

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

Escuela Integral Autónoma de Enseñanza

Unidad 9

LÁMPARAS DE DESCARGA

Continuando con el estudio de las fuentes de luz artificiales, consideraremos en esta oportunidad las lámparas eléctricas de descarga gaseosa, tales como las de vapor de sodio, vapor de mercurio y fluorescentes de cátodo frío y cátodo caliente; además realizaremos un proyecto de iluminación interior.

CONSIDERACIONES PREVIAS

Las lámparas de descarga gaseosa difieren fundamentalmente de las incandescentes, la única similitud que existe entre ambas, es que son fuentes luminosas y en las dos la luz es producida por electricidad. Como sabemos, la lámpara incandescente basa su funcionamiento en la emisión de radiaciones provocadas por la circulación de corriente en un filamento adecuado, conectado directamente a la red alimentación. No ocurre lo mismo con las lámparas de descarga, ya que necesitan un dispositivo para limitar la corriente que circula a través de ellas, entendiéndose que este dispositivo cumple las funciones que en la lámpara incandescente están a cargo del filamento.

Principios fundamentales: El principio de funcionamiento de las lámparas de descarga, se basa en el pasaje de corriente eléctrica a través de un gas. Por lo común los gases no son conductores eléctricos y solamente bajo ciertas circunstancias un gas se hace conductor. El hecho de establecerse una corriente eléctrica en un gas hace suponer el desplazamiento de cargas eléctricas, sabemos que en un metal conductor de corriente consiste en el movimiento de electrones libre, pero si los gases no son conductores, es evidente que la circulación de una corriente tiene que ser provocada por otras causas.

En los gases se encuentran electrones libres en cantidades muy reducidas y para provocar una corriente eléctrica de apreciable intensidad, es necesario producir electrones libres adicionales. Es de suponer que la cantidad de electrones libres contenidos en un cierto volumen de gas, alcanza para permitir una débil corriente cuando se aplica una tensión.

En la figura 1 se observa el esquema de una lámpara de descarga elemental, está formada por una ampolla de vidrio que contiene gas en su interior en cada extremo se ubica un electrodo con el terminal destinado a

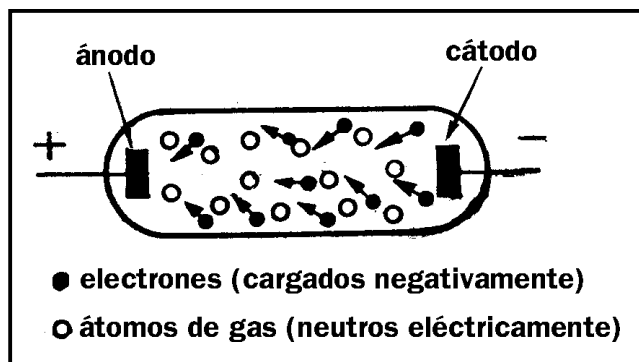


Fig. 1: Circulación de electrones en una lámpara de descarga.

recibir corriente de la línea. Si en un instante determinado dichos electrodos presentan la polaridad indicada en la figura, los electrones libres que se encuentran dentro del tubo (puntos negros) se ponen en movimiento. Ahora bien, debido a su carga negativa, son atraídos por el electrodo positivo y rechazados por negativo (llamados respectivamente ánodo y cátodo), originando esto una débil circulación de corriente.

En tal situación, los electrones en movimiento chocan con los átomos de gas, dando lugar a un proceso, que sintetizado, se produce como sigue:

- 1) Inicialmente el impacto es leve; debido a su reducida velocidad, los electrones son desviados de su trayectoria, cediendo una pequeña porción de su energía al átomo. A consecuencia de ello se incrementa la energía de los átomos, aumentando la temperatura del gas.
- 2) Cuando la velocidad de los electrones es suficiente, entregan a los átomos de gas suficiente energía como para llevar a alguno de sus electrones a una órbita más externa. Como sabemos, dicho electrón, al retornar a su órbita original, irradia energía en forma de luz.
- 3) Cuando finalmente los electrones toman gran velocidad, el choque es suficientemente violento como para "arrancar" entonces de los átomos de gas, es decir, se produce una ionización.

Evidentemente los electrones "arrancados" a los átomos de gas se dirigen hacia el ánodo, produciendo en su recorrido nuevos iones por choques con otros átomos de gas. Simultáneamente los iones positivos de gas se encaminan hacia el cátodo, produciendo nuevos choques; como resultado final de este proceso, el gas queda excitado emitiendo luz.

Nos vemos en la necesidad de aclarar que es necesaria una cierta tensión mínima para provocar el encendido, es decir, entre los electrodos del tubo debe existir una diferencia de potencial suficiente como para dar a

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

los pocos electrones libres contenidos en el gas, una cierta velocidad para ionizar los átomos neutros; de otra manera no se produciría el encendido. En algunos casos, se facilita el proceso colocando electrodos que al calentarse emiten electrones por estar recubiertos con sustancias especiales.

Necesidad de un limitador. Hemos estudiado que en las lámparas incandescentes, la intensidad de corriente se ve limitada por la resistencia propia de su filamento. En las lámparas de descarga no ocurre así;

en efecto, al comenzar el proceso de ionización, se liberan electrones, los que además de producir la irradiación, determinan la aparición de más iones (y más electrones libres), aumentando indefinidamente la corriente, hasta producir un cortocircuito que inutiliza los electrodos.

Es evidente la necesidad de limitar la intensidad de corriente en la lámpara de descarga, para ello se intercala en serie un balasto, que consiste en una bobina con núcleo de hierro. La limitación de la corriente se debe a la autoinducción, ésta se opone a las variaciones de la corriente alterna sin apreciable consumo de energía.

LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO

Están constituidas por un tubo de vidrio especial que contiene en su interior gas neón a baja presión y además una pequeña cantidad de sodio metálico, que presenta el aspecto de pequeñas gotitas cuando la lámpara está fría. Tal como se observa en la figura 2, en los extremos del tubo se encuentran dos electrodos que a través del vidrio se conectan a los contactos del zócalo. Cuando se conecta la lámpara a la red de alimentación, se produce la ionización y descarga en el gas, dando lugar a la emisión de luz de color rojo debido a que contiene gas neón.

La iniciación de la descarga produce el aumento de la temperatura en el interior de la ampolla, a consecuencia de esto el sodio comienza a evaporarse, dando lugar a la emisión de luz color anaranjada. Cabe destacar que desde el instante que se las conecta hasta alcanzar su pleno régimen, las lámparas de

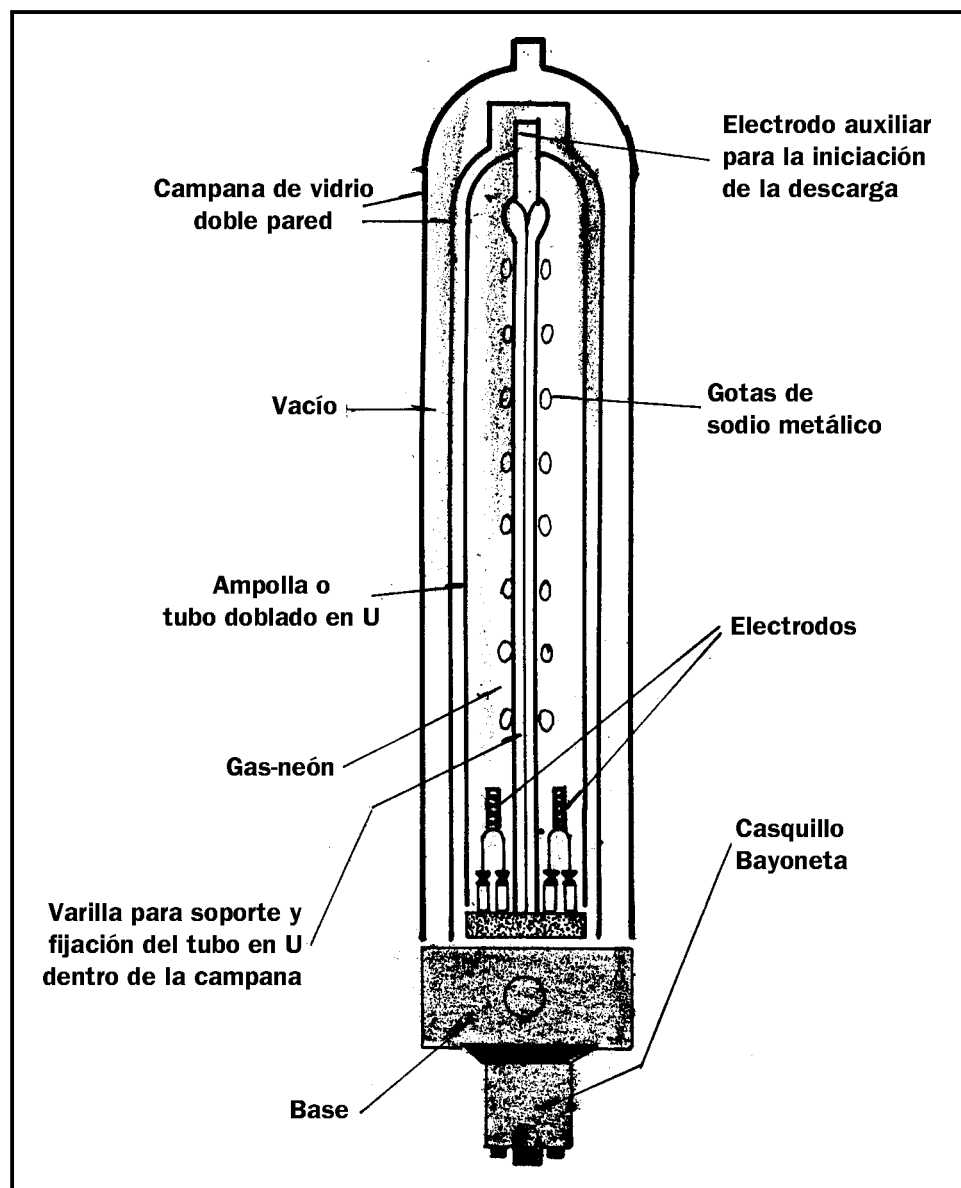


Fig. 2: Aspecto de una lámpara de descarga de vapor de sodio.

sodio necesitan unos diez o quince minutos.

Una vez iniciada la descarga, el calor que se establece basta para mantener la emisión luminosa, haciendo que el sodio sea predominante. Para mantener la temperatura se rodea a la ampolla de una campana de vidrio de doble pared, entre ambas paredes se practica el vacío para conseguir una buena aislación térmica.

Para facilitar la iniciación de la descarga, la lámpara contiene un electrodo auxiliar en el centro del tubo, conectado eléctricamente a uno de los electrodos principales.

Las lámparas de vapor de sodio necesitan como balasto un transformador que aumente la tensión de alimentación, usualmente de 220 V, al valor requerido, para iniciar la descarga. Dicho transformador actúa también como limitador de la corriente, evitando la ionización excesiva y por lo tanto la destrucción de la lámpara.

Estas lámparas deben utilizarse preferentemente en posición horizontal, para que el sodio se reparta equitativamente; la duración o vida media de la lámpara es de aproximadamente 3000 horas, al final de las cuales el flujo luminoso se reduce al 75% del valor inicial. Su eficacia luminosa es elevada, incluyendo el consumo del balasto, se alcanzan valores comprendidos entre 56 y 125 Lumen por Watt.

Aplicaciones. La elevada eficacia luminosa de estas lámparas y su radiación monocromática (anaranjada), coincidiendo con una de las radiaciones más sensibles a nuestra retina, hacen que sean adecuadas en aquellos casos en que se desee una fácil percepción y una economía de consumo en energía eléctrica. Su luz monocromática no permite la buena distinción de los colores, por ello, sólo se las utiliza generalmente en el

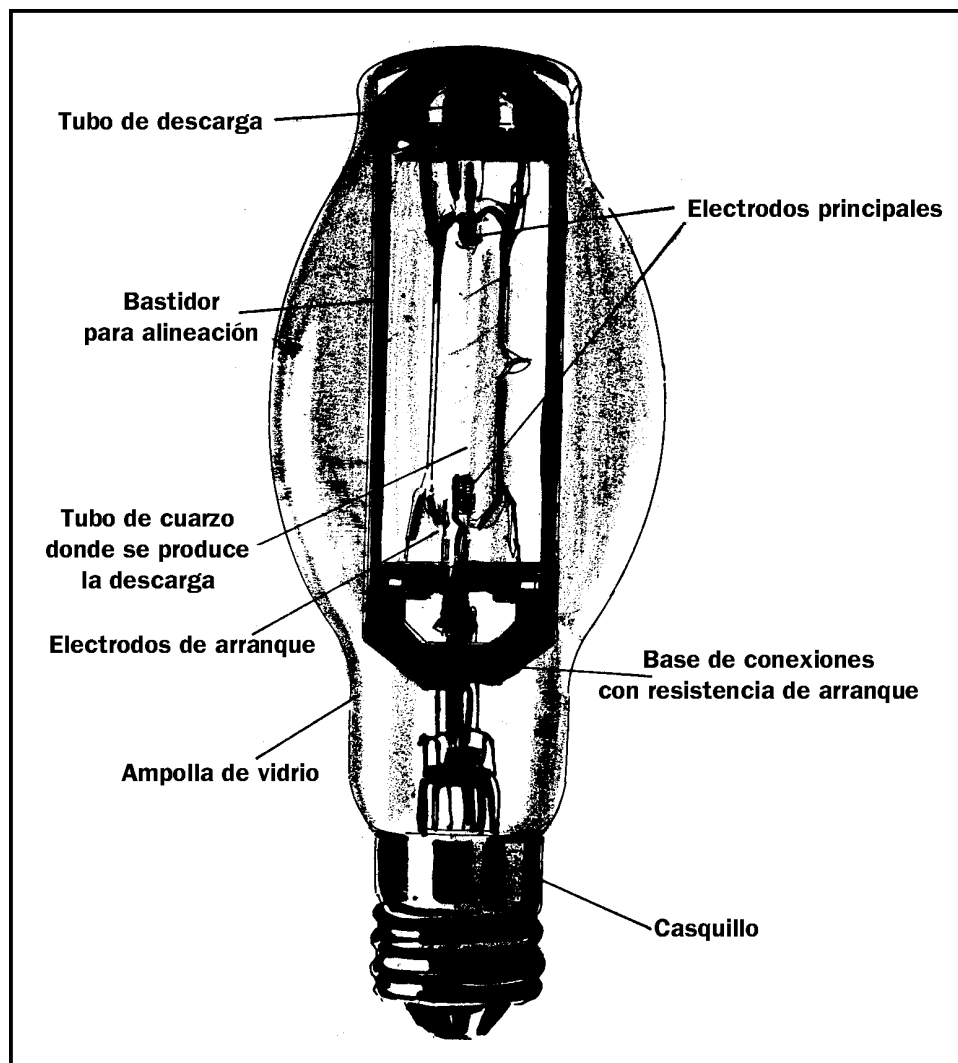


Fig. 3: Lámpara de vapor de mercurio.

exterior, en lugares donde la diferenciación de los colores no es factor importante, por ejemplo, alumbrado público, playas ferroviarias, galpones, etc.

Es importante destacar que el factor de encandilamiento que estas lámparas producen es muy bajo, por ello su uso se hace imprescindible en las curvas y puentes de las rutas.

LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

A diferencia de las lámparas de vapor de sodio, las de vapor de mercurio deben trabajar con una presión interna elevada. En este tipo de lámparas, el "gas" es

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

mercurio vaporizado, ya que a la temperatura ambiente se encuentra en estado líquido, que puede observarse en forma de gotitas en el interior del tubo; para facilitar el arranque, dicho tubo contiene argón, por ser éste un gas fácilmente ionizable.

Tal como se observa en la figura 3, el tubo donde se produce la descarga es de menor longitud, pero de mayor diámetro que el de las lámparas de sodio; se encuentra colocado dentro de una ampolla en la que se ha practicado el vacío de forma tal que proporciona una correcta aislación térmica.

La descarga se produce inicialmente por intermedio del gas argón entre uno de los electrodos principales y un electrodo auxiliar de arranque, esta situación es la que muestra la figura 4, donde puede observarse la descarga inicial en el argón y la que posteriormente se establece entre los electrodos principales.

La elevación de temperatura producida por la descarga inicial vaporiza el mercurio y hace conductor el espacio comprendido entre los dos electrodos principales, no debe suponerse que este fenómeno es instantáneo, la ionización se produce progresivamente, pudiendo

estimarse su duración en unos 5 minutos.

El electrodo auxiliar de arranque está conectado al otro electrodo principal a través de una resistencia de valor elevado que se encuentra en la base de conexiones del tubo de descarga, en el interior de la ampolla.

Es importante destacar que al apagarse una lámpara de mercurio, no se puede encenderla nuevamente hasta que no esté completamente fría, esto se debe a que una vez que el mercurio se ha vaporizado, estas lámparas funcionan a una presión elevada, y para provocar la descarga es necesario que la temperatura y la presión desciendan hasta un cierto valor.

La eficacia menos luminosa de estas lámparas está comprendida entre los 30 y 70 Lumen por Watt, dependiendo ésta de la potencia de la lámpara.

La vida útil de las lámparas de mercurio se estima en unas 3000 horas, al final de las cuales el flujo luminoso se reduce en un 20%.

En estas lámparas, debido a la alta temperatura que se desarrolla en la descarga, el tubo se fabrica con cuarzo, estando cubierto por una ampolla exterior de vidrio que lo protege de los bruscos cambios de temperatura.

Otro detalle interesante respecto a estas lámparas es que se las recubre por la parte interna de la ampolla con un material fluorescente que convierte una gran parte de la energía ultravioleta emitida en luz visible, siendo éste uno de los motivos que justifican su gran eficacia luminosa.

Aplicaciones. La lámpara de mercurio para alumbrado produce una radiación luminosa en la que predominan las radiaciones azules, si bien la sensibilidad de la retina es elevada para estas radiaciones, no se obtiene una eficacia luminosa tan favorable como en las de vapor de sodio, debido a la gran cantidad de energía que emiten en la gama no visible de radiaciones infrarrojas y ultravioletas.

El tono blanco - azulado y con falta absoluta de rojo, hace que estas lámparas no se empleen para alumbrado de interiores, ya que los objetos de color rojo se tornan oscuros y aquellos que contienen tonalidades rojas no son apreciados con su coloración original.

Su uso es muy difundido en el alumbrado público, fábricas, etc., combinadas con lámparas incandescentes, en los lugares donde además de una fuerte iluminación, se necesita una razonable identificación de los colores, por ejemplo en exposiciones, locales comerciales, etc.

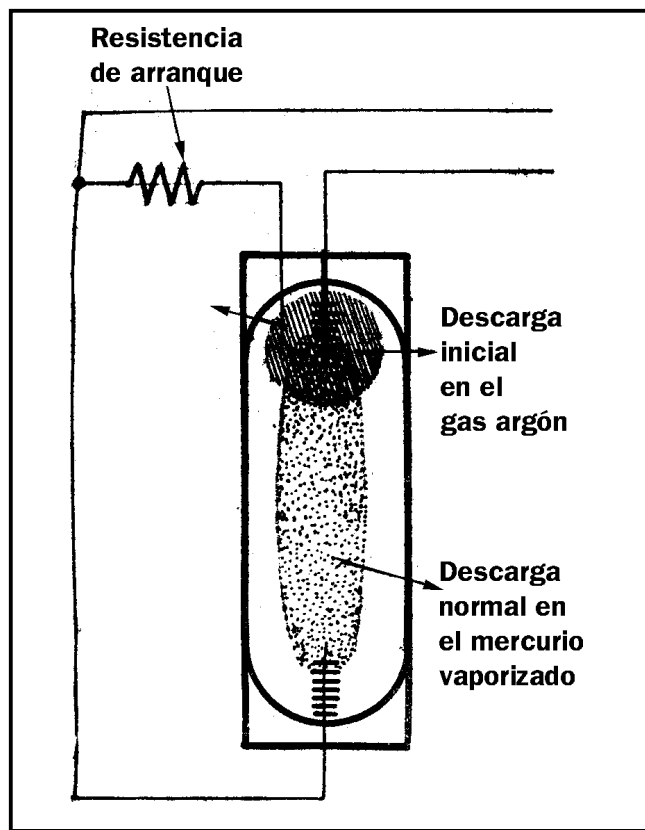


Fig. 4: Secuencias de las descargas de una lámpara de vapor de mercurio.

LÁMPARAS MEZCLADORAS

Las necesidades anteriormente mencionadas fueron aprovechadas por los fabricantes para crear las llamadas lámparas mezcladoras, donde se reúnen dos sistemas en una misma ampolla. En la figura 5 se muestran las partes componentes de estas lámparas; contienen un tubo de descarga con vapor de mercurio a alta presión, conectado en serie con un filamento de incandescencia, contenidos en el interior de una ampolla común.

Esta disposición permite que el filamento, por encontrarse en serie con el tubo de descarga, actúe como estabilizador, de forma tal que la lámpara puede conectarse directamente a la red de alimentación, sin ne-

cesidad del agregado de elemento alguno para limitar la corriente. En muchos casos estas lámparas poseen un recubrimiento interior de material fluorescente, de manera tal que la luz emitida se compone de los rayos originados por el tubo de descarga, de aquellos procedentes del filamento de tungsteno y de la irradiación de la materia fluorescente. Por medio de la combinación de estas diferentes irradiaciones, se produce una tonalidad con apariencia de luz diurna con una buena respuesta a los colores.

Al conectar estas lámparas entregan luz en forma inmediata, primeramente lo hace el filamento de incandescencia y después de un corto tiempo aporta el tubo de descarga. Al igual que las lámparas de vapor de mercurio ya estudiadas, para reencenderlas debe transcurrir el tiempo suficiente para que se enfríen.

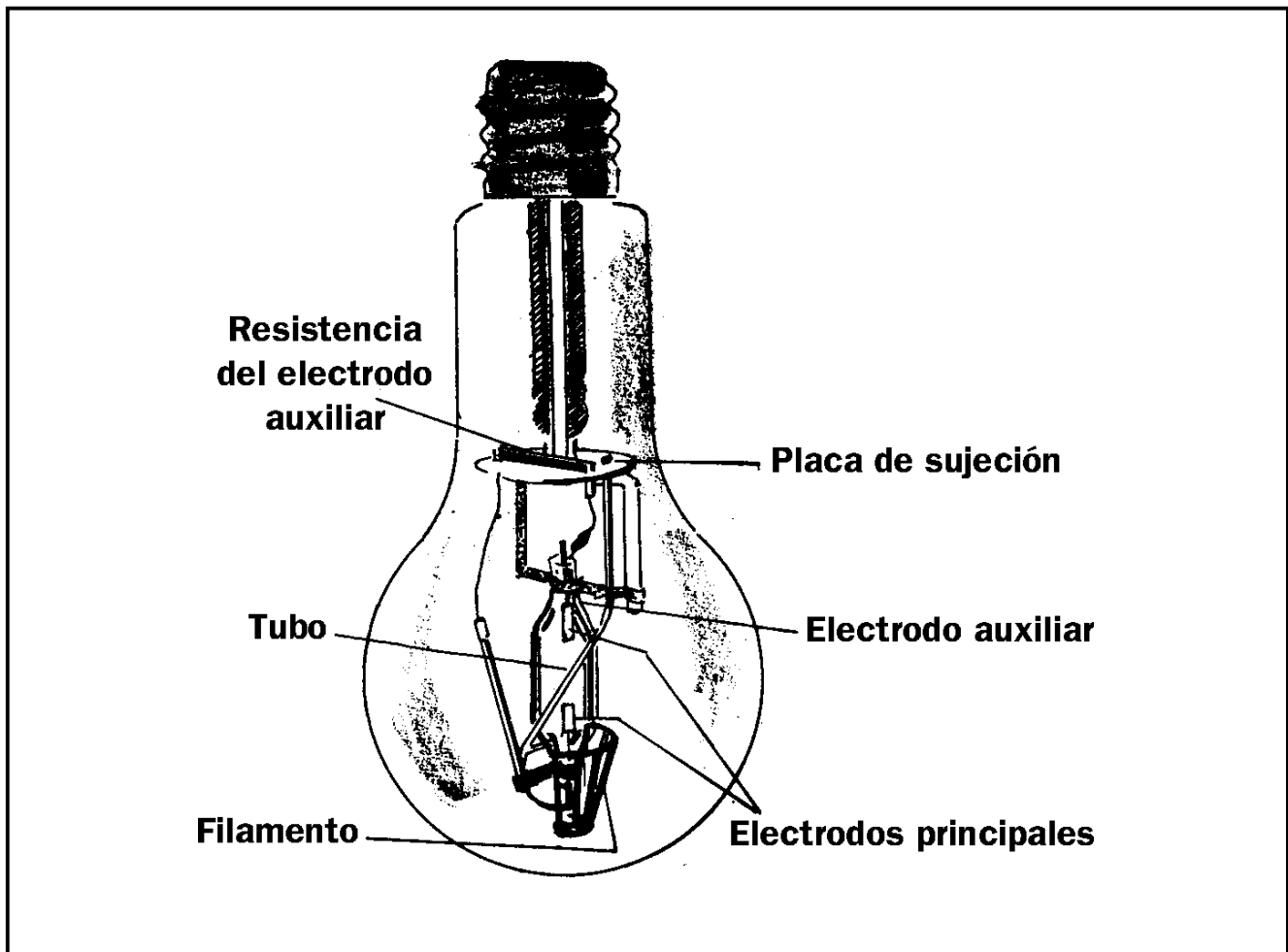


Fig. 5: Lámpara mezcladora.

LÁMPARAS FLUORESCENTES

Sin lugar a dudas, por su mayor aplicación, del conjunto de lámparas de descarga gaseosa, se destacan las lámparas tubulares fluorescentes. Estas, en su mayor parte, van provistas de electrodos diseñados para ser calentados antes de su encendido y se las denomina lámparas fluorescentes tubulares a electrodos precalentados.

Previamente a la descripción del proceso de precalentamiento, se detallarán los distintos componentes de estas lámparas, como así también las características principales de aquellos que son necesarios para su encendido y funcionamiento, es decir, el equipo auxiliar.

Según puede apreciarse en la figura 6, esta lámpara está formada por un tubo de vidrio que tiene en sus extremidades herméticamente cerrados dos zócalos que soportan en la parte interna los electrodos y en la externa las espigas de contacto para su posterior conexión a la red. La superficie interior del tubo está recubierta con materiales luminiscentes, según sea el color de la luz que debe entregar al artefacto, dichos materiales se conocen generalmente con el nombre de polvo fluorescente.

Además, el tubo contiene en su interior una pequeña cantidad de mercurio en estado natural y cierta cantidad de gas argón a fin de facilitar el encendido de la lámpara. Al igual que en todas las lámparas de descarga, de no existir un elemento limitador, la corriente circulante tendería a aumentar peligrosamente su valor, este comportamiento que recibe el nombre de resis-

tencia negativa, obliga a intercalar en serie con la lámpara un accesorio eléctrico (balasto) para estabilizar la corriente, a la vez que junto con un arrancador ayuda al encendido de la misma.

Por lo general el balasto consiste en una bobina de la que se aprovechan dos de sus propiedades fundamentales; una de ellas es la de producir una sobretensión cuando se interrumpe la corriente y la otra consiste en limitar la circulación de las corrientes alternas.

Funcionamiento de la lámpara fluorescente tubular de electrodos precalentados.

Antes de analizar el funcionamiento de la lámpara fluorescente es necesario considerar en forma separada las características de un arrancador clásico.

En la figura 7 puede observarse que la envoltura metálica contiene una lamparita de neón de características especiales. En efecto, como cualquier lámpara de este tipo, lleva dos electrodos, pero uno de ellos es una cinta metálica mientras que el otro es un electrodo común.

Cuando a los terminales de dichos electrodos se aplica una diferencia de potencial, el gas neón se ioniza permitiendo la circulación de una débil corriente. A consecuencia de esto la temperatura del gas se eleva, como así también la de sus electrodos.

El electrodo bimetalico, por acción del aumento de

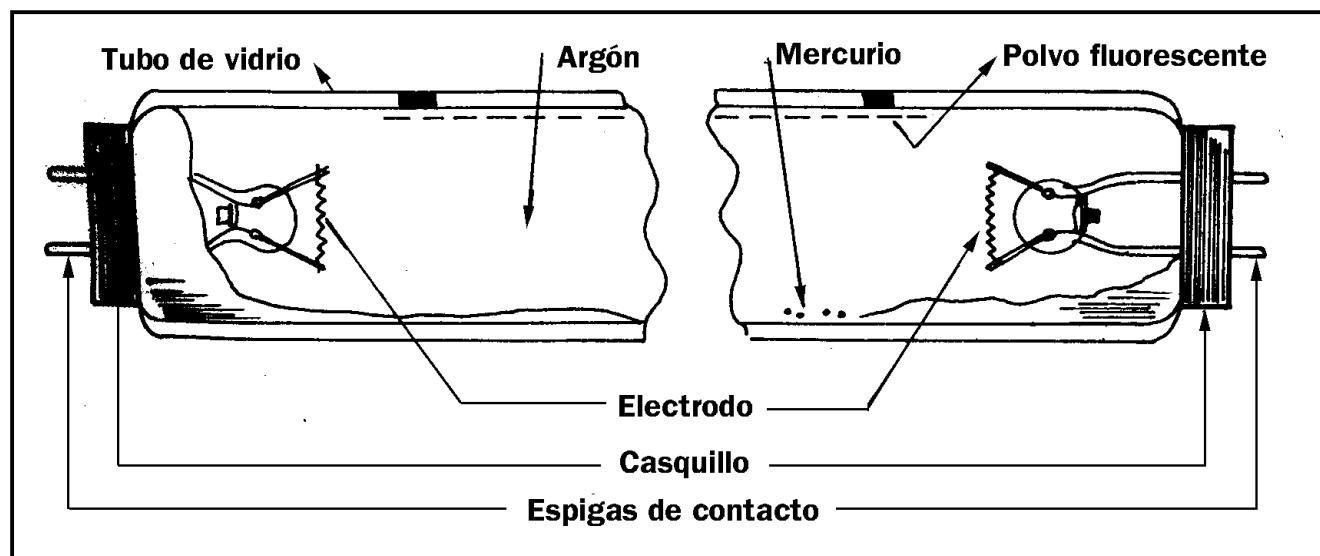


Fig. 6: Partes componentes de una lámpara tubular fluorescente.

temperatura se dilata y al deformarse establece contacto eléctrico con el otro electrodo.

Al unirse los electrodos se establece un cortocircuito, por lo tanto se deduce que la corriente circulará por ellos al pasar por el gas y éste se enfría. A consecuencia de ello el electrodo bimetalico, pierde calor, retorna a su posición inicial cesando el cortocircuito entre los electrodos.

Además, en el interior del arrancador existe un pequeño condensador cuya función es la de suprimir las interferencias que en los receptores de radio provoca el funcionamiento de los contactos de la lámpara de neón.

Con referencia al balasto, podemos decir que se trata simplemente de una bobina con núcleo de hierro, el rendimiento de la lámpara fluorescente depende en buena parte del correcto funcionamiento de dicha bobina, la que debe satisfacer las siguientes condiciones:

- 1) Permitir una corriente de precalentamiento adecuada y una conveniente sobretensión al actuar el arrancador para provocar el encendido de la lámpara sin demoras excesivas.

- 2) Establecer una corriente de funcionamiento adecuada a fin de que la lámpara funcione con su potencia y la tensión nominal, y emita el flujo luminoso previsto por los fabricantes.

- 3) Debe tener un consumo propio moderado. Para interpretar esta condición se recordará que toda bobina puede considerarse desde el punto de vista eléctrico, formada por una inductancia pura y una resistencia en serie. Por ello suponemos que el consumo real de la bobina se debe a la resistencia propia del alambre que la forma, ya que la inductancia no consume energía sino que la almacena en forma de campo magnético.

- 4) Disponer de un bajo nivel de zumbido. Como es sabido, al ser recorrida la bobina por una corriente alterna, el campo magnético resultante presenta iguales características, por lo tanto las chapas que forman el núcleo tienden a "acompañar" las variaciones del campo, produciendo vibraciones que pueden llegar a ser muy molestas. Estas vibraciones son atenuadas convenientemente cubriendo la bobina con un aglutinante, brea, poliéster, etc.

Cuando se utilizan lámparas fluorescentes, no debe tenerse en cuenta solamente el consumo de las mismas, sino también el consumo del balasto, quien en casos normales suma de un 15% a un 30% de la potencia nominal de la lámpara.

Analizados los detalles fundamentales de la lámpara, el arrancador y la reactancia, pasamos a considerar

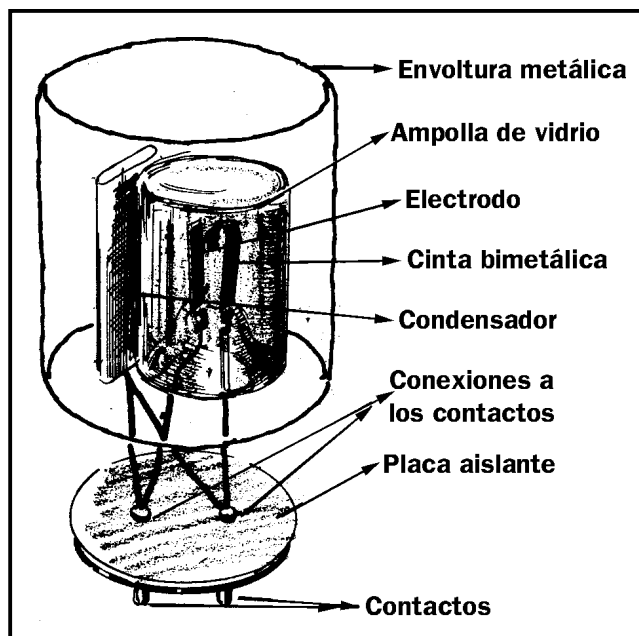


Fig. 7: Arrancador típico para lámparas fluorescentes.

el funcionamiento del sistema en sus dos fases principales.

Calentamiento de los electrodos. Para una mejor interpretación del proceso veamos previamente el conexionado clásico de una lámpara fluorescente.

En la figura 8 se observa que las espigas superiores de la lámpara se encuentran conectadas a la red, una de ellas en forma directa y la otra a través de la reactancia. A su vez las espigas inferiores hacen contacto con los terminales del arrancador. Aprovechamos la figura 8 para indicar la primera etapa del calentamiento de los electrodos.

- a) Cuando se conecta el sistema a la red de alimentación, los electrodos de la lámpara y del arrancador, conjuntamente con el balasto se encuentran en serie y son recorridos por la corriente que calienta los electrodos. Durante este proceso los electrodos del tubo fluorescente no aumentan apreciablemente su temperatura, porque la corriente circulante es de bajo valor. Ello se debe a que dicha corriente no solamente encuentra la oposición del balasto y los filamentos, sino que además se ve limitada por la baja conductibilidad del gas contenido en el arrancador. La corriente circulante por el arrancador produce el encendido del mismo y simultáneamente eleva la temperatura del bimetálico.

b) La segunda etapa de este proceso se inicia cuando por efectos del aumento de temperatura el bimetálico se deforma lo suficiente como para establecer contacto con el otro electrodo de la lámpara de neón. En la figura 9 se muestra la condición recién explicada; al producirse el cortocircuito entre los electrodos, la intensidad del circuito aumenta ya que la corriente no se ve obligada a circular por la alta resistencia que representa el gas neón del arrancador. Evidentemente, un aumento importante de corriente dará como resultado una apreciable elevación de la temperatura en los filamentos del tubo fluorescente y un incremento en la emisión de electrones por parte de los mismos. El proceso anterior hace que se eleve la temperatura en el tubo fluorescente, provocando la vaporización del mercurio y con ello la iniciación de la descarga.

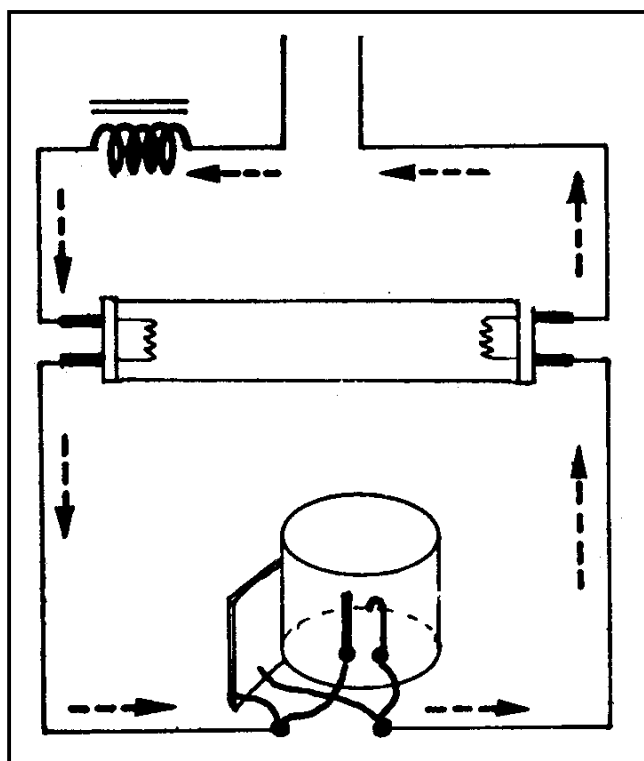


Fig. 8: Primera etapa del arranque de un tubo fluorescente.

ENCENDIDO DEL TUBO FLUORESCENTE

Al encontrarse en cortocircuito los electrodos del arrancador, por no circular corriente en el gas neón que contiene la ampolla, dicho gas neón que contiene

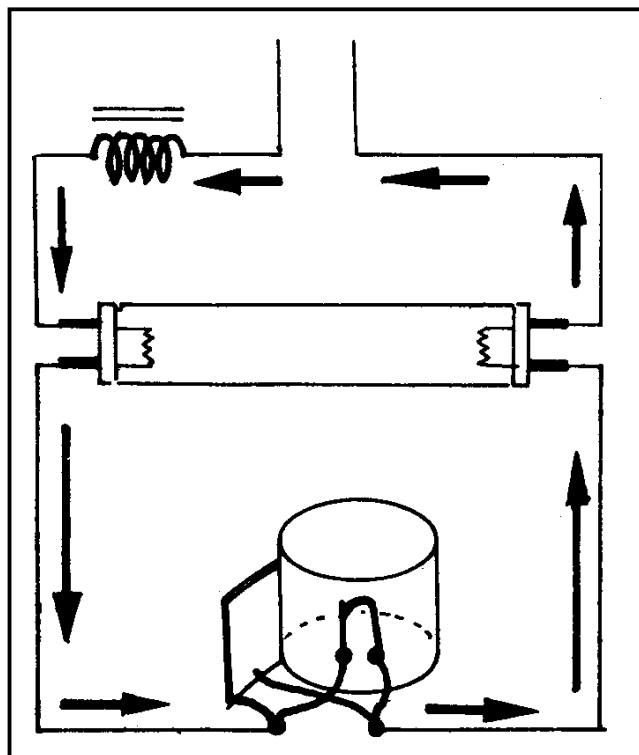


Fig. 9: Segunda etapa del arranque de un tubo fluorescente.

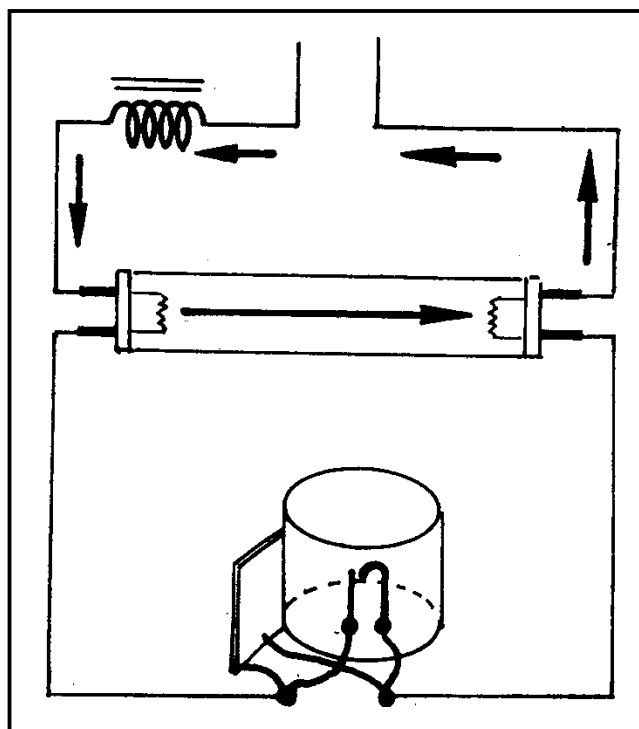


Fig. 10: Encendido del tubo fluorescente.

la ampolla, dicho gas se enfría y a consecuencia de ello la lámina bimetálica pierde temperatura volviendo a su posición primitiva.

Al separarse los contactos del arrancador, el efecto de autoinducción del balasto origina una sobretensión que produce el encendido del tubo fluorescente. Esta es la situación que muestra la figura 10, pudiéndose observar que el encendido del tubo produce automáticamente la inactividad del arrancador. Esta situación se debe a que el encendido del tubo supone una corriente relativamente elevada, o lo que es lo mismo, una baja resistencia producida por la descarga en el interior del mismo, por ello la corriente toma ese camino evitando la alta resistencia de la lámpara neón.

EL EFECTO ESTROBOSCÓPICO EN LOS TUBOS FLUORESCENTES

Una característica propia de todas las lámparas de descarga gaseosa funcionando en corriente alterna es la de que su radiación luminosa experimenta decrecimientos cíclicos, causados por las variaciones de la intensidad de corriente, los que se repitan dos veces en cada ciclo de tensión aplicada.

Este especial comportamiento es de suma importancia en la iluminación de máquinas de elevada velocidad, ya que introduce un factor peligroso por producir una ilusión óptica capaz de indicar que una determina-

da pieza gira lentamente o está detenida, cuando en realidad posee gran velocidad.

Una rápida explicación de este fenómeno se interpreta con ayuda de la figura 11. Supongamos que se trata de una rueda que posee cuatro rayos y que gira a una velocidad de 1500 revoluciones por minuto, o lo que es lo mismo 25 vueltas por segundo. Si suponemos que dicha rueda es iluminada por un tubo fluorescente, podemos suponer que ésta será iluminada con máxima intensidad 100 veces por segundo (una vez por cada semiciclo de corriente de línea), cuando la red de alimentación es alterna de 50 c/s.

Si el tubo fluorescente destella 100 veces por segundo, entre un destello y otro transcurre un centésimo de segundo. En este lapso de tiempo la rueda, por girar a 25 vueltas por segundo, se ha desplazado $\frac{1}{4}$ de vuelta.

En la práctica suponemos que los cuatro rayos de la rueda son idénticos, aunque para la explicación a uno de ellos lo marcamos con el N° 1. En nuestra figura se representan las cuatro posiciones que toma la rueda en cada uno de los instantes de máxima luminosidad correspondientes a dos ciclos de la corriente de alimentación a dos ciclos de la corriente de alimentación; si suponemos que la rueda gira en el sentido de las agujas del reloj, el rayo identificado con el N° 1 se encuentra en la posición A cuando el semiciclo correspondiente pasa por su valor máximo. Para igual situación en el semiciclo siguiente (posición B) el rayo ha la

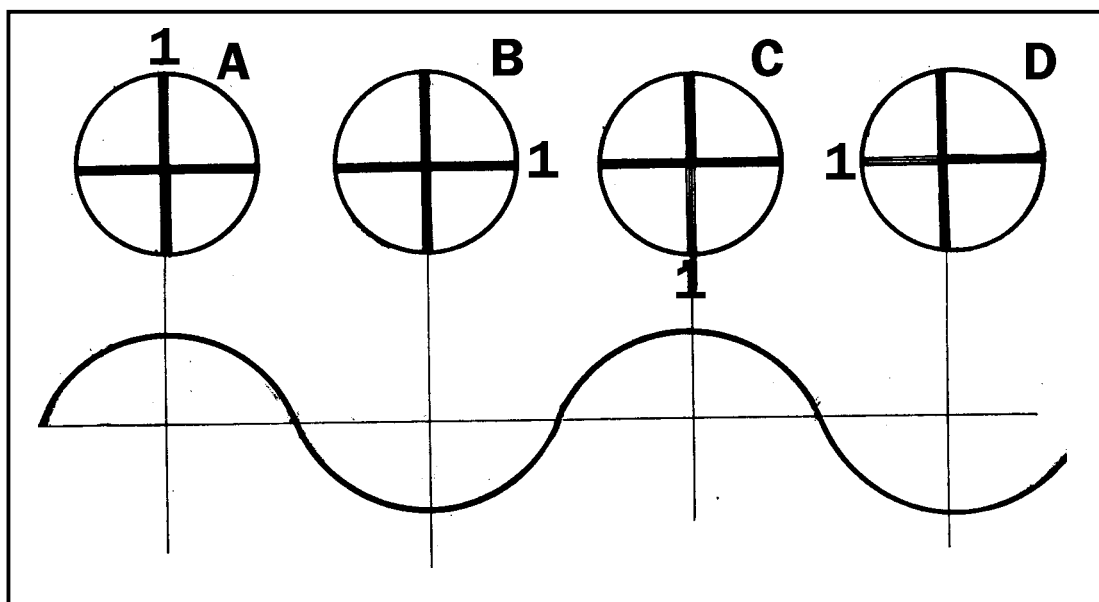


Fig. 11: Efecto estroboscópico.

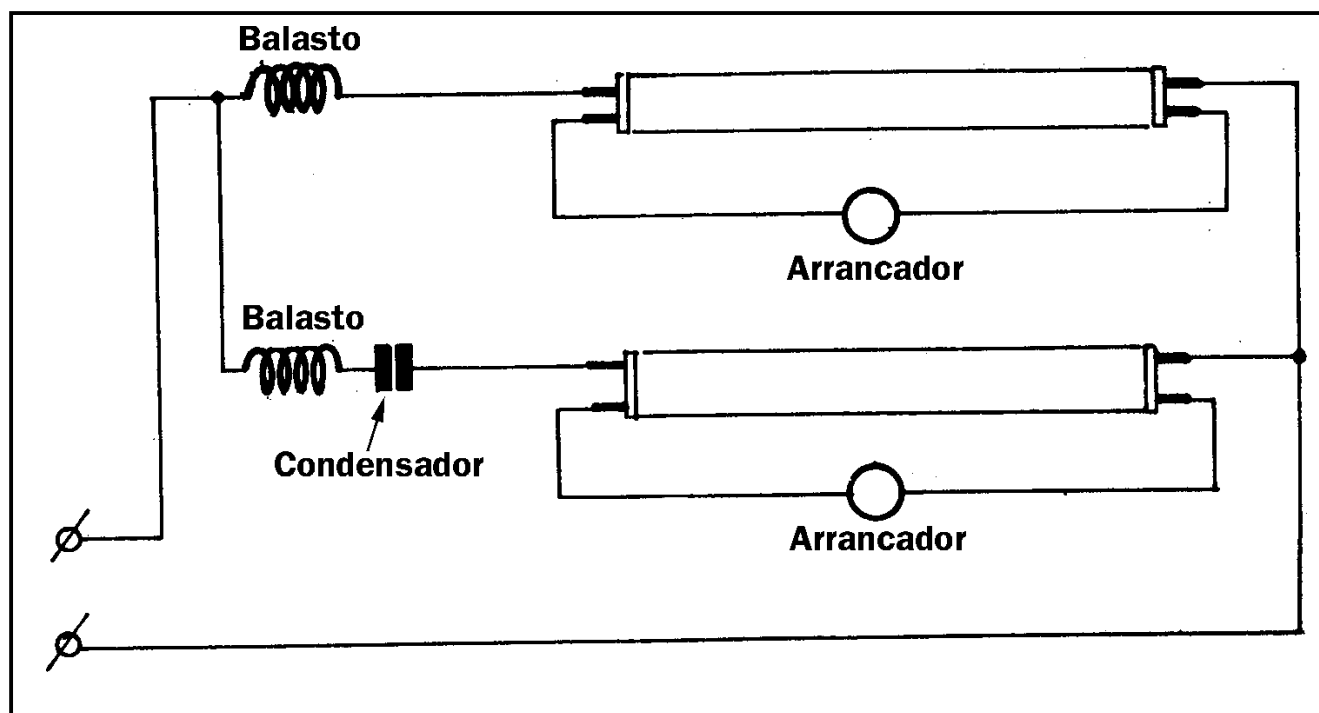


Fig. 12: Sistema tulamp para eliminar el efecto estroboscópico.

girado un cuarto de vuelta, proceso que se repite para las posiciones C y D.

Como visualmente los cuatro rayos son idénticos, se establece una ilusión óptica que impide apreciar el giro de la rueda, dado que aparentemente el rayo N° 1 no cambia de posición, ya que en los instantes de máxima iluminación, su lugar es ocupado por otro rayo de igual aspecto.

Una forma de atenuar el efecto estroboscópico consiste en la utilización de dos tubos montados sobre un mismo artefacto. En efecto, es de suponer que las reactancias de cada uno de ellos, no poseen idéntico valor, de forma que no imponen iguales defasajes a las corrientes circulantes por cada tubo.

Es evidente que por dicho motivo, las intensidades en cada tubo no llegan a su máximo valor al mismo tiempo, compensando en parte los desniveles de iluminación que producen el efecto estroboscópico.

Una solución más acertada es la mostrada en la figura 12; se utiliza un limitador especial para dos lámparas (tulamp) que lleva en serie con una de sus reactancias un capacitor.

Como es sabido la sección que lleva reactancia únicamente produce un atraso de la intensidad, pero como la reactancia restante tiene un capacitor en serie, por

adelantar este último la corriente, tiende a anular el atraso de su correspondiente bobina. Como resultado, las corrientes circulantes en ambos tubos llegan a su máximo valor con una apreciable diferencia de tiempo eliminando casi totalmente el efecto estroboscópico.

TIPOS DE ILUMINACION

Una condición fundamental de la iluminación respecto a la fuentes de luz establece que las mismas jamás se deben utilizar desprovistas de artefactos destinados a impedir la visión directa de la lámpara.

Es decir que, cuando la fuente de luz se encuentra directamente en el campo visual molesta o deslumbra, estorbando además la visión de los objetos iluminados colocados en su proximidad, por lo tanto dicha fuente debe estar colocada siempre en aparatos o artefactos destinados a disimular la luz directa y a controlarla de modo que ilumine mejor los objetos.

Para lograr una correcta distribución de la luz se acude según el caso a distintos sistemas de alumbrado que podemos denominar: iluminación directa, indirecta, semidirecta, semiindirecta y difusa, esta clasificación se basa en el reparto del flujo luminoso dirigido por debajo y por encima del plano horizontal.

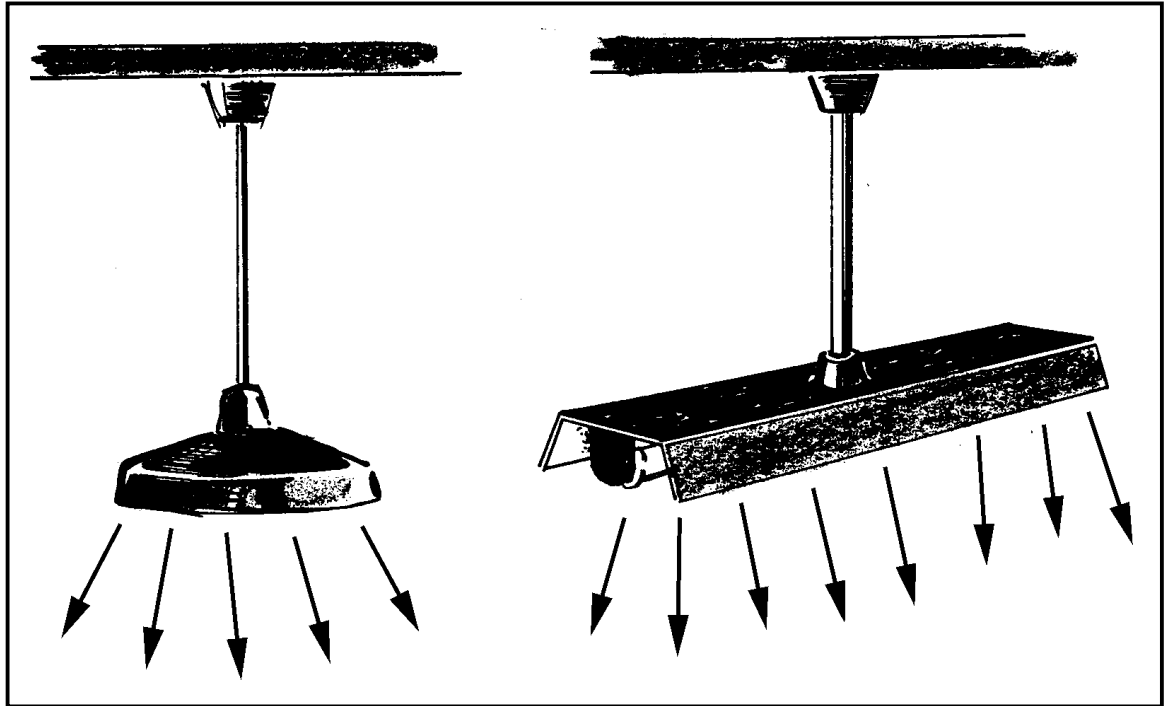


Fig. 14: Sistema de iluminación directa.

Iluminación directa

En este tipo de iluminación, la mayor parte del flujo luminoso se dirige directamente hacia abajo, sobre la superficie a iluminar.

Este sistema es el de mayor rendimiento lumínico ya que la absorción de luz producida por el techo y las paredes es mínima.

Los artefactos a utilizar, tal como se observa en la figura 13, están formados por una superficie reflectora situada sobre la fuente de luz, que dirige hacia abajo el flujo luminoso.

Cabe destacar que la iluminación directa tiende a producir sombras muy marcadas y da lugar a fuertes deslumbramientos, ya que el manantial de luz no queda totalmente cubierto.

Iluminación semidirecta

Tal como se muestra en la figura 14, con este sistema, la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia abajo, consiguiendo que la porción de flujo luminoso dirigida hacia el techo (del 10 al 40%), disminuya el contraste de brillos, con lo que las sombras y el deslumbramiento son menos marcados que en la iluminación directa.

Iluminación difusa

En este caso, el flujo luminoso se reparte por igual por arriba y por abajo del plano horizontal, lográndose que el techo y las paredes al difundir la luz, atenúen las sombras y reduzcan apreciablemente el deslumbramiento, obteniendo un efecto agradable a la vista porque el nivel de iluminación es uniforme. Dos casos típicos de artefactos difusores se muestran en la figura 15.

Iluminación indirecta

En este sistema de iluminación la totalidad del flujo luminoso emitido por la fuente es dirigido hacia el techo.

Resulta fácil interpretar que la luz recibida en el plano de trabajo es la reflejada por el techo y las paredes, por lo tanto es importante que éstas sean lo más claras posibles, teniendo en cuenta además que el techo deberá pintarse con tonos mate, para evitar la imagen reflejada de la fuente luminosa.

Dentro de la diversidad de modelos utilizados en artefactos de iluminación indirecta, la figura 16 muestra un diseño clásico.

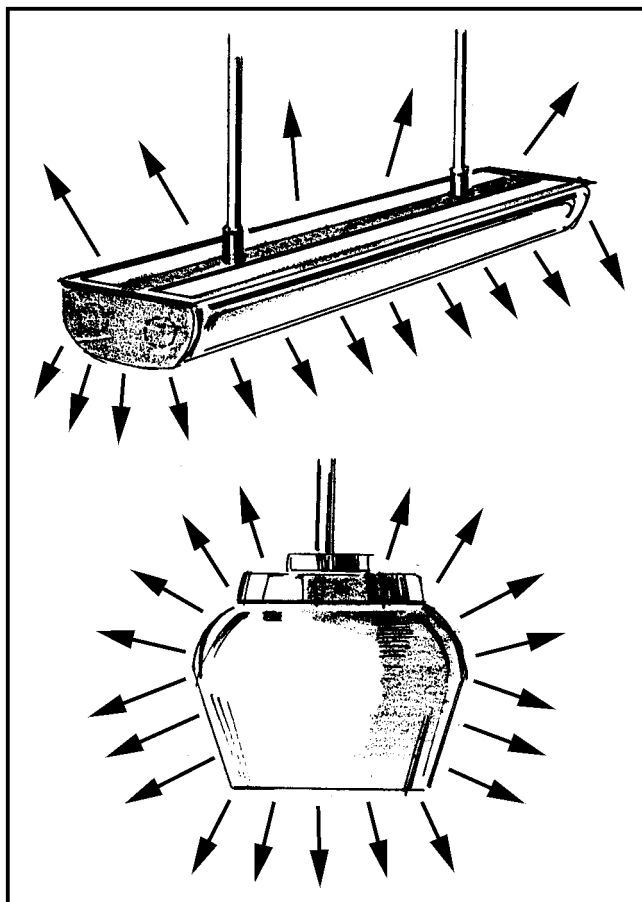


Fig. 14: Sistema de iluminación semidirecta.

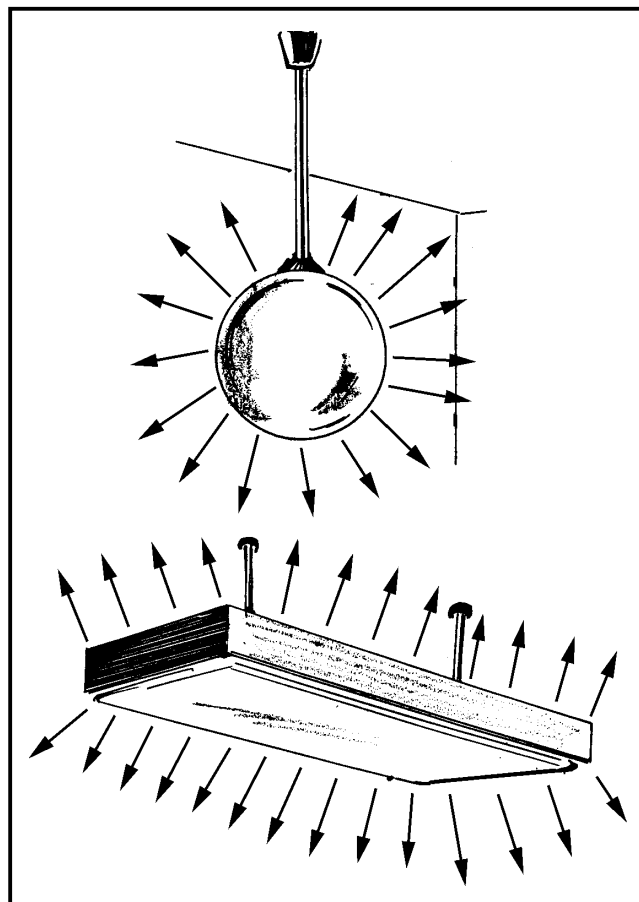


Fig. 15: Artefactos para iluminación difusa.

Iluminación semiindirecta

En el alumbrado de este tipo, la mayor parte del flujo luminoso emitido por la lámpara se dirige hacia arriba, mientras que una pequeña cantidad lo hace hacia el plano de trabajo. El esquema de la figura 17 muestra la estructura de un artefacto de este tipo, las ventajas de su uso reside en conseguir una iluminación sin deslumbramiento y con sombras suaves; proporciona pues una ambientación muy agradable. Su mayor inconveniente es el bajo rendimiento luminoso debido a las elevadas pérdida de absorción en techos y paredes, lo cual puede evitarse en parte adoptando pinturas de tonos claros.

Métodos de alumbrado: La iluminación obtenida por medio de los sistemas explicados puede clasificarse, además, con relación a la distribución de luz en el conjunto del local a iluminar, teniendo en cuenta la concentración de luz necesaria para efectuar una tarea determinada. Se deberá tener en cuenta que los

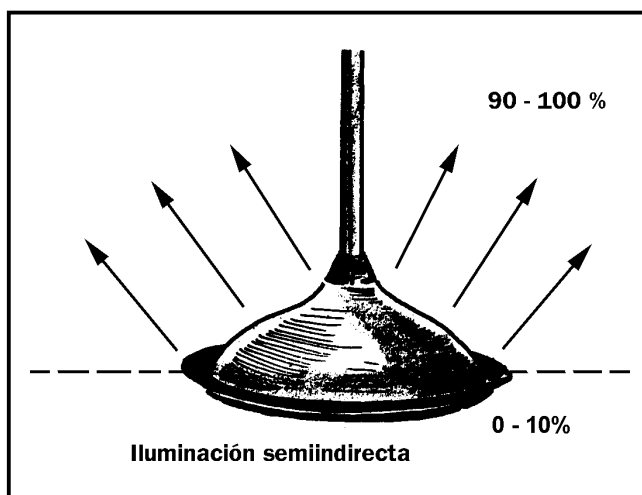


Fig. 16: Artefacto para iluminación indirecta.

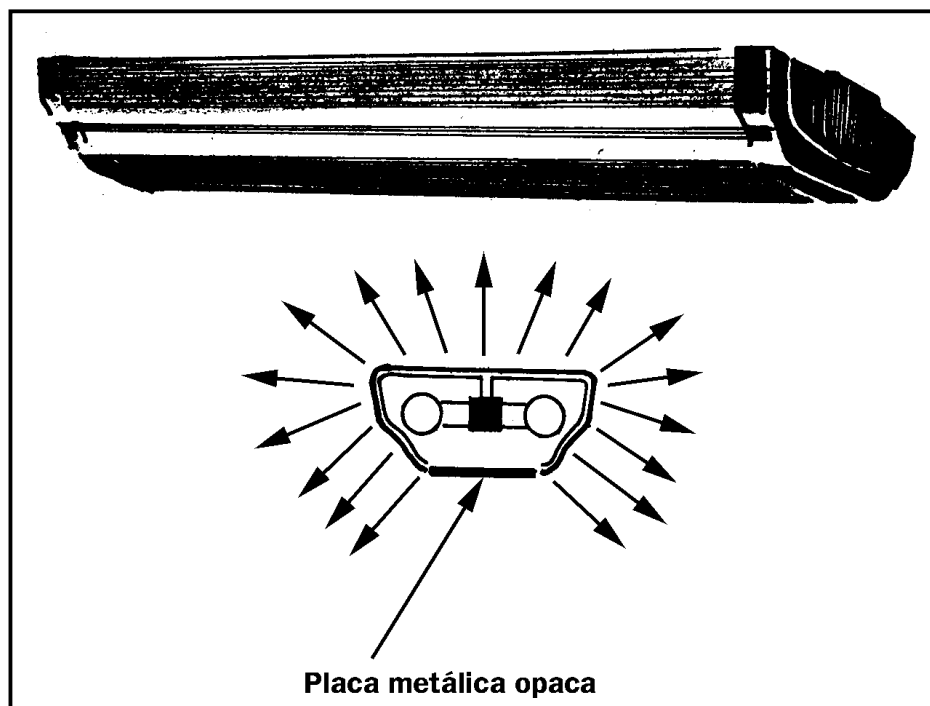


Fig. 17: Artefacto de lámparas fluorescentes para alumbrado semiindirecto.

métodos de alumbrado indican en qué forma queda iluminado un local o lugar de trabajo.

Los métodos de iluminación pueden clasificarse de la siguiente manera:

Iluminación general, cuando las unidades de iluminación están simétricamente dispuestas, de manera de dar una iluminación prácticamente constante en el plano de trabajo.

Iluminación general localizada, cuando las lámparas están dispuestas arriba de los lugares de trabajo, a fin de producir una mayor iluminación, con mayor economía, sobre el lugar de trabajo, e iluminar asimismo el resto del local.

Iluminación localizada, cuando las fuentes de luz se disponen muy cerca y directamente sobre el lugar de trabajo, generalmente en los casos en que interesa obtener un alto nivel de iluminación.

Iluminación suplementaria, cuando se usa una variedad de tipos de artefactos para suplementar la iluminación general.

CALCULO DE ILUMINACION

El cálculo de iluminación de un local no es una tarea compleja ya que existen tablas que indican el nivel de iluminación requerido según la tarea a realizar en cada

uno de los locales. Por supuesto que además influyen las características propias del local, por ejemplo, largo, ancho, altura, color de paredes, color del techo y el tipo de iluminación exigido.

Comenzaremos por determinar el nivel de iluminación requerido de acuerdo a los datos que contiene la tabla número 1.

No debemos olvidar que el Lux representa el flujo luminoso por metro cuadrado, interesándonos por supuesto el flujo total que va a depender de la superficie del local.

Este flujo total no resulta de la simple multiplicación de la superficie del local por la cantidad de Lux indicada en la tabla, ya que parte del flujo emitido por las lámparas es atenuado por el tipo de artefacto, color de paredes y cielorraso, influyendo además el ancho y altura del local.

El porcentaje de atenuación producido por los factores recién considerados se registra en tablas donde es de primordial importancia conocer qué significa el "índice del local". Este representa la relación que existe entre el ancho y la altura del local, es decir,

$$\text{Índice del local} = \frac{\text{ancho}}{\text{Altura}}$$

NIVEL DE ILUMINACION REQUERIDO PARA DISTINTOS AMBIENTES

Ambiente

TABLA 1

Lux

Salas de dibujo, pintura, etc.	200-250
Salas de lectura	120-150
Laboratorio	100-150
Salas de exposición, negocios	120-150
Fotografía	500-2000
Vidrieras comerciales	500-1000
Oficinas	300-800
Pasillos	40-60
Talleres para trabajos de poca precisión	20-40
Talleres para trabajos de precisión	40-150
Talleres de alta precisión	150-300
Comedores	100-120
Dormitorios	70-90
Halls	40-60
Cocinas (luz general)	60-80
Cocinas (detalles)	120-140
Baños (luz general)	60-80
Baños (sobre espejo)	100-120

TABLA Nº 1

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

RENDIMIENTO LUMINOSO O FACTOR DE UTILIZACION PARA ALUMBRADO INTERIOR EN %

Tipo de Iluminación	Índice del local	COLOR DEL CIELORRASO								
		Color de la pared			Color de la pared			Color de la pared		
		Claro			Medio			Oscuro		
		claro	medio	oscuro	claro	medio	oscuro	claro	medio	oscuro
Directa concentrada Reflectores de haz dirigido pantallas muy cerradas	< 1	40	38	36	39	38	36	39	38	36
	1	53	52	52	52	51	50	52	51	50
	1,25	58	56	55	56	55	54	55	54	53
	1,5	60	59	58	59	58	57	58	57	56
	2	64	62	60	62	60	60	61	60	59
	3	65	63	61	63	62	60	61	60	60
	> 3	66	64	63	64	63	62	63	62	61
Directa intensiva Pantallas muy reflectoras, artefactos industriales, pantallas, más abiertas	< 1	32	28	25	32	28	25	30	26	24
	1	45	41	39	43	40	38	42	38	36
	1,25	48	45	43	47	44	42	46	43	41
	1,5	52	50	48	51	49	47	50	48	46
	2	56	54	52	55	53	51	54	52	50
	3	57	55	53	56	54	52	55	53	51
	> 3	60	58	56	59	57	55	58	56	54
Directa extensiva Lámparas sin pantalla, nichos de reflexión, pantallas de baja reflexión	< 1	19	16	14	18	16	14	17	16	14
	1	26	23	22	25	23	22	24	23	22
	1,25	29	27	25	28	26	25	27	26	25
	1,5	31	30	28	31	29	28	30	29	28
	2	34	32	30	33	32	30	32	31	30
	3	35	33	32	34	33	32	33	32	31
	> 3	37	36	35	36	35	34	35	34	33
Semi-directa y difusa Globos opalinos, pantallas cubiertas	< 1	32	28	25	30	26	24	29	25	23
	1	41	37	34	38	34	32	36	32	30
	1,25	46	42	38	42	39	36	40	37	34
	1,5	50	46	43	46	43	40	43	40	37
	2	54	49	46	49	46	43	46	43	40
	3	56	52	48	51	48	45	48	45	42
	> 3	60	56	52	54	50	48	51	48	45
Semi-directa Pantalla invertida semi-transparente	< 1	18	14	11	14	11	9	11	8	6
	1	25	21	18	20	16	13	16	12	9
	1,25	30	25	21	23	9	16	19	15	12
	1,5	35	30	26	27	22	20	22	17	14
	2	38	33	29	29	25	22	23	19	17
	3	41	36	32	31	27	24	26	22	19
	> 3	47	42	39	36	32	30	28	24	22
Indirecta Pantallas abiertas invertidas, reflectores invertidos	< 1	15	12	10	10	8	7	7	5	4
	1	20	28	15	14	12	10	9	7	6
	1,25	24	20	18	16	14	12	11	8	7
	1,5	27	24	21	18	16	14	12	9	8
	2	30	26	24	20	18	16	13	10	9
	3	32	29	26	21	19	18	14	11	10
	> 3	36	33	31	24	22	20	15	13	12

TABLA Nº 2

ALTURA DE MONTAJE Y DISTANCIA ENTRE ARTEFACTOS

<i>Distribución de luz</i>		<i>Indirecta</i>		<i>Semi-indirecta</i>	<i>General difusa</i>	<i>Semi-directa</i>	<i>Directa</i>
<i>Altura del cielorraso</i>	<i>Distancia a las paredes</i>	<i>Largo de suspensión</i>	<i>Distancia máxima entre artefactos</i>		<i>Altura de montaje de artefactos</i>	<i>Distancia a las paredes</i>	<i>Distancia máxima entre artefactos</i>
2,40	0,90	0,3 - 0,9	2,70		2,40	0,90	2,25
2,70	0,90	0,45 - 0,9	2,85		2,70	0,90	2,70
3,00	1,05	0,60 - 0,9	3,75		3,00	1,05	3,15
3,30	1,05		4,05		3,30	1,05	3,60
3,60	1,20	0,75 - 1,20	4,50		3,60	1,20	4,05
3,90	1,20		5,10		3,90	1,20	4,50
4,20	1,50	0,90 - 1,20	5,70		4,20	1,50	4,95
4,50	1,50		6,00		4,50	1,50	5,40
4,80	1,80	1,20 - 1,50	6,60		4,80	1,80	6,00
5,40	1,80		7,20		5,40	1,80	6,60
6,0 ó más	2,10	1,20 - 1,80	8,40		6,0 ó más	2,10	7,50

TABLA Nº 3

Con ayuda de los datos contenidos en las tablas se calcula fácilmente el flujo total necesario para el nivel de iluminación requerido aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Flujo total} = \frac{\text{nivel de iluminación} \times \text{superficie} \times 100}{\text{Rendimiento luminoso}}$$

Una vez conocido el flujo total debemos determinar la cantidad y potencia de las fuentes luminosas guiándonos por la tabla Nº 3.

Con el fin de aclarar los conceptos referentes al cálculo de iluminación desarrollaremos un caso práctico. Supongamos que se desea iluminar una oficina que responde a las siguientes dimensiones: largo 5 m, ancho 4 m, alto 3 m. El cielorraso del ambiente es de color claro, al igual que paredes; por tratarse de una oficina se utilizarán artefactos de luz difusa.

El proceso a seguir para realizar el cálculo es el siguiente:

1) **Determinar el nivel de iluminación.** En la tabla Nº1 se busca el nivel de iluminación recomendado para oficinas, como éste puede ubicarse entre 300 y 800 Lux, elegimos un valor intermedio, 500 Lux.

2) **Calcular el índice del local.** Se encuentra dividiendo el ancho por la altura del local.

$$\text{Índice del local} = \frac{4}{3} = 1,33$$

3) **Determinar el rendimiento luminoso.** Se utiliza la tabla Nº 2; en la columna "tipo de iluminación" ubicamos el sistema elegido. Veamos que para el tipo "difuso" el valor más próximo de índice de local es 1,25. Observando el encabezamiento de las distintas columnas, ubicamos la correspondiente a color de pared y cielorraso claro. En dicha columna corresponde para iluminación difusa e índice del local 1,25 el número 46. Dicho número indica que el 46% del flujo emitido por las lámparas es aprovechable.

4) **Calcular el flujo total.** Primeramente se calcula la superficie del local, resulta ser: superficie local = 5 x 4 = 20 m². Luego se reemplaza en la fórmula

de flujo total obteniendo:

$$\text{Flujo total} = \frac{\text{nivel de iluminación} \times \text{superficie} \times 100}{\text{Rendimiento luminoso}}$$

$$\text{Flujo total} = 500 \times 20 \times 100 = 21700 \text{ aproximadamente}$$

46

5) Determinación de la altura de montaje de los artefactos. Para ello se utiliza la tabla N° 3 de la siguiente forma: se ubica en la columna izquierda "Altura del cielorraso" la que corresponda; en nuestro caso, tres metros. Siguiendo la misma línea horizontal, en la columna "Altura de montaje de Artefacto", para el tipo de iluminación difusa, corresponde una altura de 3 metros.

6) Determinación de la cantidad de artefactos. Para determinar la cantidad de artefactos es necesario conocer la distancia entre el artefacto y las paredes y la distancia máxima entre los mismos. Estos valores se determinan mediante el uso de la tabla N° 3.

a) Determinación de la distancia entre el artefacto y pared

Se busca en la columna izquierda "Altura del cielorraso" la que corresponda, en nuestro caso, 3 metros, siguiendo la línea horizontal, en la columna "Distancia a las paredes" se encuentra el valor 1,05 m.

b) Determinación de la distancia máxima entre artefactos

Bastará con buscar en la línea horizontal la columna correspondiente hasta hallar el valor, en nuestro caso, 3,15 m.

c) A continuación sobre un papel cuadriculado se dibujará en escala 4:1 (4 cuadritos equivalen a 1 m) el contorno de la habitación. Tal como se observa en la figura 18, primeramente se procede a iluminar los ángulos del ambiente, recordando que los artefactos deben estar a una distancia máxima de 1,05 m. En esa forma se determina la ubicación de los artefactos A, B, C y D.

Observando con detenimiento la figura, se notará que en ningún caso la distancia entre los artefactos supera la determinada por la Tabla 3, es decir, 3,15 m. Queda determinado que para las dimensiones dadas y características del ambiente son necesarios cuatro artefactos.

7) Cálculo del flujo por artefacto. Establecida la necesidad de cuatro artefactos, para determinar el flujo luminoso por artefacto se divide el flujo total por el

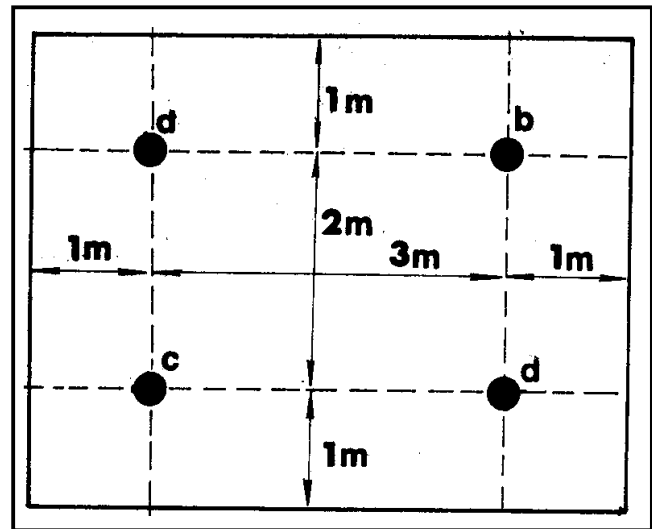


Fig. 18: Determinación de la cantidad de artefactos.

número de artefactos es decir,

$$\text{Flujo por artefacto} = \frac{21700}{4} = 5425 \text{ lumen}$$

8) Elección de las lámparas. Conocida la cantidad de Lumen que debe entregar cada artefacto, se elige la cantidad de lámparas o tubos fluorescentes de acuerdo al flujo que entrega cada una. En el caso de utilizarse lámparas incandescentes se consultará la tabla correspondiente contenida en nuestra lección anterior. Si se tratara de tubos fluorescentes podemos acudir a los siguientes datos

Tubos de 20 W.....1000 Lumen

Tubos de 40 W.....2800 Lumen

Por ejemplo, se pueden disponer 4 lámparas incandescentes, de 100 Watt, ya que cada una entrega 1380 Lumen, o bien, cuatro tubos fluorescentes de 40 Watt, los que a razón de 2800 Lumen cada uno representan aproximadamente los 5425 Lumen requeridos.

TUBOS PARA LETREROS LUMINOSOS

Analizamos por separado la construcción y funcionamiento de estos tubos ya que no se los destina para iluminación, sino que son usados exclusivamente como elementos decorativos o bien en publicidad formando parte de letreros luminosos.

Estos tubos son de alta tensión y podemos considerarlos dentro de la familia de las lámparas de descarga de baja presión, trabajan con tensiones alternas com-

prendidas entre 2000 y 8000 Volt.

El color de la luz emitida depende esencialmente de la naturaleza del gas, como así también de la eventual coloración del vidrio del tubo o de los polvos fluorescentes de que esté recubierto interiormente.

Cabe destacar que la eficacia luminosa de estos tubos depende de la intensidad de corriente y de su diámetro; para un mismo diámetro, si se duplica la intensidad de corriente prácticamente se dobla el flujo luminoso. Para una misma intensidad de corriente, el aumento del diámetro provoca una disminución del flujo luminoso. Debe interpretarse que no todas las combinaciones de diámetro y corriente son posibles, por ejemplo, un tubo de 10 mm de diámetro atravesado por una corriente de 100 miliamper, se calentaría excesivamente y se rompería al caer sobre el mismo una simple gota de lluvia.

Los electrodos de los tubos de alta tensión están constituidos por espigas o cilindros metálicos, ubicados uno en cada extremo del tubo, por no tener filamento son llamados "tubos de cátodo frío".

Coloración

De acuerdo a los gases contenidos en los tubos, polvos fluorescentes y coloración del vidrio, se consiguen distintas variantes, por ejemplo:

Neón	Rojo
Helio	Rosa
Neón-Helio	Ambar
Neón-Helio	Naranja
Argón	Azul
Vapor de mercurio	Blanco azulado
Argón-mercurio	Azul
Argón-mercurio	Blanco
Argón-mercurio	Verde
Argón-mercurio	Amarillo
Xenón	Blanco

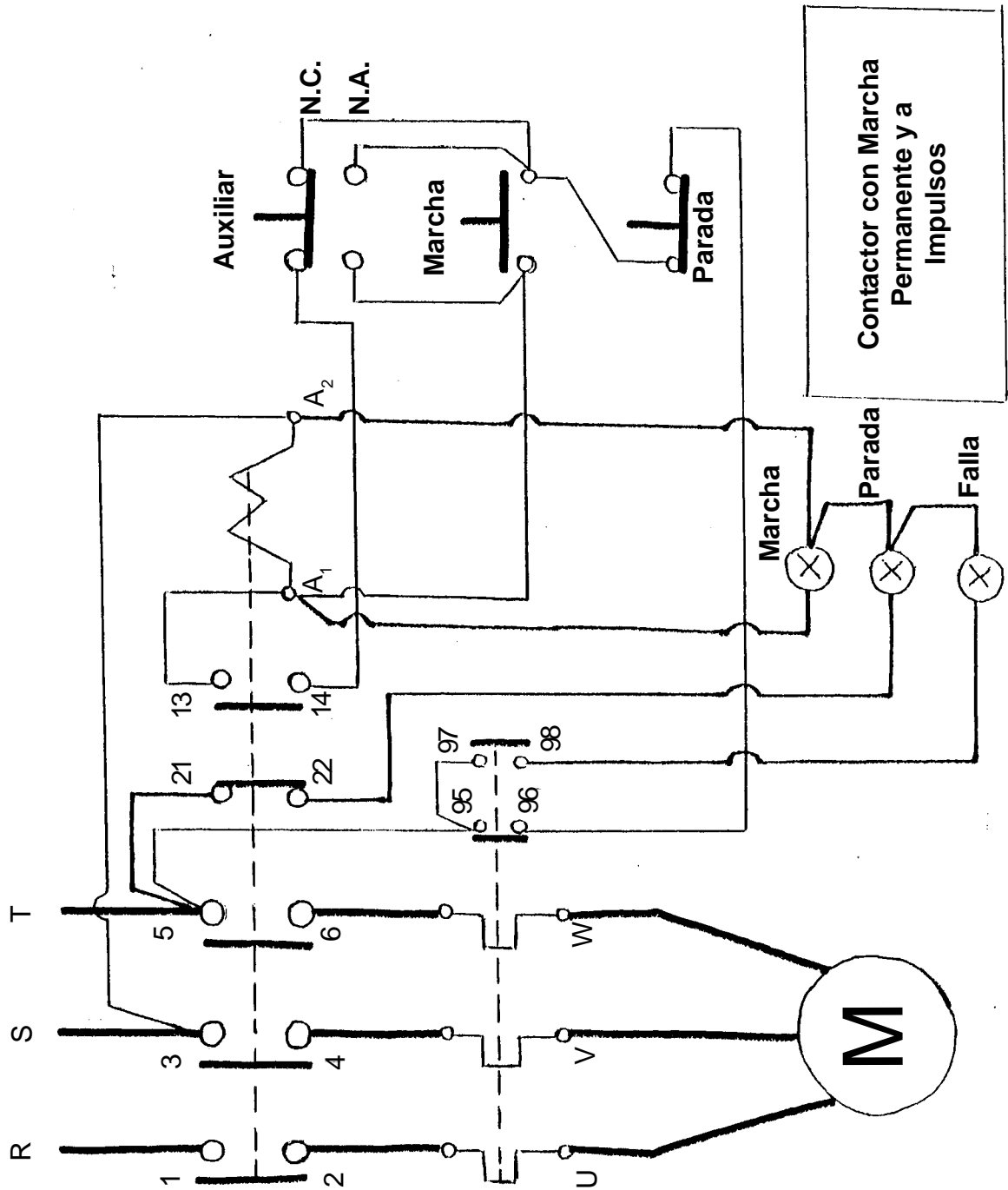
Conexionado

Tal como se observa en la figura 19, los tubos de alta tensión se conectan en serie formando grupos alimentados por transformadores especiales de alta tensión. Estos, además de elevar la tensión, estabilizan y controlan la descarga evitando la destrucción de los tubos por corrientes excesivas.

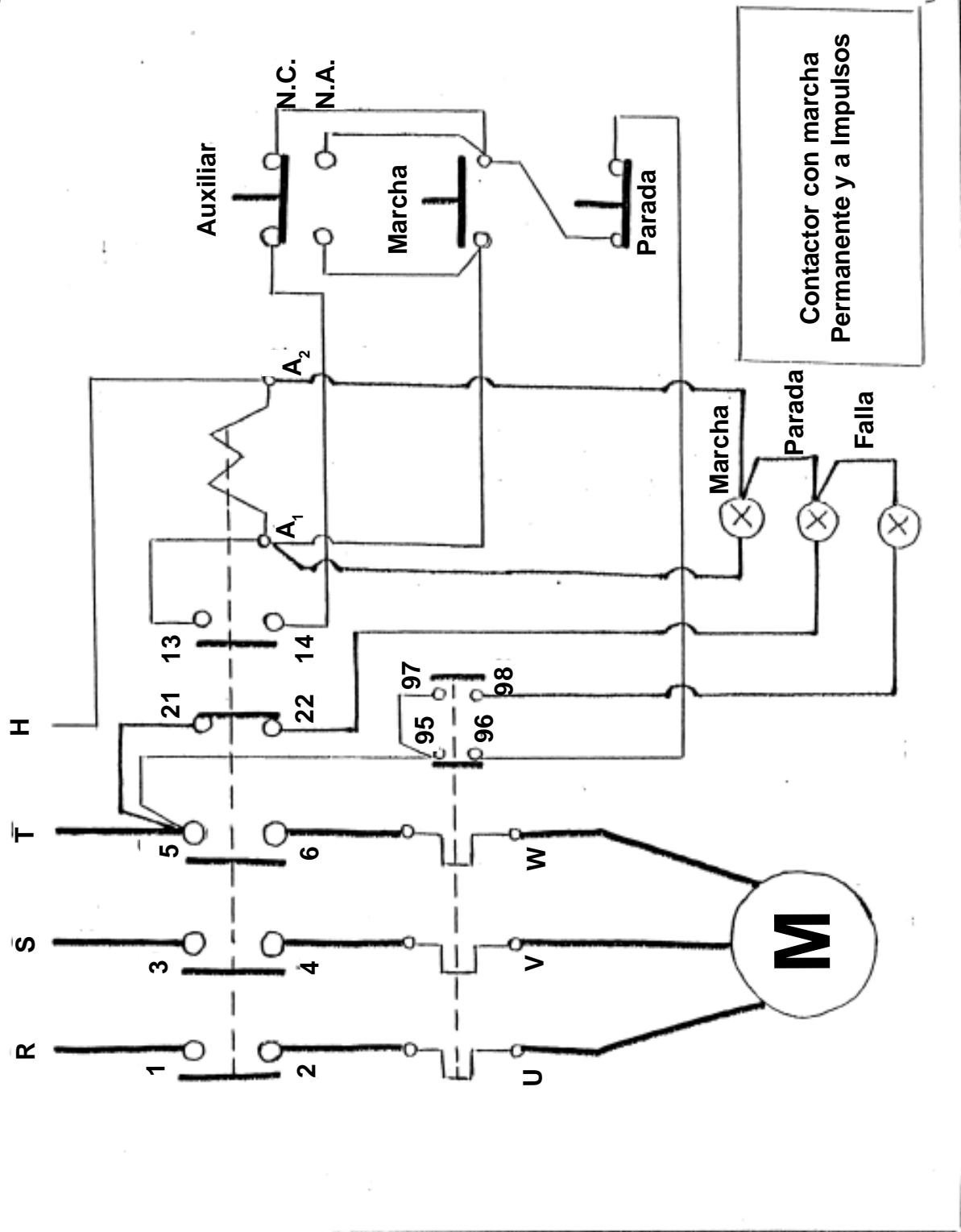
Una de las ventajas de estos tubos es su encendido instantáneo y una prolongada vida útil lo que permite una gran difusión en los letreros luminosos, generalmente sujetos a sucesivos destellos y ubicados en lugares que no facilitan su reposición en caso de avería.

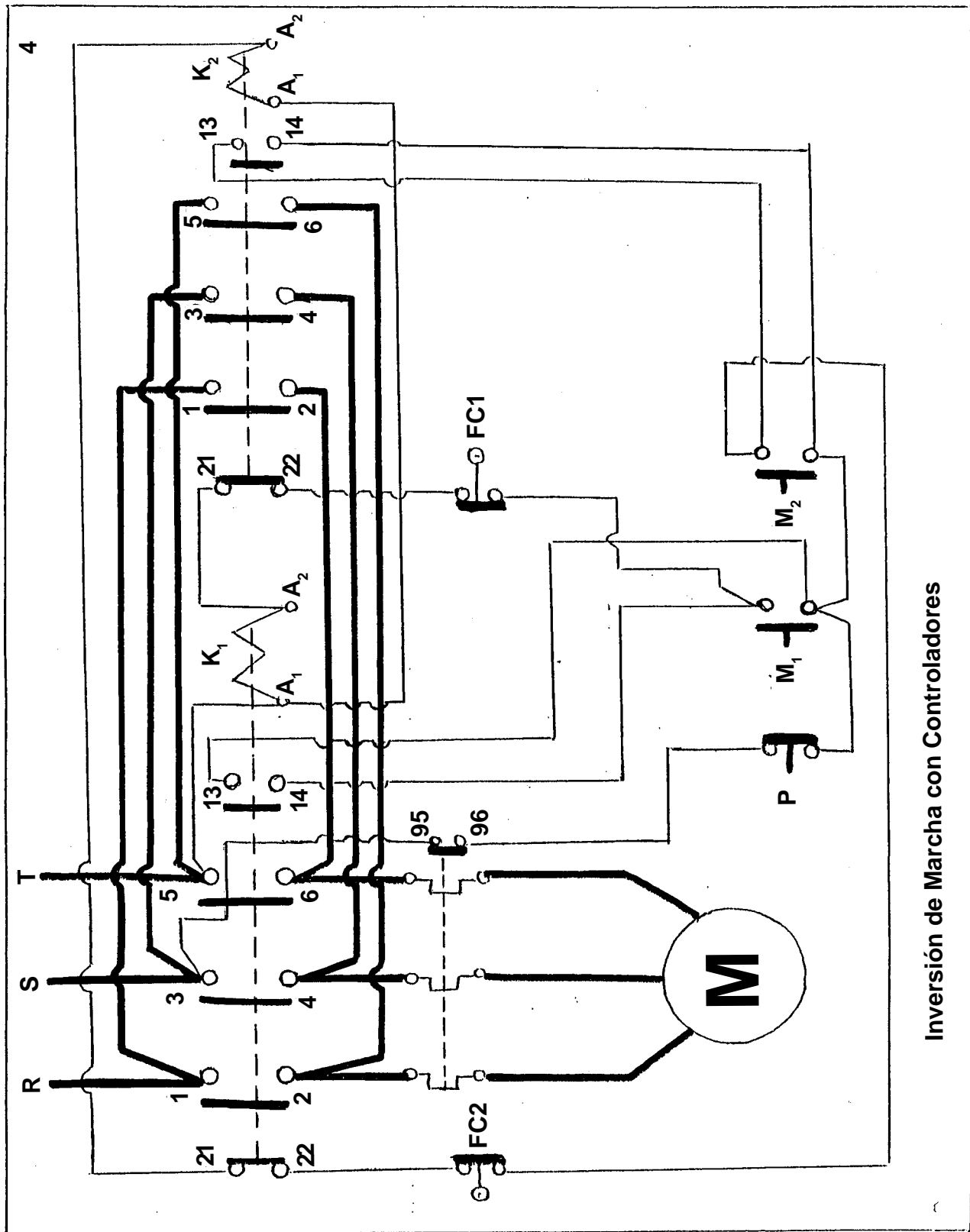
Dada la importancia de los temas contenidos en esta lección le sugerimos estudiarla detenidamente y contestar el cuestionario adjunto remitiéndolo para su control y calificación.

3

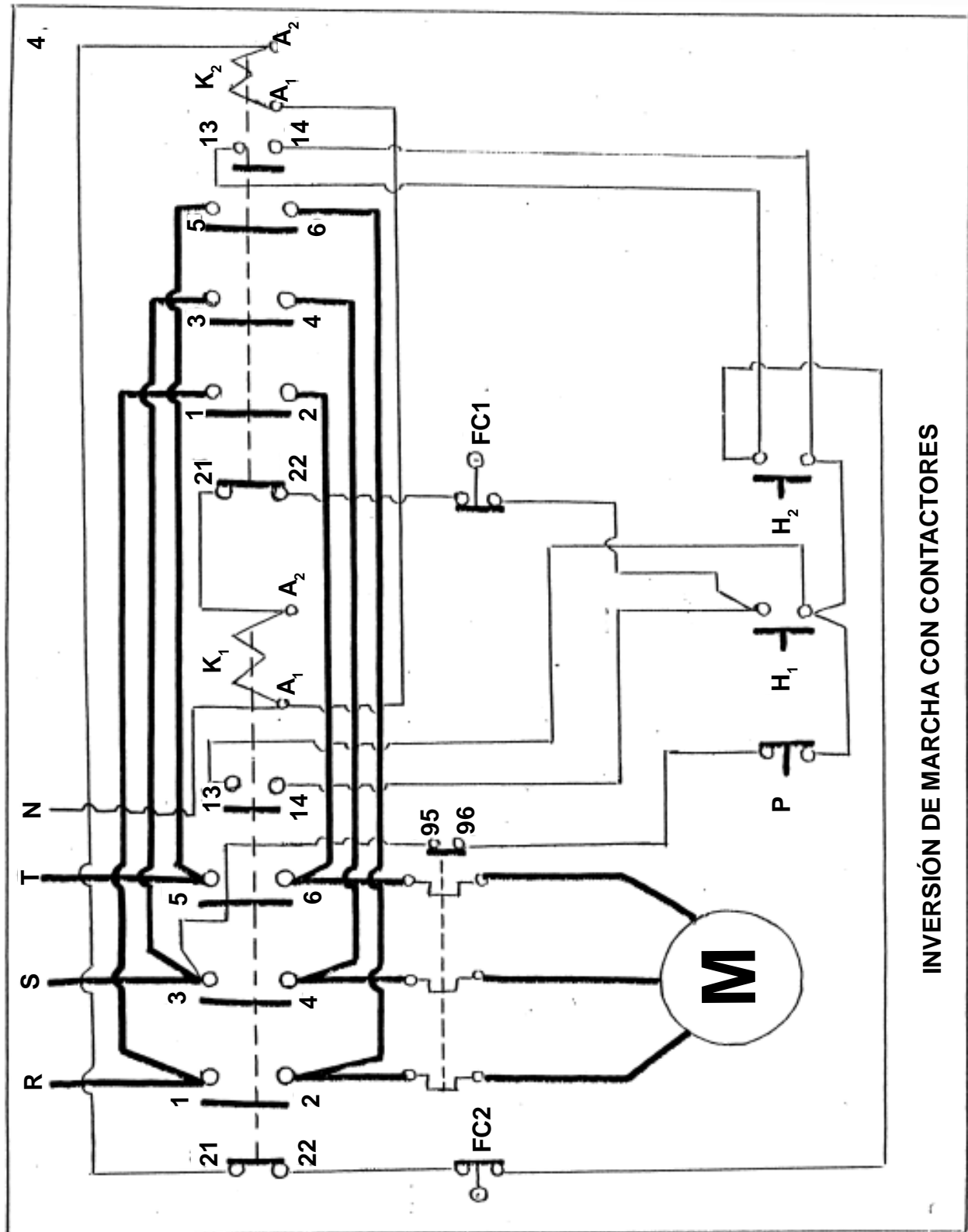


3





Inversión de Marcha con Controladores



INVERSIÓN DE MARCHA CON CONTACTORES

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

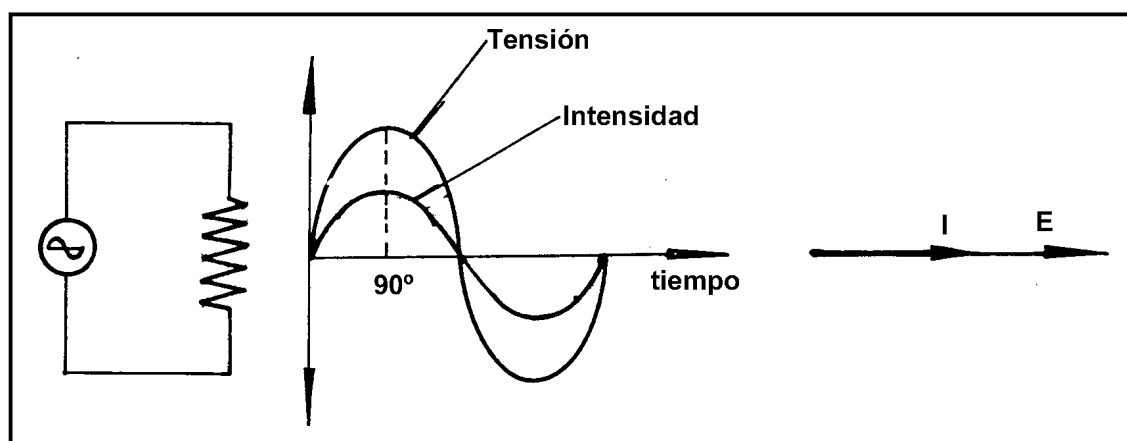


Fig.1: En los circuitos resistivos, la intensidad se encuentra en fase con la tensión.

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

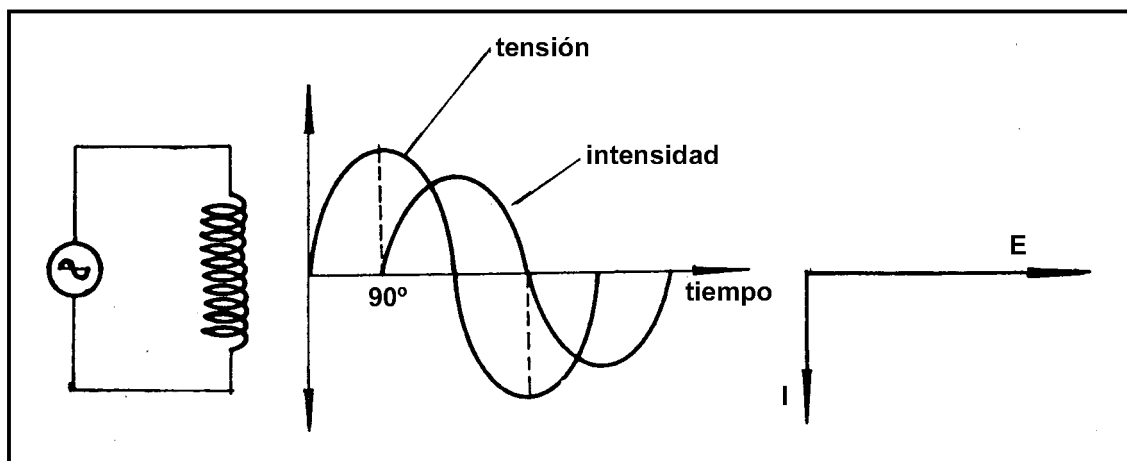


Fig.2: En un circuito inductivo ideal, la corriente atrasa 90° con respecto a la tensión.

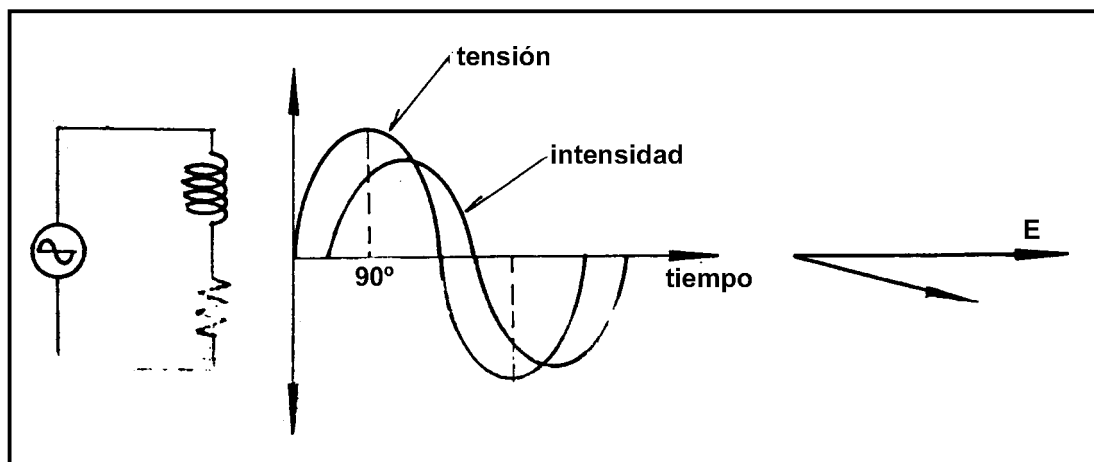


Fig.3: En los circuitos inductivos reales, la intensidad atrasa menos de 90° con respecto a la

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.

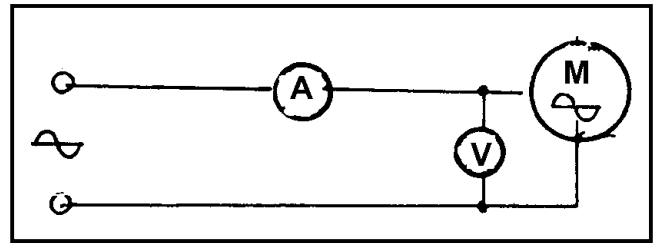


Fig.4: El producto de la lectura del instrumento, indica la potencia aparente.

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.

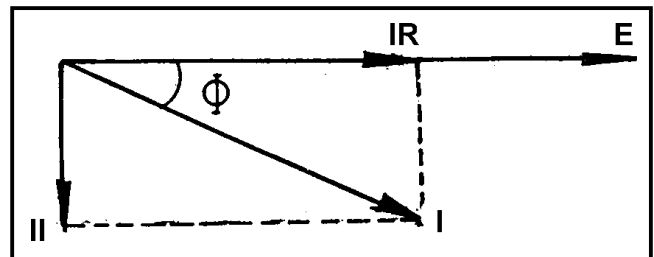


Fig.5: Diagrama vectorial de un circuito inductivo real.

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

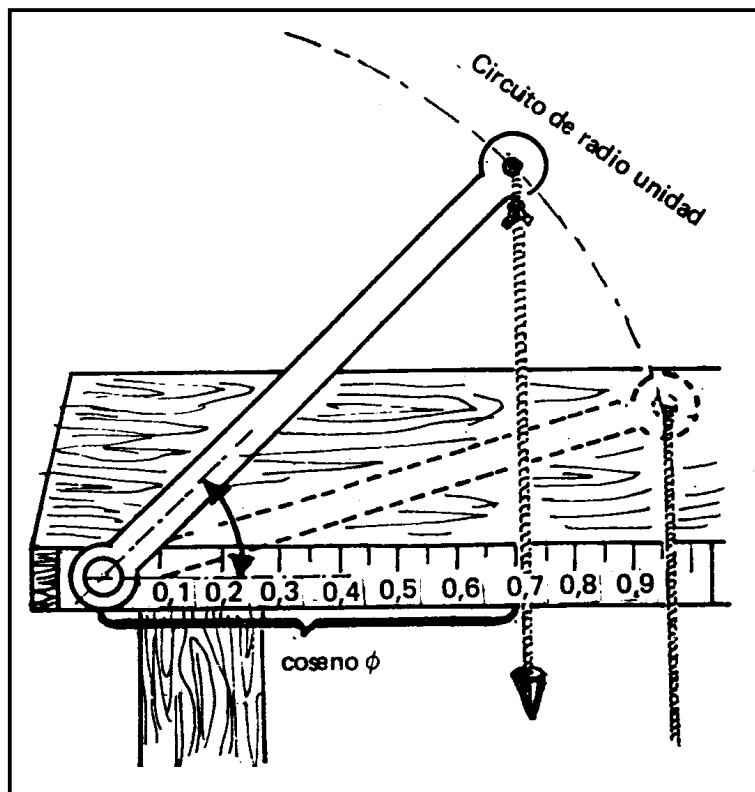


Fig. 6: A medida que el brazo móvil se acerca a la posición vertical, el coseno se reduce.

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;

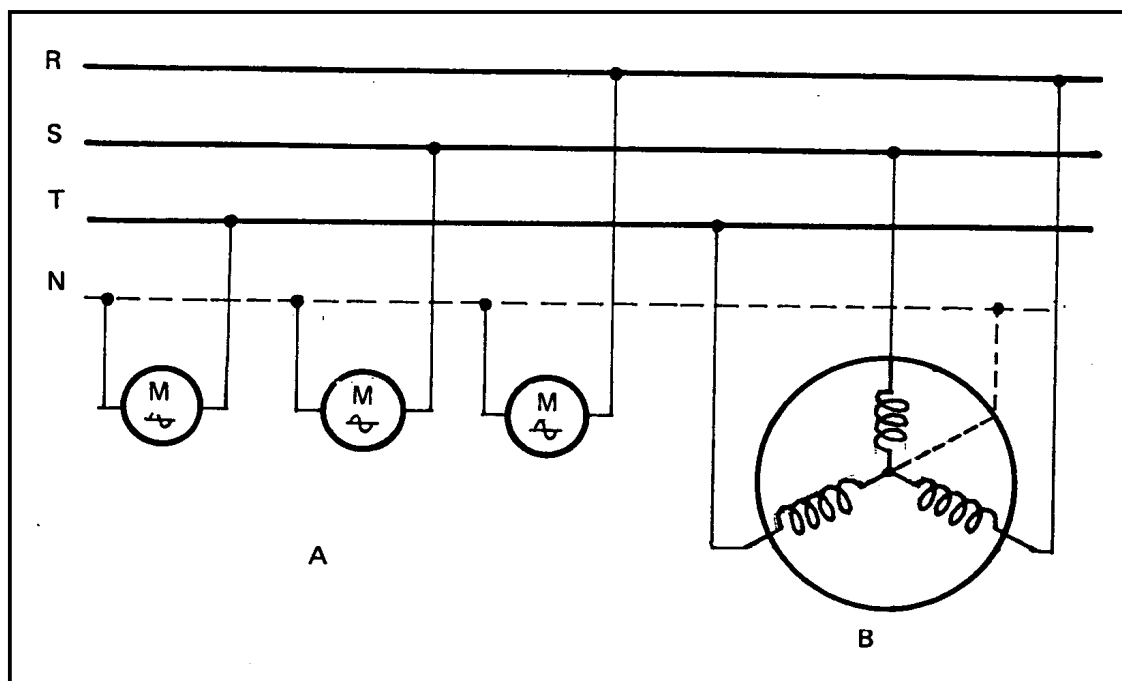


Fig. 7: Conexionado equivalente de un motor trifásico y tres motores monofásicos..

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

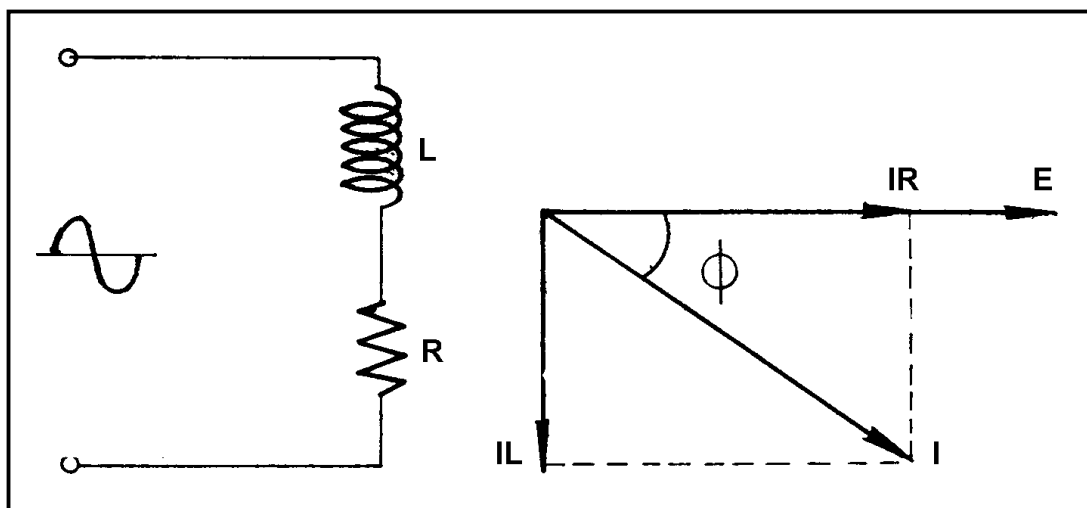


Fig. 8: Diagrama vectorial de un motor de C.A. sin corrección del coseno ϕ .

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	-	-	-	-

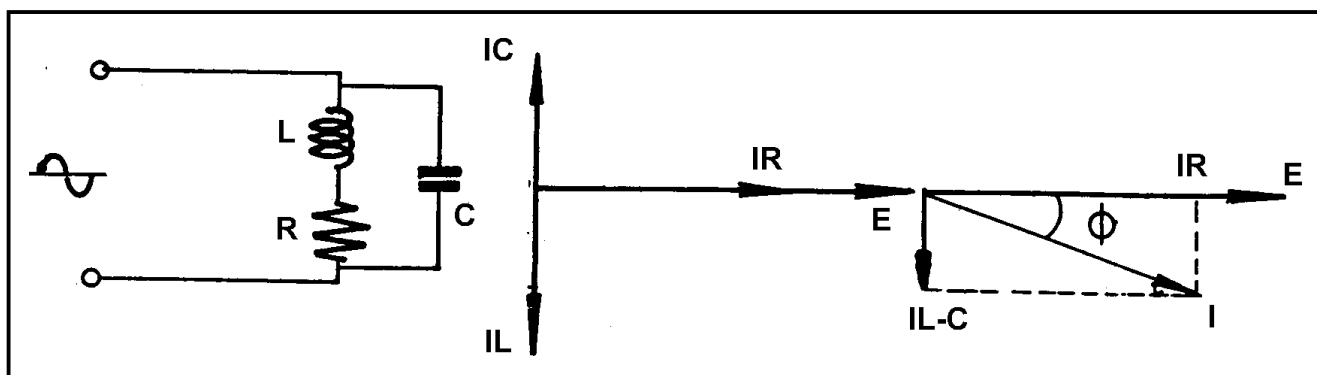


Fig. 9: Diagrama vectorial de un motor de CA, con corrección de coseno ϕ .

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 Ampere;

Sección.....10 mm² y

Fus..... 50 Ampere

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.

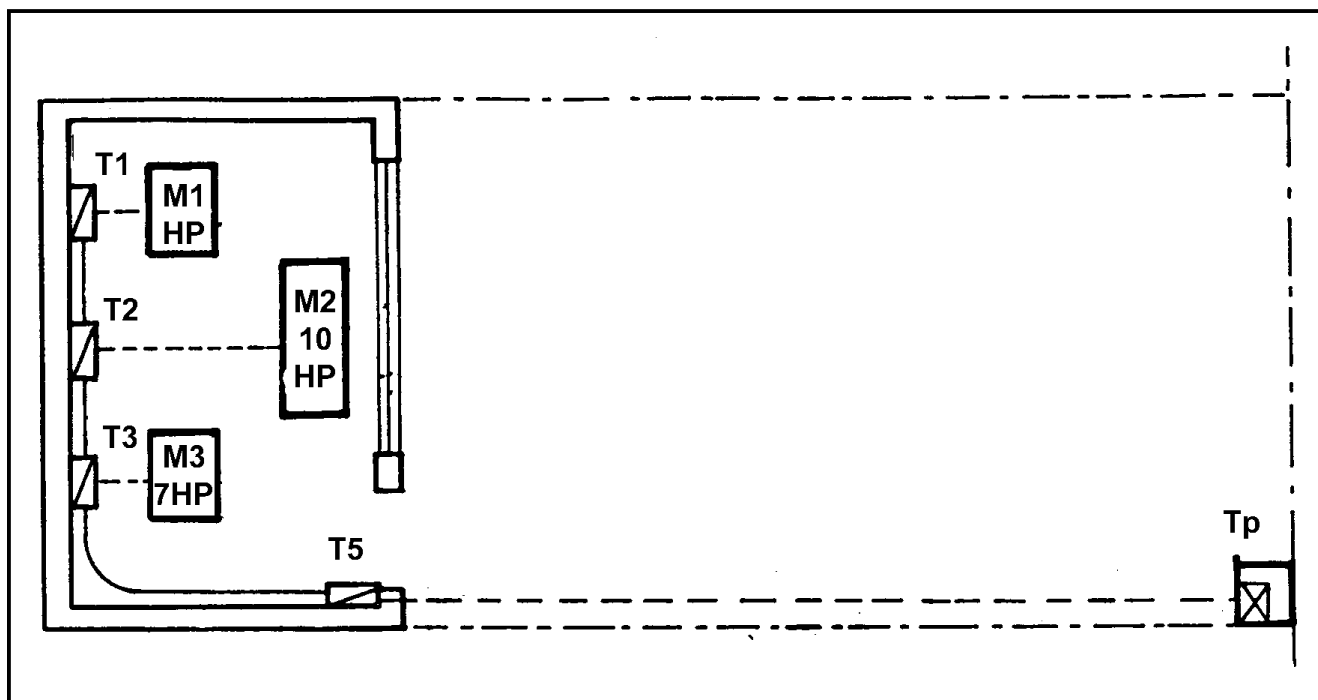


Fig. 10: Plano de una instalación de fuerza móvil.

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 tramos 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.

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACION INSTALACIONES ELECTRICAS

ESTIMADO ALUMNO:

Este cuestionario tiene por objeto que Ud. mismo compruebe la evolución de su aprendizaje. Lea atentamente cada pregunta y en hoja aparte escriba la respuesta que estime correcta. Una vez que ha respondido todo el cuestionario compare sus respuestas con las que están en la hoja siguiente.

Si notara importantes diferencias le sugerimos vuelva a estudiar la lección.

Conserve en su carpeta todas las hojas, para que pueda consultarlas en el futuro.

- 1) ¿Qué usos se les da a las lámparas de vapor de sodio?
- 2) ¿Por qué al apagar y encender nuevamente una lámpara de vapor de mercurio demora unos minutos en emitir luz?
- 3) ¿Qué es el efecto estroboscópico?
- 4) Nombre los distintos tipos de iluminación o sistemas de alumbrado
- 5) ¿Cómo verifica una conexión para comprobar que no existe cortocircuito?
- 6) ¿Cómo se identifica un contacto normal abierto y un contacto normal cerrado en un pulsador?
- 7) ¿Cómo se invierte el sentido de giro de un motor trifásico?
- 8) ¿Qué utilidad tienen los finales de carrera?

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACION INSTALACIONES ELECTRICAS

RESPUESTAS

- 1) Su luz monocromática (de un solo color, en este caso anaranjado), no permite una buena diferenciación de los colores. Por ello se emplean generalmente para iluminación de exteriores, sobre todo para alumbrado en calles, carreteras, etc.
- 2) Esto se debe a que el mercurio vaporizado debe volver a su estado líquido. Para ello es necesario un descenso de temperatura y presión en el interior de la lámpara.
- 3) Es el destello o «parpadeo» que se produce durante el funcionamiento de los tubos fluorescentes y en general, de todas las lámparas de descarga gaseosa.
- 4) Iluminación: directa, indirecta, semidirecta, semi indirecta y difusa.
- 5) Sin tensión, se conecta el tester como óhmetro a la entrada del circuito. Al oprimir el pulsador o cerrar el interruptor (según el caso), debe acusar una cierta resistencia, lo cual indica la inexistencia del cortocircuito. Si el óhmetro marca cero, está acusando la presencia de un cortocircuito.
- 6) Al conectar el óhmetro a un contacto normal abierto debe marcar infinito y al presionar el pulsador debe acusar continuidad.
Al hacerlo en un contacto normal cerrado, el óhmetro marcará continuidad al principio y al presionar el pulsador indicará infinito.
- 7) Se invierte la conexión de dos cualesquiera de las tres fases.
- 8) Permitir la detención automática de un mecanismo accionado por un motor eléctrico.
(Ej: cortina de garaje).

