagrama vectorial donde las corrientes de la bobina (I_L) y del capacitor (I_C) se encuentran en oposición.

Como si se tratara de dos fuerzas en oposición, dichas corrientes pueden restarse, deduciendo de la mayor la menor, en esa forma se obtiene la resultante de ambas. El paso siguiente consistirá en encontrar la resultante entre la corriente que circula por la resistencia y la diferencia recién obtenida. Al realizarlo observamos que el ángulo ϕ disminuyó notablemente, lo que indica un aumento proporcional del factor de potencia.

Desde el punto de vista teórico, parece conveniente aumentar el valor de la capacidad, para compensar totalmente el atraso de la corriente provocado por la bobina; pero ocurre que en la práctica se llega a un factor de potencia razonable, comprendido entre 0,7 y 0,9, en forma relativamente fácil, pero, para llegar a la unidad, los aumentos de capacidad deben ser tan grandes que eleva injustificadamente los costos de la instalación.

Elección del capacitor para mejorar el factor de potencia

Estos capacitores se consideran por la potencia que toman de la línea, expresada generalmente en Kilo - volt - amper (KVA). Para evitar complejos cálculos matemáticos se utilizan Tablas que indican los KVA que debe

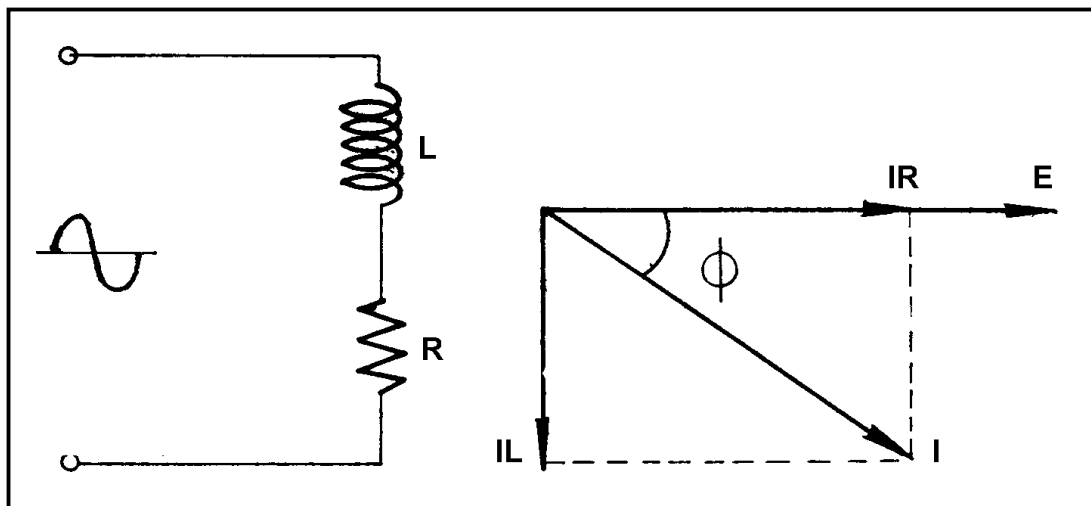


Fig. 8: Diagrama vectorial de un motor de C.A. sin corrección del coseno ϕ .

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

aportar el capacitor por cada Kilowatt de potencia del motor, con el fin de elevar el factor de potencia de un valor bajo a otro más elevado.

I. TABLA PARA EL MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA

Factor de potencia Existente	KVA necesarios por cada KW para elevar el factor de potencia a				
	0,95	0,90	0,85	0,80	0,7
0,20	4,57	4,42	4,28	4,15	4,02
0,25	3,53	3,38	3,24	3,11	2,98
0,30	2,84	2,69	2,55	2,42	2,29
0,35	2,34	2,19	2,05	1,92	1,79
0,40	1,94	1,79	1,65	1,52	1,39
0,45	1,65	1,50	1,36	1,23	1,10
0,50	1,40	1,25	1,11	0,98	0,85
0,55	1,18	1,03	0,89	0,76	0,63
0,60	1,00	0,85	0,71	0,58	0,45
0,65	0,84	0,69	0,55	0,42	0,29
0,70	0,69	0,54	0,40	0,27	0,14
0,75	0,55	0,40	0,26	0,13	-
0,80	0,42	0,27	0,13	-	-
0,85	0,29	0,14	-	-	-
0,90	0,15	-	-	-	-

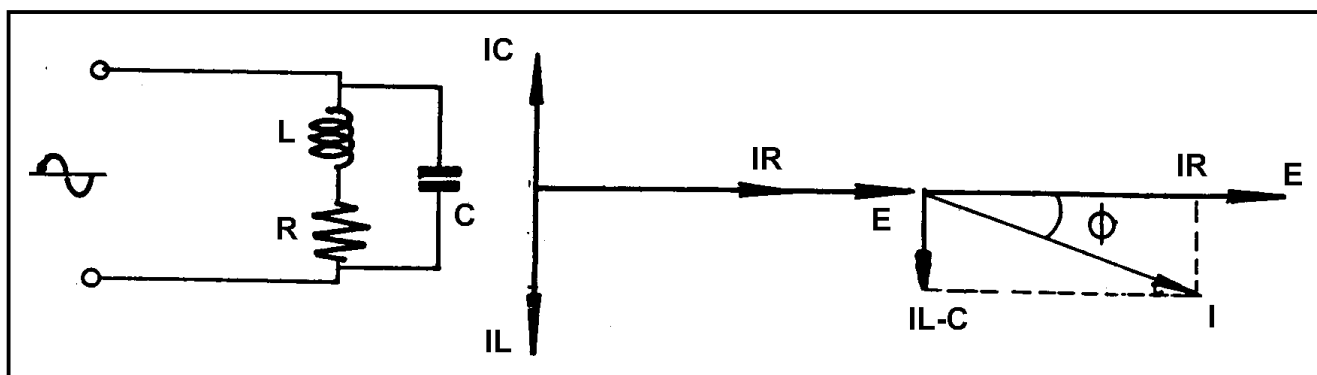


Fig. 9: Diagrama vectorial de un motor de CA, con corrección de coseno ϕ .

Veamos un ejemplo: Si disponemos un motor capaz de consumir 20 KW y posee un factor de potencia de 0,50, para aumentar dicho factor a 0,85 es necesario proceder en la siguiente forma:

1) Se ubica en la primera columna el factor de potencia existente, o sea, 0,50.

2) Sobre la línea horizontal correspondiente a 0,50 buscaremos los KVA necesarios por KW, para el factor de potencia deseado. Por lo tanto en la columna encabezada por el factor de potencia 0,85, encontramos el valor 1,11.

3) Como por cada KW de potencia del motor, el capacitor debe tener 1,11 KVA, deducimos que el capacitor necesario deberá tener una potencia de $20 \times 1,11 = 22,2$ KVA.

4) El valor obtenido, juntamente con la tensión de servicio, son datos suficientes para elegir el capacitor adecuado.

Cálculo de instalaciones para fuerza motriz

Para efectuar el cálculo de instalaciones de fuerza motriz es necesario conocer la potencia de los motores a utilizar, como así también la ubicación de ellos en el edificio.

La sección adecuada para los conductores puede determinarse en forma teórica, para ello será necesario tener los datos de los motores y en el caso de líneas cortas, adoptar dimensiones que permitan a los conductores el máximo transporte de corriente con adecuado margen de seguridad para la instalación.

Cuando se trata de líneas largas es muy importante tomar precauciones que impidan caídas de tensión ex-

cesivas que además de representar una pérdida, reducen la tensión aplicada al motor.

Con el fin de simplificar los cálculos se utilizan tablas prácticas lo que no representa ningún inconveniente ya que los conductores comercializados tienen secciones standard, lo que hace innecesario calcularlas con excesiva precisión.

Ahora bien, se tendrá en cuenta que las tablas mencionadas indican la densidad de corriente que soporta un conductor sin que éste caliente excesivamente, pero no existe aclaración respecto a las caídas de tensión que se producirían por una longitud apreciable, por lo tanto, dichas tablas se utilizan para tramos de instalación de corta longitud.

Determinación de la corriente que toman los motores

Con referencia a la corriente que toman los motores, en la práctica se presentan dos posibilidades. Puede darse el caso de contar con los motores a instalar, si esto ocurre bastará con controlar las chapas de características donde figura la corriente que utiliza el motor. También puede ocurrir que se nos indique la potencia a instalar en HP, en tal condición, estimando un coseno de ϕ comprendido entre 0,7 y 0,8 se procederá a calcular la corriente con el procedimiento explicado en esta lección. Por supuesto que si el coseno ϕ fuera inferior a 0,7 se lo deberá mejorar con el agregado de capacitores.

A continuación transcribimos una tabla que permite, conociendo la potencia del motor, determinar la intensidad que solicita el motor para su funcionamiento normal, así como también la sección correspondiente de los conductores de alimentación y el valor de los fusibles de protección.

2. TABLA PARA CÁLCULO DE LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Potencia		I Sección Fus			I Sección Fus			I Sección Fus		
KW	HP	Monofasico 220V			Trifasico 220 V			Trifásico 380 V		
0.2	0.27	1.7	1	4	1	1	4	0,6	1	4
0.33	0.45	2.5	1	6	1.6	1	4	0,9	1	4
0.5	0.7	3.8	1	6	2.3	1	6	1,3	1	4
0.8	1.1	6.3	1.5	10	3.5	1	6	2	1	6
1.1	1.5	7.4	1.5	15	5	1	6	2,9	1	6
1.5	2	10.8	2.5	15	7	1.5	10	4	1	6
2.2	3	16	4	25	9.5	2.5	15	5,5	1	10
3	4	20	4	35	13	2.5	15	7,5	1,5	10
4	5.5	28	6	35	17	4	20	10	2,5	15
5.5	7.5	41	16	60	23	6	25	13	2,5	20
7.5	10	54	16	60	31	10	35	18	4	20
11	15	75	25	100	48	16	50	28	6	35
15	20	100	50	125	58	25	60	33	10	50
22	30	150	70	200	83	35	100	48	16	60
30	40	200	120	225	100	50	125	57	25	100
40	55	260	150	300	135	70	160	78	35	100
50	68	300	240	350	170	95	200	98	50	125
63	85.5				212	120	225	122	70	160
80	110				273	185	300	158	95	200
100	136				325	240	350	190	120	225

Nota: Los valores de intensidad (I) y fusible (Fus) están dados en Ampere, mientras que los de sección se Encuentran en milímetros cuadrados.

Las secciones se tomarán en cuenta siempre que se trate de tramos de corta longitud, en caso contrario Se determinarán mediante el método de la caída de tensión.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Para una mejor interpretación de la tabla 2 pasamos a considerar un ejemplo sencillo:

Supongamos que se trate de instalar un motor trifásico de 20 HP y que la red de distribución sea trifásica 380 V.

1º) En la columna correspondiente a Potencia en HP buscamos el valor 20.

2º) Sobre el renglón en que se encuentra 20 HP, y en la zona "trifásico 380 V", ubicamos:

I.....33 Amper;

Sección.....10 mm² y

Fus..... 50 Amper

Por lo tanto sabemos que nuestro motor demanda de la red una intensidad de corriente de 33 Ampere, los conductores de la línea de alimentación deberán tener una sección de 10 milímetros cuadrados y los fusibles para protegerla instalación tienen que ser para 59 Ampere.

Si la red de distribución fuera trifásica 220 V., encontraríamos los valores en la zona de la tabla correspondiente a "Trifásico 220 V". Para motores monofásicos se procede de idéntica manera pero utilizando la zona encabezada por "Monofásico 220 V".

Nos hemos ocupado hasta ahora de la determinación de las secciones en el caso que se tratara de líneas cortas, entendiéndose que estas líneas alcanzan como máximo una longitud de 50 metros; pasaremos ahora a considerar el cálculo de la sección de los conductores para el cálculo de la sección de los conductores para el caso de líneas que tengan una longitud mayor de 50 metros.

Cálculo de la sección de los conductores de más de 50 metros.

Si los conductores que forma la línea son de gran longitud, la resistencia que ellos poseen tendrá un valor apreciable, y al ser recorridos por la corriente que demande el motor, se producirá una caída de tensión elevada.

En los bornes del motor, en el otro extremo de la línea, no encontramos la tensión normal de la red de distribución, sino que tendremos una menor que resulta de restarle a la normal, la caída de tensión que se produce en los conductores de alimentación.

Por supuesto esta caída de tensión es perjudicial ya que puede llegar a inutilizar al motor por estar éste funcionando con una tensión inferior a la normal.

Para reducir el valor de la caída de tensión a límites prefijados, será necesario que las líneas largas tengan una sección mayor que las cortas, al ser recorridas por la misma intensidad de corriente.

Los límites máximos admisibles prefijados para las caídas de tensión, están dados en valores porcentuales, siendo usual tomar para líneas que alimentan motores, caídas de tensión de 3%. Esto equivale decir que para líneas de 220 V se admite una disminución de 6,5 V y para líneas de 380 V la tensión puede reducirse 11,5 V.

Existen tablas prácticas que nos permiten determinar la sección de los conductores que producen una caída de tensión de un volt para distintas longitudes e intensidades de corriente que los recorre; una de estas tablas es la que transcribimos a continuación.

Largo de Línea en m.	Corriente en Ampere que produce una caída de tensión de 1 Volt										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Sección de los conductores en mm ²										
50	8	17	34	51	68	85	102	119	136	153	170
60	10	21	41	65	82	102	122	142	163	184	204
70	12	24	48	71	95	119	143	167	191	214	238
80	13	27	54	82	109	136	163	191	218	245	272
90	15	31	61	92	122	15	184	214	245	275	306
100	17	34	68	102	136	170	204	238	272	306	340

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Con el fin de interpretar con sentido práctico la utilización de esta tabla, consideraremos dos casos típicos:

1er. Ejemplo: Supongamos el caso de la instalación de un motor que demanda una intensidad de corriente de 16 Ampere y que requiere una línea de 80 metros de longitud. Al buscar dichos datos en la Tabla 3 hallamos únicamente el correspondiente a la longitud, es decir, 80m. No ocurre lo mismo con el valor de la corriente, ya que ninguna de las columnas correspondientes está encabezada por 16 Ampere.

¿Cómo proceder? Ya que es nuestra intención proteger la línea e impedir una excesiva caída de tensión, nos conviene suponer que la corriente circulante equivale al valor inmediato superior a la que corresponde a nuestra motor.

En la tabla, el valor de corriente inmediato a 16 Ampere se registra en la tercera columna, siendo el mismo de 20 Ampere.

Conocidos en esta forma los valores de longitud de línea y la corriente a transportar por la misma, sobre el renglón correspondiente a 80 m, en el sector encabezado por 20 A, encontramos que 54 mm² de sección, producirán una caída de tensión de un Volt. Tratándose de un motor diseñado para trabajar con 220 Volt, y sabiendo que la caída de tensión máxima admitida en este caso es de aproximadamente 6 volt, será sencillo determinar la sección de conductores a utilizar para no sobrepasar el límite.

En efecto, si para los datos de la instalación, la Tabla 3 indica 54 mm² de sección para provocar 1 volt de caída de tensión, es evidente que para trabajar con aproximadamente 6 volt de caída, los conductores pueden adoptarse con una sección 6 veces menor, ya que al disminuir la sección 6 veces la resistencia de los conductores y las caídas de tensión aumentarán en la misma proporción.

En razón de lo explicado, la sección a utilizar resulta ser $54/6 = 9$ mm². Con respecto al resultado obtenido son importantes dos aspectos prácticos:

1) Los 9 mm² de sección calculados representan la mínima sección a utilizar para que la caída de tensión no exceda los 6 volt, valor considerado máximo para una línea de 220 volt. Si el instalador considera necesario reducir las caídas de tensión, a expensas de un mayor costo de la instalación, colocará conductores de mayor sección.

2) Dado que los conductores se comercializan con secciones de valor normalizado, bien puede ocurrir que el resultado de nuestro cálculo no coincida con ninguno

de ellos. Tal es nuestro caso, por no existir una sección standard de 9 mm², se utilizará la inmediata superior, o sea, 10 mm².

2do. ejemplo: también puede ocurrir que el valor correspondiente a la longitud de la línea no figure en la tabla. En ese caso se deberá recordar que la resistencia de un conductor aumenta con su longitud y disminuye con la sección, concepto que permite hallar fácilmente la solución. Por ejemplo, si la longitud de los conductores es de 250 metros y deben transportar 10 ampere, procedemos como sigue.

Se busca en la primera columna de la Tabla 3 una longitud que en lo posible esté contenida un número entero de veces en el largo de nuestra instalación. Por ejemplo, 50 metros están contenidos 5 veces en los 250 metros que tiene nuestra línea.

Tomando como base ese valor (50 m), realizamos el cálculo de la sección para la caída deseada. Vemos que en el renglón correspondiente a 50m, en la segunda columna, correspondiente a 10 Ampere, encontramos que una sección de 17 mm² produce una caída de 1 Volt. Si como en el caso anterior deseamos mantenernos en el límite de 6 Volt de caída de tensión, la sección se reducirá 6 veces, resultando ser: $17/6 = 3$ mm² aproximadamente.

El resultado obtenido correspondería a una instalación de 50 metros de longitud, pero como nuestra línea es cinco veces más larga presentará una resistencia cinco veces mayor, lo que se compensa utilizando conductores cinco veces más gruesos.

En nuestro caso, $3 \times 5 = 15$ mm² de sección. Dado que esta sección no está normalizada, utilizaremos la inmediata superior, 16 mm².

Cálculo práctico de una instalación completa de fuerza motriz.

En la figura 10 se muestra el plano de la instalación de fuerza motriz de un pequeño taller ubicado en la parte posterior de un terreno que tiene 20 metros de frente por 70 de largo.

El taller está ubicado en un recinto de 20 m de ancho y 10 de largo, en él se encuentran ubicados tres motores de 3, 10 y 7 HP que respectivamente los identificamos como M1, M2 y M3. Los tableros de comando de dichos motores responden a la misma numeración y se los señala como T1, T2 y T3.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

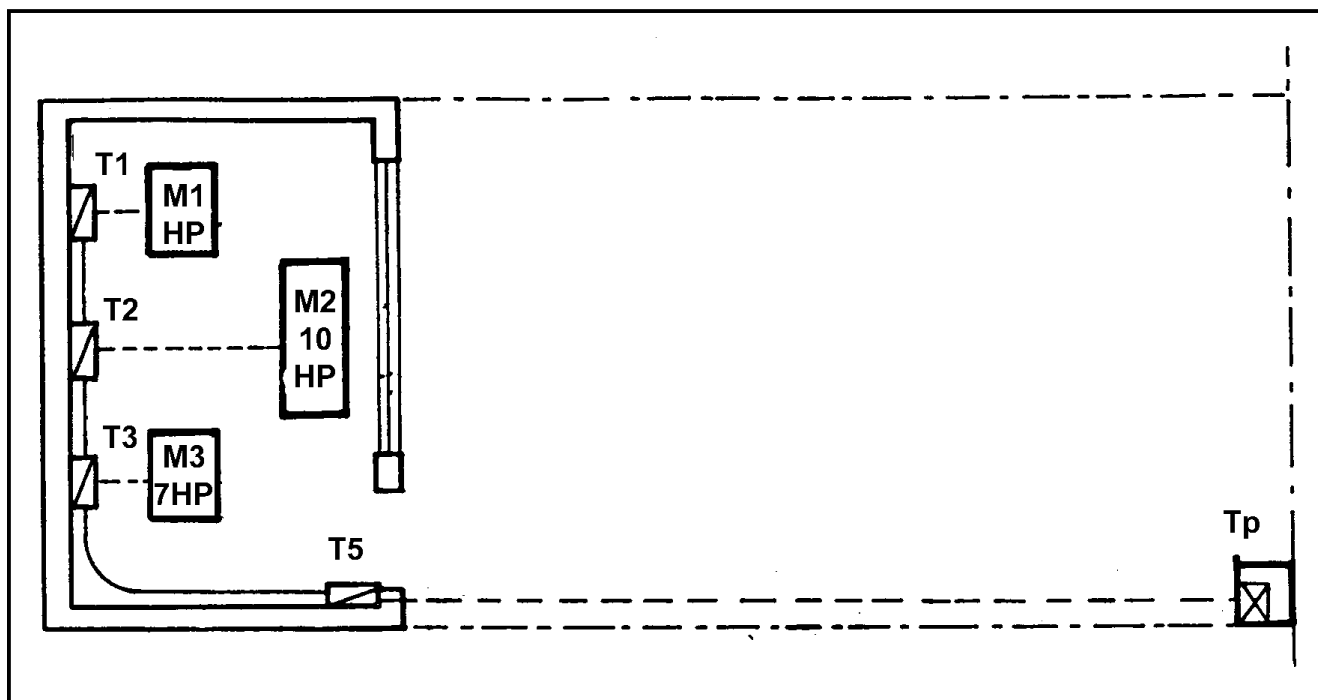


Fig. 10: Plano de una instalación de fuerza móvil.

El local, lleva un tablero seccional (Ts.) que recibe alimentación de la red de distribución trifásica 3 x 380 V a través del tablero principal (Tp) que se encuentra en el frente del terreno. Dadas las dimensiones del local, la sección de los conductores de los tramos de instalación internos se determinan con ayuda de la Tabla 2 para líneas cortas ya que poseen menos de 50 metros de longitud.

No ocurrirá lo mismo con el tramos subterráneo que une el tablero seccional (Ts), con el tablero principal (Tp), ya que su longitud es de 60 metros debiéndose la considerar como línea larga.

El proceso a seguir para la determinación de la sección de los conductores es el siguiente:

1) *tramo de M1 a T1.* Este tramo alimenta solamente al motor de 3 HP por lo tanto, en la Tabla 2, para dicho valor en la columna de corriente trifásica - 380 Volt, encontramos que la sección del conductor debe ser 1 mm² y los fusibles a instalar en el tablero 1 (T1) serán de 10 Ampere.

2) *Tramo de T1 a T2.* Dado que por ese tramo se desplaza la corriente que demanda el motor 1 (M1), la sección de los conductores será idéntica a la del tramo anterior.

3) *Tramo de M2 a T2.* Este tramo alimenta solamente al motor de 10 HP, por lo tanto, en la Tabla 2, para dicho valor, en la columna de corriente trifásica -

380 Volt, encontramos que la sección de los conductores debe ser 4 mm² y los fusibles a instalar en el tablero 2 (T2) serán de 20 Ampere.

4) *Tramo de T2 a T3.* Como se observa en el plano de la figura 10, la corriente que recorre este tramo es solicitada por dos motores que suman 13 HP. En la tabla 2 no figura el valor de potencia que demandan conjuntamente M1 y M2, por lo tanto adoptamos el valor inmediato superior que resulta ser 15 HP. Para dicho valor, en la columna - trifásico 380 V - encontramos que la sección de los conductores deben ser de 6 mm².

5) *Tramo de M3 a T3.* Este tramo alimenta solamente al motor de 7 HP, por lo tanto, en la Tabla 2, por no encontrarse dicho valor, consideramos el inmediato superior, es decir, 7,5 HP. En el renglón correspondiente a este valor, en la columna - trifásico 380 V -, encontramos que la sección de los conductores debe ser 2,5 mm² y los fusibles a instalar en el tablero 3 (T3) serán de 20 Amper.

6) *Tramo de T3 a Ts.* Este tramo es recorrido por la corriente que demandan los tres motores trabajando simultáneamente por lo tanto la sección de los conductores se determinará tomando como base la potencia que consumen los tres motores. Siendo esta 20 HP, en la Tabla 2, en la columna - trifásico 380 V, encontramos que la sección de los conductores debe ser

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

10 mm² y los fusibles a instalar en el tablero seccional (Ts) de 50 Ampere.

7) *Tramo de Ts a Tp*. Es evidente que la intensidad de corriente que recorre este tramo resulta ser la misma que en el tramo anterior, pero por ser el tramo que nos ocupa de una longitud mayor de 50 m, la sección de los conductores se determinará con la ayuda de la Tabla 3.

Dado que para utilizar esta tabla es necesario conocer la intensidad total de la instalación, con ayuda de la tabla 2 obtenemos los siguientes valores parciales:

3 HP	5,5 Ampere
7 HP	13 Ampere
10 HP	18 Amperes,
	36,5 Ampere

Siendo la Intensidad total 36,5 Ampere y el largo de la línea de 60 metros, sobre el renglón de este valor y en la columna correspondiente a 40 Ampere (ya que 36,5 A no figura en la tabla) encontramos que la sección de los conductores necesaria para provocar una caída de tensión de 1 Volt, es de 82 mm².

Aunque la máxima caída de tensión admisible en líneas de 380 V es 11,5 V, a los efectos de un mejor aprovechamiento de la energía, adoptaremos una caída de solamente 6 volt. Sabiendo que una sección de 82 mm² determina una caída de tensión de 1 volt y admitiendo para este tramo una caída de 6 Volt, es evidente que la sección de los conductores deberá ser seis veces menor, o sea $82/6 = 13,6$ mm².

Entendiendo que dicha sección no es normalizada, se elige la inmediata superior, o sea, 16 mm².

Con referencia a los fusibles del tablero principal, éstos deberían ser del mismo valor que los del tablero seccional, ya que la corriente que circula por ambos tableros es la misma, pero es conveniente, que éstos soporten una corriente algo mayor, de forma tal que ante una sobrecarga se fundan los del tablero seccional, y no los del tablero principal.

No es necesario destacar la enorme importancia práctica de los temas tratados en esta lección, le sugerimos estudiarla detenidamente y contestar el cuestionario adjunto, remitiéndolo para su control y calificación.