

PROTECCIÓN DE MOTORES

Introducción

Los motores eléctricos de inducción en corriente alterna, son los dispositivos más usados cotidianamente para la ejecución de trabajos mecánicos. Los encontramos en todo tipo de aplicación: ventilación, refrigeración, aire acondicionado, bombeo, molinos, medios transportadores, etc., etc.

Las principales causas por las que estos dispositivos sufren daños irreparables, se deben a las alteraciones del suministro eléctrico, exceso de trabajo mecánico asociado y problemas en la instalación eléctrica que alimenta al motor. En un segundo plano se encuentran los problemas asociados al deterioro de las partes que componen el motor.

Tanto los motores monofásicos como los trifásicos son susceptibles a desperfectos debido a las causas antes mencionadas.

Alteraciones del suministro eléctrico

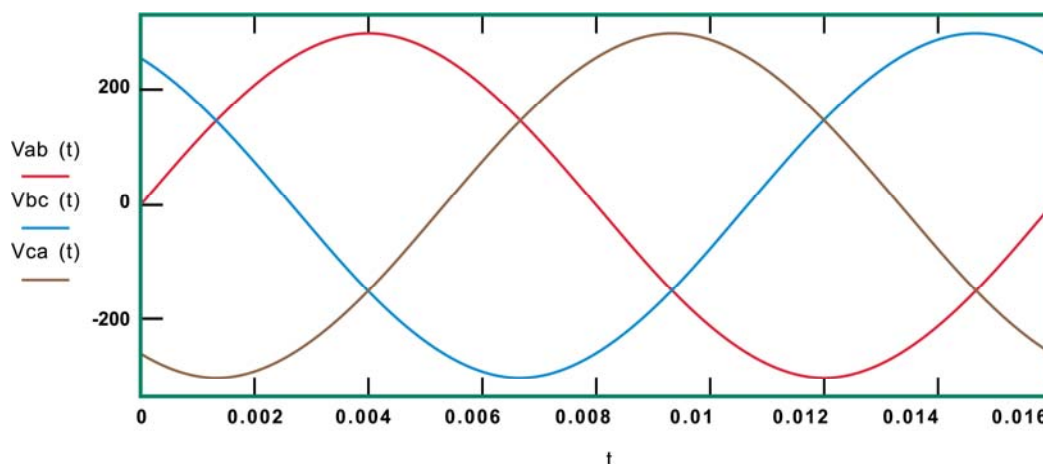
El desbalance de voltaje, la pérdida de una fase, la inversión de secuencia, el bajo voltaje y alto voltaje son alteraciones del suministro eléctrico que causan daños irreversibles a los motores eléctricos.

Estas alteraciones dañan los motores y reducen su tiempo de vida. Incluso, pueden ocasionar accidentes que involucren al personal humano que interactúen con ellos.

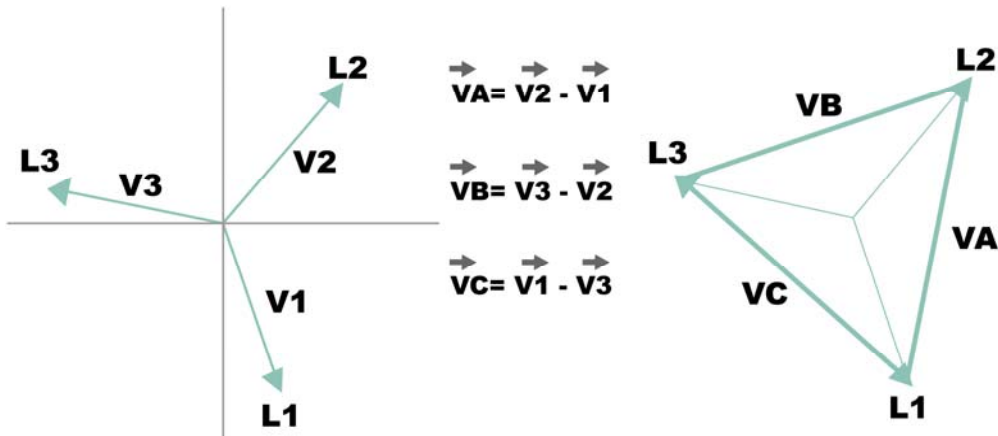
.-Suministro Eléctrico:

La distribución de energía eléctrica consiste en el suministro de energía, mediante tres ondas de tensión sinusoidales desfasadas una de la otra en 120 grados.

Una manera de representar estas formas de onda es la gráfica de voltaje en función del tiempo:

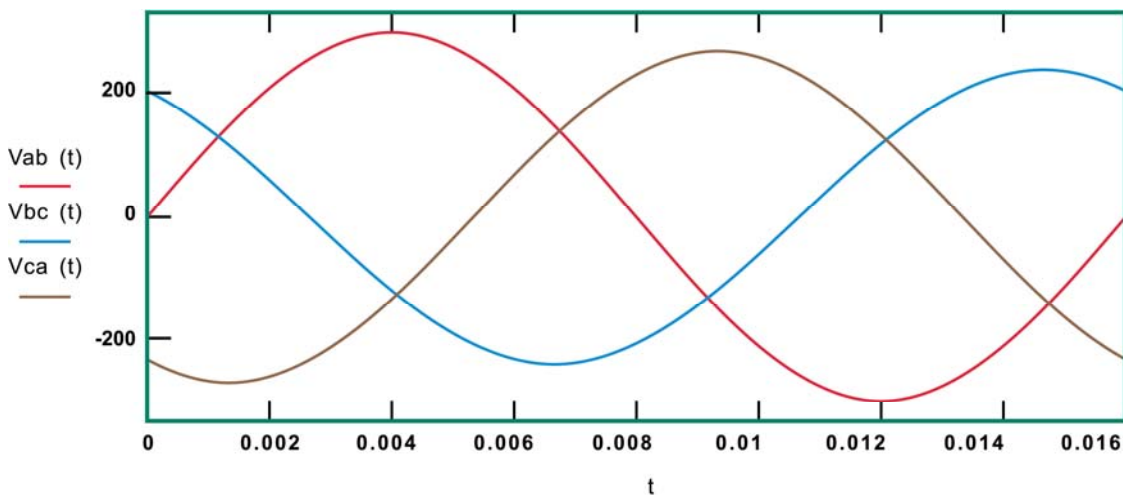


Otra forma de representar estas ondas, es usando vectores para cada una de ellas (Fasores). Con ello representamos la tensión entre cada línea de distribución de energía y el neutro, llamándose estos voltajes de red (V_1, V_2, V_3) o llamándolos voltajes de línea (V_a, V_b, V_c) si representamos la tensión entre las fases.

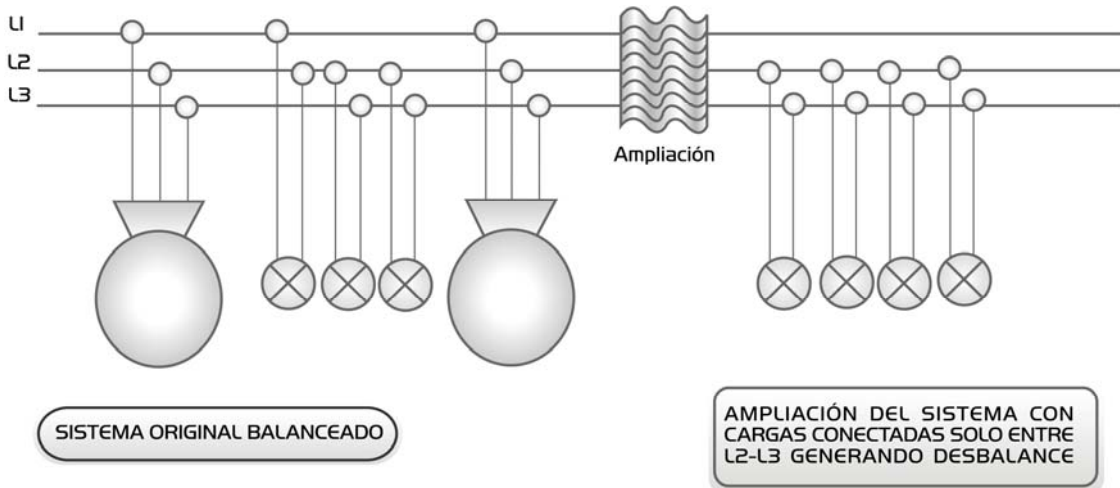


.-Desbalance de Voltaje:

El desbalance de voltaje (VUB) es la alteración del suministro eléctrico más dañina a la que puede estar sometido un motor eléctrico. Aparece con la incorporación desbalanceada de cargas monofásicas a las líneas, provocando que unas tengan más o menos carga que otras. Esta incorporación asimétrica de cargas monofásicas, provocará valores de voltaje distintos entre las fases.



Generalmente, en las instalaciones nuevas se pone especial cuidado en balancear la distribución de las cargas en cada fase. Sin embargo, a medida que se incorporan nuevos equipos monofásicos al suministro eléctrico comienza a presentarse el desbalance de voltaje.



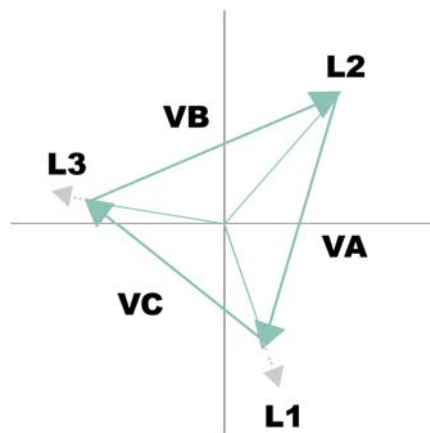
Las normas NEMA establecen el desbalance de voltaje (VUB), como la máxima desviación de uno de los voltajes de fase con respecto al promedio de los tres voltajes de fase.

Voltaje promedio $V_{prom} = \frac{V1 + V2 + V3}{3}$

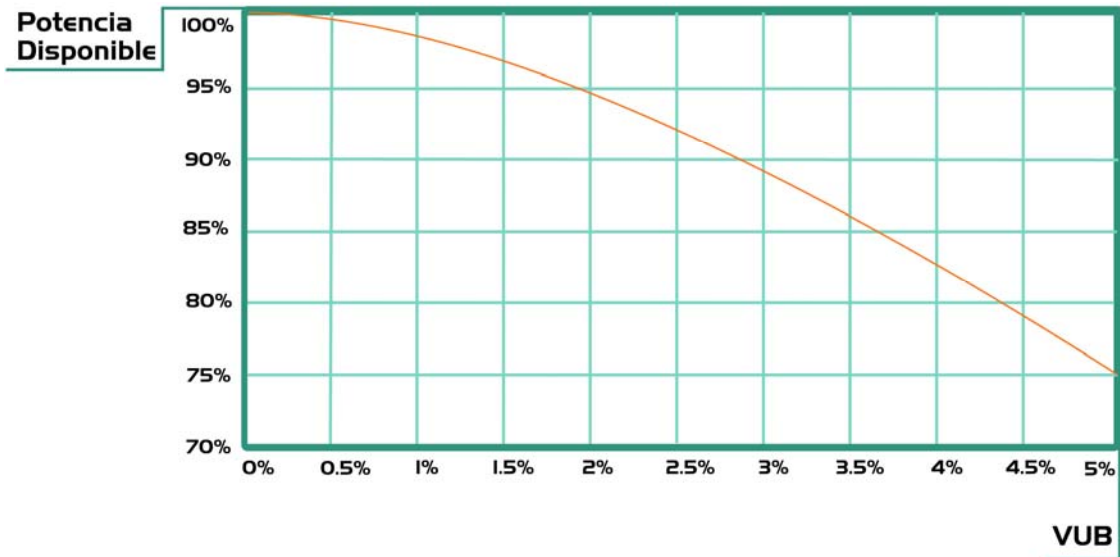
Desviación de cada voltaje con respecto al Voltaje Promedio

$$\Delta V1 = \frac{|V1 - V_{prom}|}{V_{prom}} \cdot 100 \quad \Delta V2 = \frac{|V2 - V_{prom}|}{V_{prom}} \cdot 100 \quad \Delta V3 = \frac{|V3 - V_{prom}|}{V_{prom}} \cdot 100$$

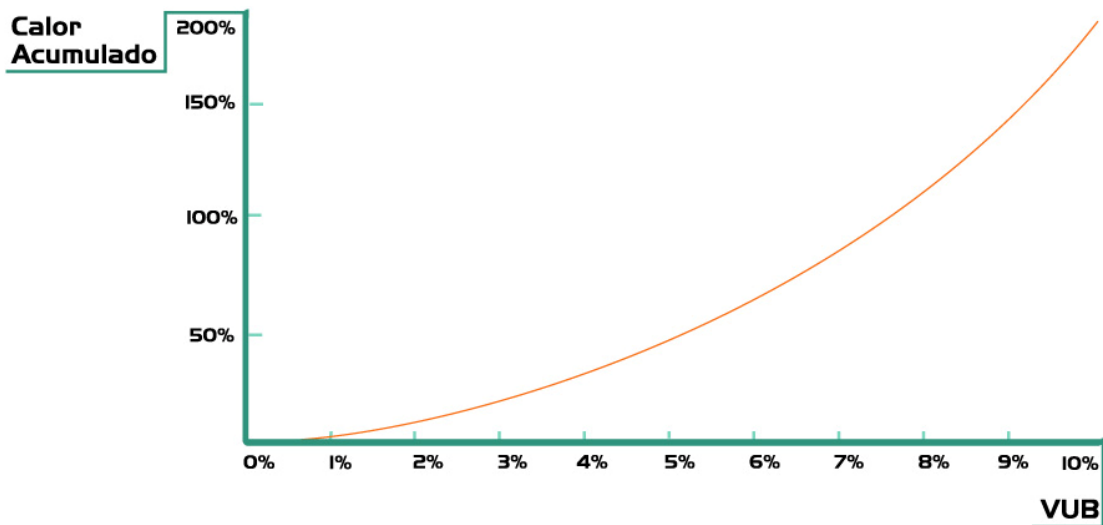
Finalmente el desbalance es igual a: $VUB = \max(\Delta V1, \Delta V2, \Delta V3)$



El principal problema que provocará el desbalance de voltaje (VUB) a un motor eléctrico en marcha, es el aumento de la temperatura del motor. Ello, debido a la aparición de corrientes de secuencia negativa en sus arrollados. Estas corrientes, producirán un campo electromagnético contrario al que impulsa el sentido de giro que posee el motor. Este campo electromagnético contrario, provocara una perdida de la potencia relativa del motor y dicha perdida se convertirá en más calor para los arrollados.

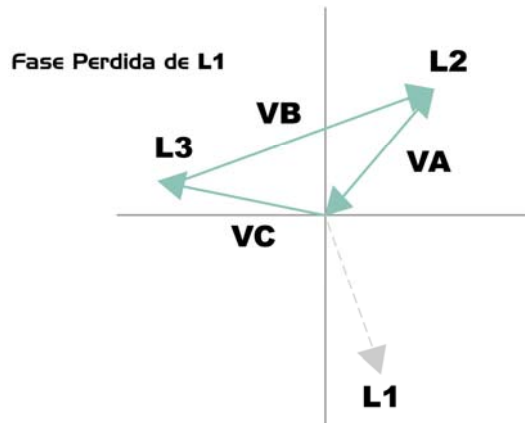


Un desbalance de voltaje (VUB) del 5% provocara una pérdida de la potencia relativa del 25% y un aumento del calor presente en los arrollados del motor. El aumento del calor deteriorará de manera progresiva y acumulativa dichos arrollados y en consecuencia disminuirá la vida útil del motor. El porcentaje de sobrecalentamiento del motor será directamente proporcional a dos veces el cuadrado del porcentaje de desbalance de voltaje (VUB).

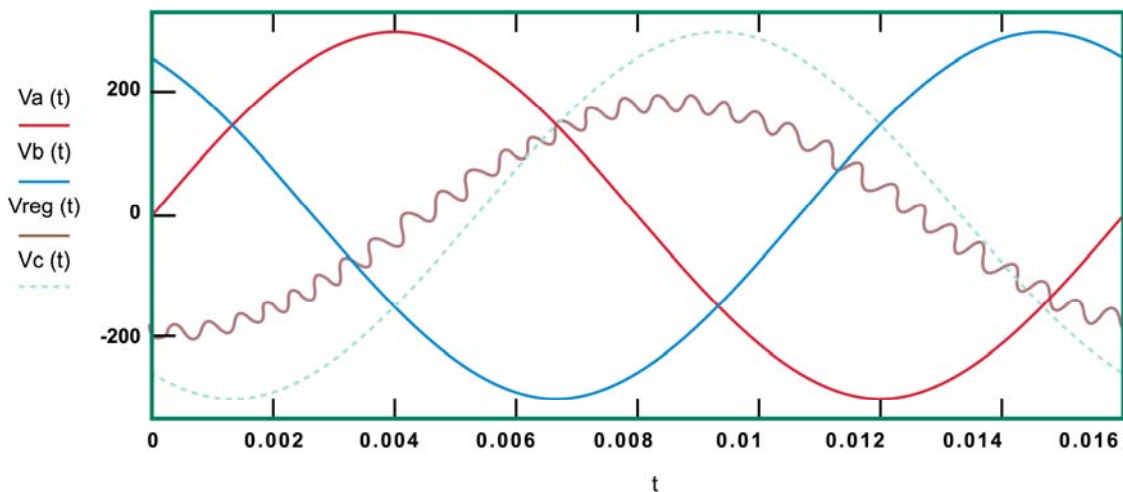


-Pérdida de una Fase:

La pérdida de una fase (VSP) se considera como el caso extremo de un desbalance de voltaje.



Un motor trifásico en marcha que pierda una fase (VSP), continuara girando obteniendo la energía que requiere de las dos fases restantes, esto se traduce en un aumento significativo de las corrientes en las fases restantes y en consecuencia de la temperatura de los arrollados del motor. En muchos casos, dependiendo de la carga asociada, el motor es capaz de regenerar la fase perdida.



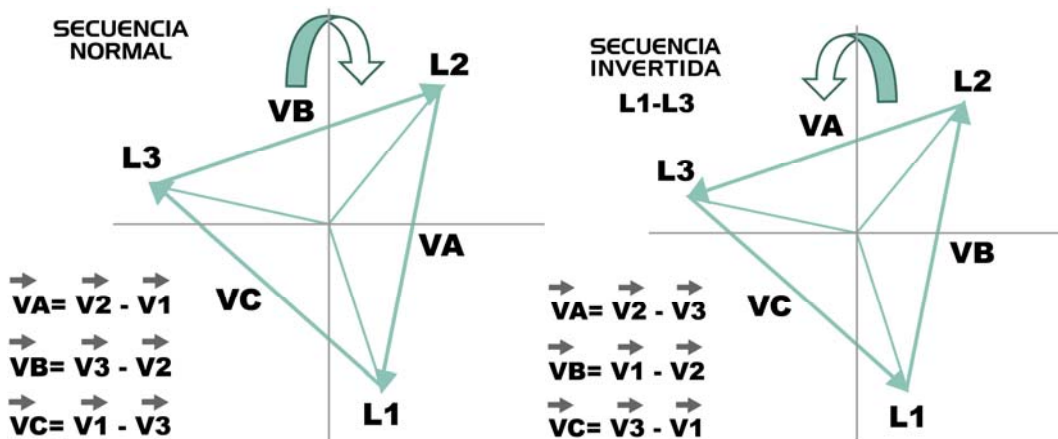
La frecuencia Fundamental de la onda regenerada es la misma, pero la amplitud y la fase varían. Para reconocer una onda regenerada se hace necesario detectar la desviación del ángulo de fase de dicha onda y la variación del desbalance del sistema.

Al poner en marcha un motor trifásico en ausencia de una fase, este consumirá en las dos fases restantes, una corriente equivalente a la denominada como rotor trancado (LRA). Dicha corriente generará un sobrecalentamiento de tal magnitud, que en pocos segundos destruirán completamente los arrollados del motor.

.-Inversión de Secuencia:

La inversión de dos de las tres fases, puede causar daños a maquinas o producir accidentes personales al hacer girar los motores en sentido inverso.

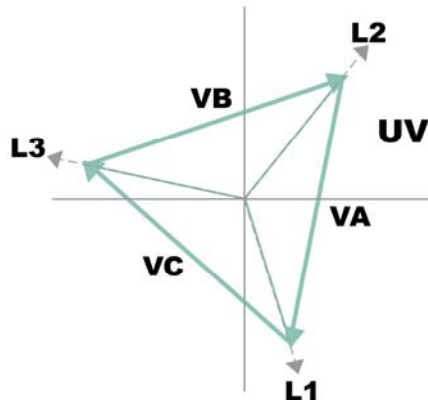
Una inversión en la secuencia de las fases, suele ocurrir cuando se modifican las instalaciones eléctricas y durante las labores de mantenimiento del cableado.



.-Bajo Voltaje y Sobrevoltaje:

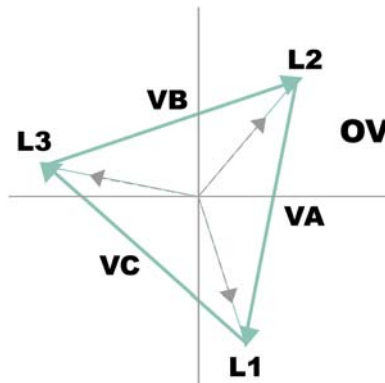
Las condiciones de bajo voltaje (UV) y sobrevoltaje (OV) se deben principalmente a sobrecarga de los circuitos y/o regulación defectuosa.

Un motor eléctrico que opere en presencia de bajo voltaje (UV), aumentará las corrientes de trabajo y en consecuencia se sobrecalentarán sus arrollados. Una combinación de voltaje bajo (UV) y desbalance de voltaje (VUB) producirá un mayor sobrecalentamiento del que producen estas alteraciones por separado.



Una variación del -10% del voltaje de operación especificado por el fabricante del motor, se traducirá en un peligroso incremento de las corrientes y un sobrecalentamiento de los arrollados del mismo.

Un motor eléctrico que opere en presencia de sobrevoltaje (OV) se sobrecalentará innecesariamente. Esta condición es especialmente peligrosa si el motor se encuentra a rotor trancado, la corriente que consumirá será superior a la corriente a rotor trancado (LRA).



Una variación $+10\%$, del voltaje especificado por el fabricante del motor, se traducirá en un peligroso e innecesario sobrecalentamiento de los arrollados. Si el motor, bajo esta condición de sobrevoltaje, llegase a encontrarse mecánicamente trancado, incrementará el valor de su corriente de rotor trancado (LRA).

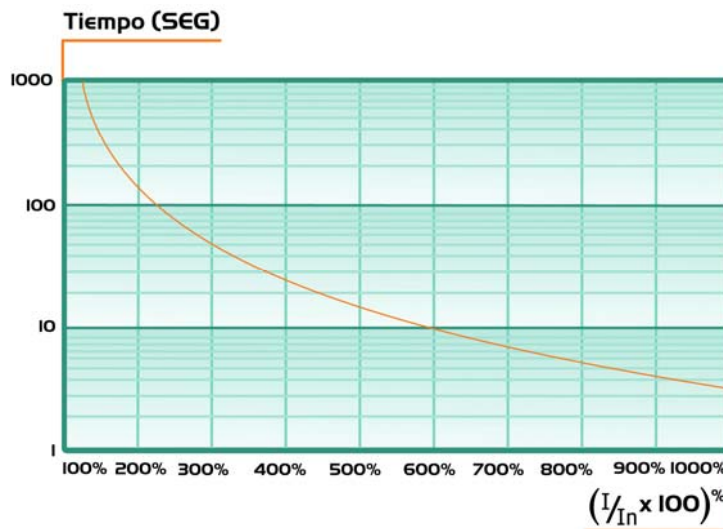
Trabajo mecánico asociado al motor:

El trabajo mecánico asociado a un motor eléctrico posee múltiples naturalezas: compresión de gases, ventilación, bombeo de líquidos, transporte de cargas, etc. En todas estas aplicaciones, la energía consumida siempre es eléctrica y el consumo será mayor o menor dependiendo del esfuerzo al que sea sometido el motor. La energía consumida fluirá hacia el motor con las corrientes de trabajo, estas pueden variar, a mayor esfuerzo mayor corriente, a menor esfuerzo menor corriente.

Todo motor, posee una corriente nominal de trabajo (I_n o RLA) inherente a su construcción y al esfuerzo que sea capaz de desempeñar (HP). La corriente nominal (I_n o RLA), es la necesaria para que el motor realice el esfuerzo nominal (HP) especificado por el fabricante.

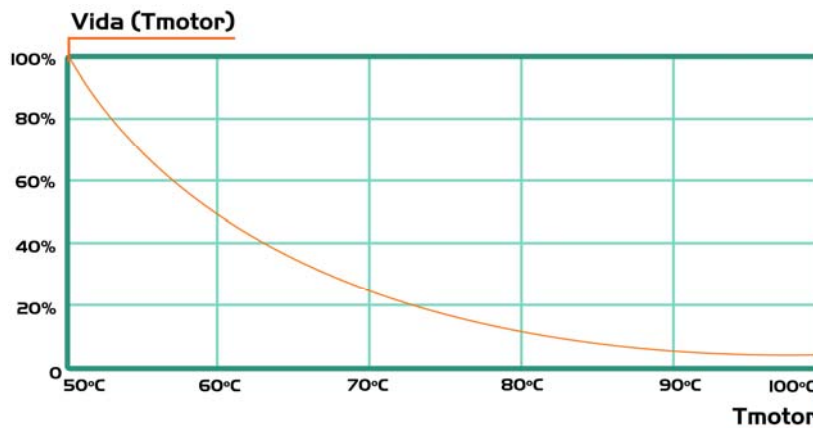
La mayoría de los motores permiten exigirles un esfuerzo mecánico adicional sin poner en peligro su integridad física. Esa capacidad de sobre esforzarse sin peligro alguno, se llama factor de servicio. Tal sobre esfuerzo provocara que la corriente de trabajo sea mayor que la corriente nominal (I_n o RLA). Esta se conoce como corriente de factor de servicio (FLA).

Un motor que opere con una corriente superior a la corriente de factor de servicio, estará sometido a una sobrecarga (OC) e incrementara el calor de sus arrollados peligrosamente. Si dicho evento es sostenido en el tiempo, el motor se calentara por encima de su temperatura máxima permitida. Esto afectara la integridad sus arrollados de manera irreversible. El tiempo que tarda un motor, trabajando con una sobrecarga (OC), en calentarse hasta el punto en que se destruyan sus arrollados, es variable y dependerá del valor de la corriente que este consumiendo producto del sobre esfuerzo. Si la sobrecarga mecánica es lo suficiente alta como para que el motor no pueda girar (rotor trancado), este consumirá una corriente seis veces superior a la corriente nominal. Esta corriente se llama corriente a rotor trancado (LRA).



Tiempo de Falla Vs Nivel de Sobrecarga (Motor Clase IO)

La vida útil e integridad de los arrollados del motor, depende del aislamiento que posee el alambre de cobre con que están contruidos. La temperatura es el principal enemigo del aislamiento. La vida útil del aislante se reduce a la mitad por cada 10 grados centígrados adicionales a la temperatura máxima de operación especificada por el fabricante del motor.



El aumento en los valores de la corriente del motor, también ocurre debido a situaciones en donde el motor opere con bajo voltaje o sobrevoltaje. Estas situaciones indeseables, provocarán un aumento de las corrientes de trabajo del motor y de la temperatura de sus arrollados. Un motor que trabaje simultáneamente con sobrecarga y bajo voltaje o sobrevoltaje, aumentará aun más sus corrientes de trabajo, en comparación con cualquiera de dichas condiciones por separado, y la temperatura interna alcanzará aceleradamente los niveles máximos permitidos.

El desbalance de voltaje provocara un calentamiento extra del motor, independiente del esfuerzo mecánico que pueda estar desempeñando. Un motor operando con una corriente cercana a la de factor de servicio y que este en presencia de desbalance de voltaje, incrementará su temperatura interna a niveles peligrosos. En esta condición la temperatura sobrepasara la máxima permitida, sin que el motor este mecánicamente sobre esforzado, destruyéndose en breve tiempo sus arrollados.

Condiciones de la instalación eléctrica:

La degradación de los dispositivos de control, el subdimensionamiento del cableado que energiza el motor y la incorporación de nuevas cargas al suministro eléctrico, son los principales problemas inherentes a la instalación eléctrica que atentan contra la vida útil del motor.

.-Degradación de los dispositivos de control:

Un motor trifásico generalmente es energizado y desenergizado por un relé contactor. Dichos relés realizan una maniobra cada vez que energizan o desenergizan un motor. Todos los relés contactores tienen un tiempo de vida útil que se mide por número de maniobras. Este número de maniobras, puede ser mayor o menor dependiendo de la cantidad de corriente que maneje el contactor. Los fabricantes de contactores siempre ofrecen información del tiempo de vida útil del contactor según la corriente que circule a través de ellos, el tipo de carga eléctrica que manejaran y el régimen de trabajo de dicha carga.

Una vez degradado un contactor es muy común que uno de los contactos se destruya completamente antes que los otros dos, quedando el motor operando exclusivamente con dos fases (CSP).

También al estar dañado algún dispositivo de control del tipo presostato, termostato, sensores de nivel, relés térmicos de sobrecarga, etc., pueden ocasionarse múltiples arranques y paradas del motor en breves intervalos de tiempo. De sostenerse en el tiempo esta condición, se dañaran los contactos del relé contactor y también el motor asociado a dicho dispositivo.

.-Subdimensionamiento del cableado que energiza al motor:

Un cableado con una capacidad conductiva igual o menor a la corriente nominal del motor, provocara situaciones de bajo voltaje justo en los segundos iniciales, entre el arranque del motor y el momento en que este alcance su velocidad nominal de trabajo (RPM). También ocurrirá lo mismo si con dicho cableado el motor opera con una corriente igual a la del factor de servicio. La magnitud de la caída de voltaje dependerá de la capacidad conductiva del cable, la longitud del cableado y del valor de la corriente de trabajo del motor.

En esta condición de subdimensionamiento del cableado, si el motor arrancase con carga, consumirá corrientes mayores a la del factor de servicio y estará en presencia de una sobrecarga (OC). Si el motor nunca llegase a alcanzar su velocidad nominal de trabajo, en pocos segundos se sobrecalentara hasta su temperatura máxima de operación.

.-Incorporación de nuevas cargas al suministro eléctrico:

De no planificar correctamente la incorporación de nuevas cargas a la red, se ocasionaran situaciones de bajo voltaje y desbalance de voltaje. En estas condiciones el motor sufrirá recalentamientos innecesarios que podrían dañarlo irreversiblemente.

Problemas inherentes a la construcción del motor:

Los motores eléctricos de inducción son maquinas sencillas en su construcción, partes propias pueden afectar su desempeño y su vida útil. Los puntos más sensibles del motor a sufrir deterioros con el uso son los conectores (bornes), la ventilación y los rodamientos.

.-Problemas en los conectores:

Los puntos de conexión del motor (bornes), se dañaran si este es sometido a múltiples arranques en breves intervalos tiempo. Existen varias conexiones por las que fluye corriente cuando energizamos un motor. Las de la bornera con los conductores que lo energizan y las de la bornera con los arrollados del motor. A estas conexiones, se les conoce con el nombre de puntos calientes. La bornera es una parte del motor llena de puntos calientes.

Cuando arrancamos un motor a carga nominal, la corriente, por muy poco tiempo, será más alta que la corriente nominal (I_n o RLA). Una vez que el motor alcance su velocidad de trabajo (RPM), la corriente será igual a la nominal (I_n o RLA). Durante el arranque la bornera se calentara intensamente, una vez el motor alcance su velocidad nominal de trabajo, la temperatura de la bornera se estabilizara a un valor o igual o superior a la de los arrollados, sin que ello ocasione daño alguno en los bornes.

Un motor sometido a múltiples arranques en breves intervalos de tiempo, nunca podrá estabilizar la temperatura de su bornera a niveles seguros, pudiendo

destruirse así los conectores. De dañarse un borne el motor se lesionará irreversiblemente, ya que operara tan solo con dos fases (CSP). Con dos o tres bornes destruidos, el motor se detendrá y tendrá que reconstruirse la bornera.

.-Falta de Ventilación:

Los motores eléctricos, requieren liberar el calor que provoca el trabajo que desempeñan. La gran mayoría posee ventilación forzada que la genera un ventilador asociado al eje del motor. En algunas construcciones de motores, la liberación de calor es realizada por métodos distintos a los del uso de aire impulsado por el ventilador.

La falta de ventilación provocara el aumento de la temperatura de los arrollados del motor, degradándose el aislamiento de los mismos y destruyéndose irremediablemente.

La ausencia de ventilación puede ser provocada por obstrucción de la entrada y salida de aire o por la inoperancia del ventilador que posee el motor.

.-Degradación de los rodamientos:

Un motor eléctrico, por lo general, posee dos rodamientos que soportan el eje del rotor. Los rodamientos tienen un tiempo vida útil y su degradación siempre terminará trancando el rotor del motor.

Un rodamiento degradado pasara por un lapso, de duración variable e incierta, con alto roce haciendo que el motor gire con sobre esfuerzo, para posteriormente atascarse definitivamente y dejar el motor a rotor trancado.

Tanto en la etapa donde el motor gira con sobre esfuerzo, debido al alto roce en el rodamiento y luego ya con este ultimo atascado, el motor estará en presencia de una sobrecarga (OC). Primero, con una corriente superior a la del factor de servicio y luego, con una corriente seis veces mayor a la nominal (corriente a rotor trancado LRA). Bajo estas condiciones el motor se dañara irremediablemente.

PROTEGIENDO MOTORES TRIFASICOS:

Proteger los motores trifásicos, se ha vuelto una necesidad imperativa para los usuarios y/o propietarios de los mismos. Ello debido a las pérdidas económicas que implican la reparación o reposición del motor dañado y las asociadas al servicio que dejaron de prestar estando fuera de operación.

La protección de un motor trifásico debe de contemplar problemas asociados a voltajes y al consumo de corriente. Para ello, se requieren de dispositivos que

estén en capacidad de supervisar los valores de voltaje y de las corrientes, con que opera el motor.

Muchos dispositivos en el mercado ofrecen protección de motores trifásicos, la oferta es amplia y contempla desde los clásicos relés térmicos de sobrecarga, los supervisores electrónicos de voltaje, los relés electrónicos de sobrecarga, hasta las últimas tecnologías de protecciones integrales y las protecciones totales para motores trifásicos. Las dos últimas ofrecen protección al motor procesando digitalmente los valores de las corrientes, de los voltajes y de la temperatura del motor simultáneamente.

.-Relés térmicos de Sobrecarga:

Generalmente la protección mas utilizada en las aplicaciones de motores trifásicos es el relé térmico de sobrecarga. A través de él fluyen las corrientes que consume el motor, calentándose y enfriándose de igual manera que este. Para ello, hacen uso de unas resistencias calentadoras por las que fluyen las corrientes del motor. Si el calor acumulado en las resistencias es mayor o igual al máximo permitido, un contacto asociado a estas, se dilatará por efecto del calor y desenergizará al motor. En ese momento, el relé térmico comenzará a enfriarse y cuando el calor remanente llegue a un nivel seguro, energizará nuevamente al motor. Por lo general los relés térmicos de sobrecarga poseen un selector, que permite programar su rearme de manera manual o automática.

Proteger un motor trifásico exclusivamente con un relé térmico de sobrecarga, es un error en el que incurren muchos profesionales electrotécnicos con consecuencias desastrosas. Estos relés, tan solo actúan en función del calor acumulado producto de las corrientes que fluyen por ellos, siendo incapaces de tomar en cuenta el sobrecalentamiento que provoca al motor el desbalance de voltaje.

Adicionalmente en condiciones de fallas de voltaje sostenidas en el tiempo, del tipo bajo voltaje, sobrevoltaje o perdida de una fase, los relés térmicos de sobrecarga, estando programados para en rearme automático, presentarán un desempeño poco satisfactorio. En estas condiciones, desconectarán el motor cuando el calor acumulado innecesariamente supere o iguale al máximo permitido. Una vez que el motor este frío, el relé térmico de sobrecarga se rearmará automáticamente y energizara al motor. Al ser la falla de voltaje sostenida en el tiempo, el relé térmico nuevamente se calentara hasta desconectar al motor, para posteriormente enfriarse y volver a energizarlo. Así este dispositivo de protección, entrara en un ciclo indefinido de maniobras de parada y arranque que dañara al motor de manera irreversible.

De igual manera que en el caso anteriormente descrito, de presentarse una sobrecarga mecánica sostenida en el tiempo, los relés térmicos de sobrecarga

entraran en ciclo indefinido de paradas y arranques, dañándose el motor supuestamente protegido.

Estando un relé térmico de sobrecarga sometido a un ciclo continuo de calentamiento y enfriamiento, producto de una falla sostenida en el tiempo, en muy poco tiempo estará descalibrado y su capacidad de protección se vera severamente afectada.

.-Protecciones por fallas de voltaje:

Actualmente, la totalidad de la oferta de protecciones de voltaje para motores trifásicos existentes en el mercado operan electrónicamente. Estas, procesan los valores de voltaje de manera analógica o digital, dependiendo de la tecnología con que estén construidas. De presentarse la falla de voltaje, desenergizarán al motor y tan solo lo reconectarán una vez desaparecida la falla.

La oferta de protecciones de voltaje para motores trifásicos es muy amplia. La diferenciación entre marcas y modelos esta comprendida por funciones de protección, temporización, ajustes, modos de rearme, visualización de las fallas, capacidad de comunicación, formato de la carcasa, etc., etc.

El uso de una protección de voltaje para proteger un motor trifásico en ningún momento descarta el uso de un relé térmico de sobrecarga. Ambas protecciones son complementarias aunque no abarquen todos los escenarios en que el motor deba ser protegido.

Lo más importante a la hora de seleccionar una protección por fallas de voltaje es que incluya, inexcusablemente, la protección por desbalance. Luego, dependiendo de la calidad del suministro eléctrico con que opera el motor, deberá considerarse si la protección debe incluir, adicionalmente, las fallas de bajo voltaje o sobrevoltaje. La perdida de una fase es un desbalance extremo. Proteger por secuencia invertida o inversión de fases, se requerirá dependiendo del tipo de aplicación que desempeñe el motor.

Es necesario tener en cuenta que para obtener el desbalance de voltaje, la protección debe de supervisar las tres fases y procesar sus valores de voltaje. De allí que la diferencia en costos con una protección que incluya todas las fallas de voltaje no es significativa para la cantidad de funciones que realizará.

Seleccionar y utilizar una protección de voltaje para un motor trifásico, no es algo sencillo. Primero que todo, se deben descartar aquellos modelos que no incluyan protección por desbalance de voltaje. Luego, se partirá de la premisa que el motor estará sobredimensionado de tal manera, que un desbalance hasta el 8% no lo sobrecalentara a niveles peligrosos, aun en presencia de un sobre esfuerzo mecánico. La mayoría de las protecciones por desbalance poseen un valor fijo del máximo permitido del 8%. Si la premisa anterior es inadmisibile, se

deberá utilizar una protección que permita ajustar el valor máximo de desbalance permitido. Es importante recordar que un desbalance de voltaje del 5% provocara un aumento de la temperatura del 50% en los arrollados del motor. Las otras funciones de protección como bajo voltaje y sobrevoltaje, deberán de tener valores permitidos similares a los que especifica el fabricante del motor. La protección por pérdida de una fase estará implícita en la de desbalance. Los dispositivos digitales reportan por separado las fallas de desbalance de voltaje y pérdida de una fase, al igual que el resto de las fallas.

.-Relés electrónicos de sobrecarga:

Estos dispositivos calculan con tecnología electrónica el calentamiento del motor en función de las corrientes que consume. Cuando el calor llegue al máximo permitido, desenergizarán al motor y lo energizaran nuevamente una vez que se haya enfriado. Algunos están en capacidad de reportar inversión en la secuencia de las fases, pero lo hacen con el motor en marcha lo que es particularmente peligroso, sobre todo en aquellos procesos con personal asociado al desempeño del motor. En ausencia de una fase solo actuarán si el motor esta en marcha, al igual que los relés térmicos de sobrecarga, calentándose el motor innecesariamente antes de ser desconectado. Estos dispositivos, son incapaces de actuar inmediatamente ante fallas de voltaje asociadas a la red y mucho menos calcular el calor provocado por el desbalance de voltaje, todo ello debido a que toman solo dos señales de voltaje exclusivamente para energizarse. También es importante destacar, que la mayoría de estos dispositivos no poseen memoria térmica y de presentarse una falla completa del suministro eléctrico, mientras el relé este enfriando al motor, la información del calor remanente en el motor se perderá y una vez desaparecida la falla de voltaje el motor arrancara con una temperatura interna elevada.

.-Relés Integrales de Protección de Motores Eléctricos:

Estos avanzados dispositivos integran la protección contra sobrecarga y fallas de voltaje en un solo elemento. Están contruidos sobre la base de microcontroladores y supervisan constantemente los valores de las tres corrientes del motor y de los tres voltajes de red. Al ocurrir una sobrecarga, desenergizarán al motor y la reconectaran una vez se haya enfriado. Para el cálculo real del calentamiento del motor, utilizan los valores de las tres corrientes y del desbalance de voltaje. De esta manera, obtienen el calor en exceso que adiciona la presencia del desbalance de voltaje y protegerán de manera precisa al motor. Su alta capacidad de procesamiento, les permite distinguir si un contacto del contactor o alguna parte del conexionado que energiza al motor, presentan alguna alteración que deje al motor operando con dos fases y de ser así lo desconectaran inmediatamente, evitando el sobrecalentamiento innecesario del mismo. Ante fallas de voltaje, desconectaran al motor y no permitirán su arranque hasta que las condiciones en la red sean las adecuadas. Adicionalmente, estos dispositivos ofrecen la función de parada definitiva por

fallas sucesivas, prestación que evita que el motor este constantemente arrancando y parándose de manera indefinida ante una sobrecarga sostenida.

A diferencia de los Relés Electrónicos de Sobrecarga, los Relés Integrales de Protección si poseen memoria térmica. Esta característica, les permite mantener la información del calor remanente en el motor de encontrarse la protección bajo una ausencia total de energía. En esta condición, estos avanzados dispositivos descuentan el calor remanente en el motor, de igual manera que ocurra el enfriamiento del motor producto de encontrarse este en reposo.

.-Relés de Protección Total de Motores Eléctricos:

Al igual que los Relés Integrales de Protección, están contruidos sobre la base de microcontroladores y supervisan constantemente los valores de las tres corrientes del motor y de los tres voltajes de red. Realizan de igual manera las mismas protecciones y otras funciones especiales de protección, tales como detección de subcarga, arranque con alta carga y detección rápida de rotor trancado. Permiten también, a través de una sonda de medición, obtener la lectura de la temperatura real interna del motor, con lo cual corrigen las desviaciones que puedan existir, debido a la temperatura ambiental, en el cálculo del calor en función de las corrientes de trabajo del motor y del desbalance de voltaje. La gran capacidad de procesamiento de estos dispositivos, permite obtener información tal como el consumo de energía (Kw/h), potencia activa (Kw), potencia reactiva (KVA), factor de potencia (FP), horas de operación del motor, etc. La mayoría de los productos de este tipo que se ofrecen en el mercado, permiten el ajuste de todos los parámetros de los parámetros de protección y tiempos de actuación, lo que los hace los dispositivos de protección más completos y confiables que existen en el mercado.

ANEXO

- PROBLEMAS ACTUALES SOBRE LA PROTECCIÓN DE MOTORES

El resultado de un estudio hecho con más de 9.000 casos de defectos de motores en Inglaterra, Finlandia y Estados Unidos, indica que más de la mitad de los defectos producidos en los motores se deben a sobrecarga térmica, fallo de fase y humedad, aceite, polvo, etc.

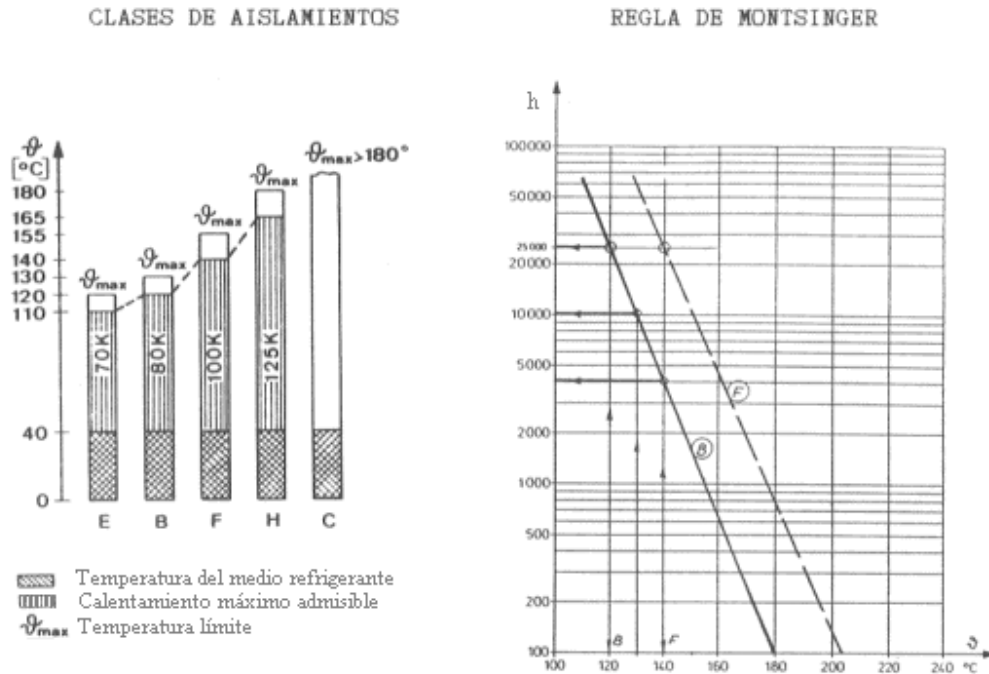
Es importante destacar que estos defectos se han producido a pesar de la presencia de un sistema de protección normal, generalmente relés térmicos bimetalicos. Por otra parte, mientras que sólo el 25% de los casos de defectos corresponde a motores de potencia superior a los 40 kW, el coste de la reparación de los mismos supone casi el 80% del total, lo que demuestra claramente que una buena protección es tanto más necesaria cuanto mayor es la potencia del motor.

TIPO DE DEFECTO	% DEFECTOS	% MEDIA
Sobrecarga térmica	46-18	30
Fallo de fase	22-5	14
Humedad, polvo, aceite, etc.	21-15	19
Envejecimiento del aislante	10-7	10
Defectos del rotor	13-10	13
Defectos de cojinetes	3-7	5
Diversos	11-5	9
Basado en 9.000 casos de defectos. Defectos por año 2,5 - 4 %		

Como demuestra la estadística de defectos, el arrollamiento del estator es la parte más vulnerable del motor desde el punto de vista térmico, siendo los materiales aislantes de los conductores que forman el bobinado los principales responsables. Los aislantes utilizados están previstos para unas temperaturas de funcionamiento bien definidas según la clase de aislamiento; para motores se utilizan generalmente las clases B y F, que admiten en permanencia unas temperaturas máximas de 120°C y 140°C respectivamente.

Los motores se dimensionan normalmente para una vida teórica del orden de 25.000 horas de servicio (aproximadamente 10 años) con el aislamiento sometido a una temperatura máxima admisible en permanencia (p.e. 120°C para

clase B). Cuando se sobrepasa esta temperatura, la vida del motor se reduce según una regla generalmente aceptada, llamada regla de Montsinger.



Según esta regla, cuando a un motor se le hace trabajar en permanencia a 10°C por encima de su temperatura límite (p.e. 130°C para clase B), su vida se reduce aproximadamente a la mitad, de 25.000 horas a 10.000 horas, y si se le hace trabajar a 20°C más, su vida se reduce aproximadamente a la quinta parte, es decir, a unas 4.500 horas.

Esto equivale a decir que cuando se regula un relé térmico de forma incorrecta a una intensidad superior a la nominal del motor, es muy probable que éste trabaje por encima de su temperatura límite, lo que supone, como hemos visto, una reducción de la vida del mismo.

Generalidades

El Código Nacional de Electricidad, es deliberadamente muy detallado respecto a la protección de los circuitos derivados del motor.

El objetivo es evitar incendios de origen eléctrico en dichos circuitos y en los conductores de alimentación al motor. En dicho Código se especifica claramente los sistemas de sobrecargas y de cortocircuitos tanto para los conductores de alimentación como para los circuitos derivados, así como el calibre mínimo de los cables que debe ser utilizado para un solo motor o grupo de ellos. En caso

de cortocircuito en el interior del motor el sistema de protección contra cortocircuitos del circuito auxiliar evitara que se dañe, además del propio motor, el arrancador y el equipo de control del mismo. El sistema de protección del circuito auxiliar contra sobrecargas, determinado en parte por la corriente en el arranque y en el tipo de motor, esta proyectado para proteger a los conductores de alimentación contra sobrecargas continuadas. Esta protección en la línea es, sin embargo, más elevada que la necesaria para la protección del motor contra sobrecargas constantes en funcionamiento. Por esto, es necesario, además, proteger al propio motor contra sobrecargas operativas utilizando dispositivos de máxima los cuales van incluidos en la carcasa del motor o bien el arrancador o en el regulador. Otros dispositivos protectores que serán considerados además de máxima, incluyen protecciones contra baja tensión y sobretensión, interrupción del campo en derivación, inversión e interrupción de fases y protecciones contra temperatura y desvío de frecuencia.

.- Fusibles

Quizá el dispositivo más simple de protección del motor contra sobreintensidades es el fusible. Los fusibles están divididos en dos grandes grupos: fusibles de baja tensión (600 V o menos) y fusibles de alta tensión (mas de 600 V). El tipo de cartucho o contacto de casquillo, es útil para las tensiones nominales entre 250 y 600 V en los de tipo fijo y recambiable.



El tipo fijo mostrado contiene polvo aislante (talco o un adecuado aislante orgánico) redondeando el elemento fusible. En caso de cortocircuito, el polvo tiene como misión: (1) enfriar el metal vaporizado, (2) absorber el vapor metálico condensado, y (3) extinguir el arco que pueda mantenerse en el vapor metálico conductor. La presencia de este polvo es la que confiere al fusible su alto poder de ruptura en el caso de cortocircuitos bruscos.



El tipo tapón fusible funciona a la tensión nominal de 125 V, estando disponible en le comercio para bajas corrientes nominales de hasta 30 A. Estos fusibles

poseen una base roscada y están proyectados para ser utilizados en arrancadores reducidos o en cajas de interruptores de seguridad a 125 V, en motores de pequeña corriente. Por regla general, los fusibles protegen contra los cortocircuitos más bien que contra las sobrecargas.



Se han efectuado ensayos para mejorar las características del fusible en las aplicaciones a los motores de forma que, con valores nominales inferiores, permitan protecciones contra sobrecargas y de cortocircuitos. Un tipo de fusible llamado fusible temporizado, que existe en los tipos de cuchillas, cartucho y tapón, proporciona un gran retardo en el caso de sobrecargas momentáneas o sostenidas antes de desconectar el circuito. Estos fusibles contienen dos elementos en serie (o paralelo): (1) un elemento fusible estándar para la protección de cortocircuitos (25 a 50 veces la corriente normal) y (2) una disposición contra sobrecarga, o interruptor térmico de hasta cinco veces la corriente nominal que proporciona una característica de retardo de tiempo inverso. La cualidad de tiempo inverso significa que, por ejemplo el circuito será conectado por este último elemento en unos 3 minutos (a 5 veces la corriente nominal), hasta aproximadamente 10 segundos (a unas 20 veces la corriente nominal), ya que el efecto térmico varía con el cuadrado de corriente. Por tanto un fusible de valor nominal relativamente pequeño puede ser empleado para procurar la protección contra sobrecargas y sin llegar a desconectar el circuito durante los periodos de elevación transitoria de la corriente en el arranque o en el frenado. En el caso de cortocircuito, el elemento fusible estándar de acción instantánea interrumpe inmediatamente el circuito para evitar desperfectos.

Otro tipo aparte de fusible que ha sido fabricado, intenta mejorar la capacidad de limitación de corriente de estos dispositivos antes de que la corriente de cortocircuito alcance su máximo o un valor de régimen permanente.

Los fusibles de cartucho comunes poseen cierta capacidad de limitación de la corriente ya que interrumpen el circuito casi instantáneamente antes de que el cortocircuito tenga la oportunidad de existir y fundir o unir los contactos de los disyuntores o relés de máxima. El fusible de potencia limitador de la corriente contiene elementos fusibles de aleación de plata rodeados por cuarzo en polvo.

Por encima de 600V se emplean fusibles especiales de alta tensión que incluyen varios órganos para extinguir el arco que se podría mantener, particularmente a alta tensión, cuando el elemento fusible se vaporiza a causa de la corriente excesiva.

Los tipos de fusibles de alta tensión más comunes son: (1) el fusible de desionización con ácido bórico líquido, (2) el fusible de expulsión, y (3) el fusible de material sólido.

La selectividad (o filiación) entre fusibles es importante tenerla en cuenta, ya que de ello dependerá el buen funcionamiento de los circuitos. Idéntico problema se nos presentara con la selectividad de los interruptores automáticos.

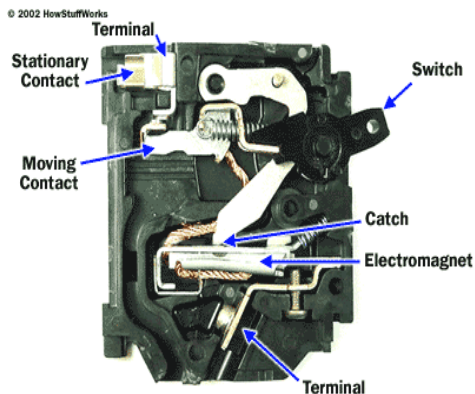
Entre la fuente de energía y el lugar de defecto suele haber varios aparatos de protección contra cortocircuitos. Para desconectar la zona afectada, es necesario que los fusibles reaccionen de forma selectiva, es decir, debe desconectar primero el fusible más próximo al lugar de defecto. Si por alguna causa este fusible no responde correctamente, debe actuar el siguiente, y así sucesivamente.

La selectividad entre dos fusibles se determina gráficamente mediante la comparación de ambas características de disparo; para ello, las curvas, a la misma escala, no deben cortarse ni ser tangentes. Esto es cierto en el caso de sobrecargas y pequeñas intensidades de cortocircuito, pero no lo es en el caso de intensidades muy grandes de cortocircuito, ya que aquí los tiempos de fusión son extremadamente cortos y solamente es posible la selectividad en fusibles con una notable diferencia de valor nominal de la intensidad.

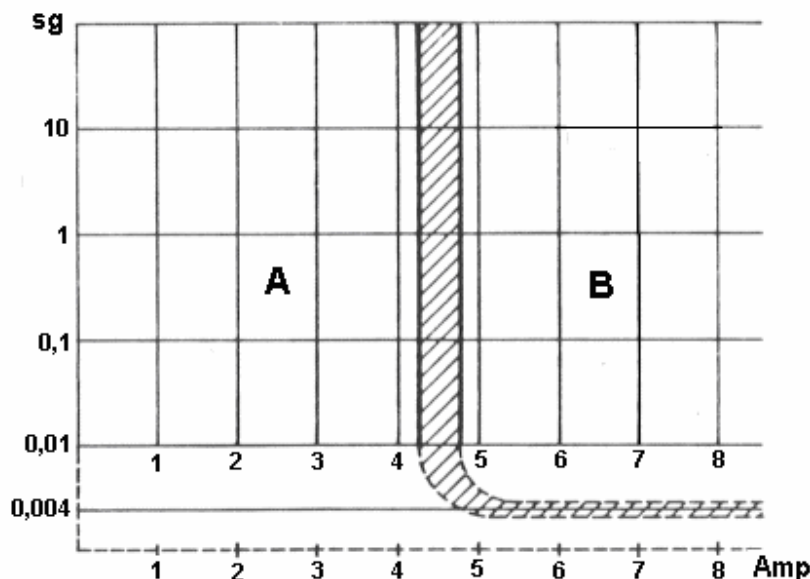
.-Interruptores Magnéticos

Son interruptores automáticos que reaccionan ante sobreintensidades de alto valor, cortándolas en tiempos lo suficientemente cortos como para no perjudicar ni a la red ni a los aparatos asociados a ella.

Para iniciar la desconexión se sirven del movimiento de un núcleo de hierro dentro de un campo magnético proporcional al valor de la intensidad que circula.



La curva característica de un disparo magnético es la representada en la figura siguiente.



El dispositivo permite trabajar en la zona A pero no en la B. La desconexión se efectúa cuando las condiciones del circuito llegan a la zona rayada de separación entre ambas.

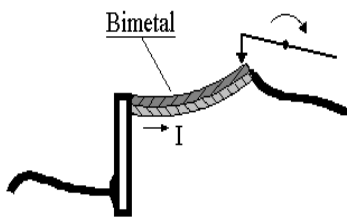
Así pues, para la curva ejemplo de la figura, cualquier intensidad menor de 4,25 A, no provocaría la desconexión, por más tiempo que estuviera circulando. En cambio, para cualquier intensidad mayor de 4,75 A, provocaría la desconexión inmediata.

El límite inferior de la curva (unos 4 milisegundos), viene determinado por el tiempo que transcurre desde el instante de establecimiento de la intensidad, hasta la extinción del arco. Este tiempo marca la inercia mecánica y eléctrica propia de estos aparatos.

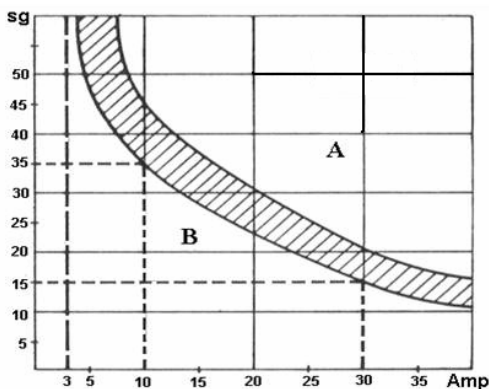
.- Relés de sobrecarga, térmicos bimetálicos

Las ventajas de la utilización de un calefactor separado (indicado en la sección precedente) para accionar los contactos de máxima corriente normalmente cerrados, animó al desarrollo de otros dispositivos mas sencillos y menos caros tales como el relé térmico bimetálico mostrado en la figura. Una tira rectangular bimetálica, formados por la soldadura al vacío de dos láminas de materiales de muy diferente coeficiente de dilatación, generalmente ínvar y ferroniquel, que se curvara al calentarse debido a la diferente dilatación de los dos metales. Este tipo de desviación es lento, por lo que podría quemar los contactos al interrumpir una corriente elevada del circuito muy inducido de un motor. El dispositivo

mostrado en la figura emplea un arco de disco bimetálico cuya cara superior tiene un elevado coeficiente de dilatación. A causa del calor, las fuerzas desarrolladas en el disco, debidas a la distinta, son tales que el disco debe invertir su convexidad con rapidez en vez de gradualmente. El disparo de acción rápida que aparece en el instante de la inversión tiene fuerza suficiente para abrir los contactos fijos a y b. El tiempo de desplazamiento del relé térmico bimetálico de máxima es inversamente proporcional a la magnitud de la corriente de sobrecarga sostenida. De la misma forma que los relés de fusión térmica y acción retardada, permite sobrecargas de breve duración sin desconectar el motor de la línea.



Para provocar la desconexión, aprovechan la deformación de una lámina bimetálica, que se curva en función del calor producido por la corriente al pasar a través de ella.



La curva característica de un disparo térmico es la representada en la figura.

El dispositivo térmico permite trabajar en la zona A pero no llegar a la zona B. La interrupción del circuito se efectúa siempre cuando las condiciones de trabajo llegan a la zona rayada que marca la separación entre ambas. Esta zona rayada marca las tolerancias lógicas que tendrá la fabricación de este tipo de aparatos.

Así, pues, en la curva de la figura, circulando una intensidad de 3A., el interruptor no desconectaría nunca.

Con 10A. iniciaría la desconexión a los 35 seg., y con 30 A. la desconexión se iniciará a los 15 seg.

La forma y límites de la curva característica de un interruptor térmico varían según la técnica empleada en el sistema de caldeo de la bilámina.

El relé bimetalico posee dos ventajas que no presentan los tipos de aleación fusible y puede retornar automáticamente y por medio de un elemento de compensación, se pueden realizar ajustes según las variaciones de la temperatura ambiente.

Así pues, el sistema de protección por relés térmicos bimetalicos es generalmente utilizado por ser, con mucho, el más simple y económico, pero no por ello se deben dejar de considerar sus limitaciones, entre las cuales podemos destacar las siguientes:

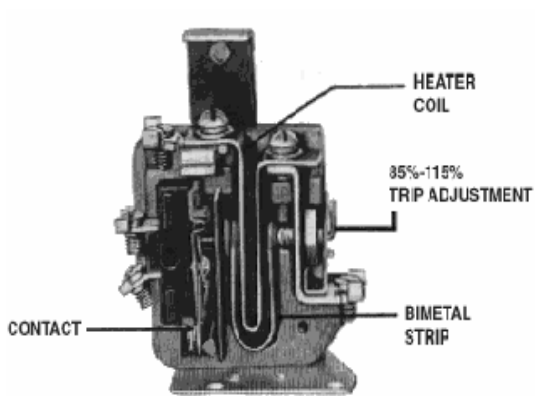
- Curva de disparo fija, no apta para arranques difíciles.
- Ajuste impreciso de la intensidad del motor.
- Protección lenta o nula contra fallos de fase, dependiendo de la carga del motor.
- Ninguna señalización selectiva de la causa de disparo.
- Imposibilidad de autocontrolar la curva de disparo.

.- Relé de sobrecarga, térmico, inductivo de aleación fusible

Uno de los inconvenientes de los relés de máxima de aleación fusible y térmicos bimetalicos, es que el uso de un calefactor separado sólo puede permitir ajustes de sobrecarga en incrementos discretos, según los calibres disponibles de calefactores de corrientes. Por estar (algunas veces) al alcance los calefactores de repuesto, ya que las piezas de recambio se suministran normalmente con el arrancador, es costumbre tener a mano un surtido de calefactores de valores superiores e inferiores al valor de ajuste de la corriente de sobrecarga a la que el calefactor esta calibrado. Para un servicio determinado del motor a veces se desea ajustar un poco mas elevado el valor nominal de la sobrecarga durante una marcha determinada o un funcionamiento particular. Un dispositivo que lo permite es el relé de sobrecarga inductivo de aleación fusible (el tipo llamado inductotermico). Este relé se acciona según el principio de la inducción de corrientes de Foucault en un cilindro de aleación de cobre y en la aleación fusible a baja temperatura que esta en el interior del mismo. El relé solo funciona en corriente continua y se utiliza exclusivamente para la protección de sobrecargas en motores de c.a. Como el calor producido en la aleación fusible

es proporcional a la densidad de flujo creada por la corriente en la bobina de inducción, se produce una característica de tiempo inverso.

Sus ventajas son (1) para una bobina de una determinada capacidad de corriente, el ajuste de disparo de máxima es regulable sin limitación, y (2) en unión con transformadores de varias tomas de corrientes, el mismo relé de máxima puede ser utilizado para una amplia diversidad de motores de c.a. de superior o inferior valor nominal de la corriente de sobrecargas, con las mismas ventajas de ajuste indicadas en (1)



- Combinación del fusible y del relé de sobrecargas

Aunque los propios fusibles presentan, naturalmente, la protección de cortocircuitos o de corriente máxima ruptura, su protección contra sobrecargas esta algo limitada por las razones anteriormente citadas. Los relés de máxima están proyectados para funcionar desde el 110 al 250 por ciento de sobrecarga con corrientes máximas de ruptura de hasta 10 veces la corriente nominal. La figura muestra el conjunto combinado de fusible y relé de máxima que comprende los sistemas de protección de sobrecargas y cortocircuito. El tiempo de operación del relé de máxima varía inversamente con la corriente de sobrecarga.

