



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL

PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS.

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTRICIDAD Y CONTROL
INDUSTRIAL.

AUTOR:

Eyner Daniel Torres Carpio

DIRECTOR:

Ing. Jorge Enrique Carrión González. Mg. Sc.

LOJA- ECUADOR

2013

CERTIFICACIÓN

Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO PRÁCTICO

CERTIFICA:

Haber revisado el proyecto de tesis de Trabajo Práctico titulado **“PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS”**, previo a la obtención del Título de Tecnólogo en Electricidad y Control Industrial, realizado por el Sr. Egresado Eyner Daniel Torres Carpio. El mismo que cumple con todos los fundamentos de la investigación científica y por consiguiente autorizo la presentación y defensa final.

Loja, 9 de Mayo de 2013



Ing. Jorge Enrique Carrión González Mg. Sc.

DIRECTOR

AUTORÍA

Yo **Eyner Daniel Torres Carpio**, declaro ser autor (a) del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Eyner Daniel Torres Carpio

Firma:



Cédula: 1103714687

Fecha: 13 de Mayo de 2013

AGRADECIMIENTO

Me complace de sobremanera a través de este trabajo exteriorizar mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja en el Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, y en ella a los distinguidos docentes quienes con su ética profesional y sus conocimientos impartidos durante el transcurso de la carrera universitaria, me guiaron hasta verme culminar la carrera como profesional.

A mi director de tesis Ing. Jorge Enrique Carrión González, quien con su experiencia como docente ha sido la guía idónea para el desarrollo de esta tesis.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis de grado está dedicado a **DIOS**, por darme la vida a través de mis queridos **PADRES**, quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mí una persona de valores.

A mis **HIJOS**, que son el motivo y la razón que me ha llevado a seguir superándome día a día, para alcanzar mis más apreciados ideales de superación, ellos fueron quienes en los momentos más difíciles me dieron su amor y comprensión, quiero dejar también a cada uno de ellos un ejemplo de vida y decirles que cuando se quiere alcanzar algo, no hay tiempo ni obstáculo que lo impida para poderlo lograr

RESUMEN

En el trabajo de tesis titulado PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS, se determinó el método de protección e instalación de motores eléctricos de corriente alterna; con la ejecución de este trabajo investigativo se determinó el procedimiento para seleccionar los elementos que se deben utilizar para la instalación de un motor eléctrico y para facilitar el cálculo de los elementos de protección de un motor en base a tablas y normas se presenta tablas y figuras. Para proceder al cálculo de las protecciones es necesario que los usuarios seleccionen los materiales y consulten los que existen en el mercado y se decidan por el mejor variante técnico económico.

SUMMARY

In my job the thesis titled protection of electric, it determined the methods of protection and installing power. With this adjustment of this job investigation it determined that the advanced selections of the elements that you need and installation the electric motor and to facilitate also to calculate the elements of protection of a motor of basic information study. To proceed this calculation of protection it is necessary that the users select the materials and to investigate everything in the market of production and to decide the best alternative also most economic

INDICE

Certificación	II
Autoría	III
Agradecimiento	IV
Dedicatoria	V
Resumen	VI
Summary	VII
1. Tema	1
2. Introducción	2
3. Descripción técnica y utilidad	3
3.1 Protección e instalación de motores eléctricos	3
3.2 Efecto de las sobrecargas sobre un motor eléctrico	3
3.3 Protecciones inherentes	4
3.4 Detector de temperatura por resistencia (RTD)	5
3.5 Klixon	5
3.6 Protecciones no inherentes, relevadores bimetálicos	7
3.6.1 Como elegir un modelo de réle térmico	9
3.6.2 Modo de empleo y ajuste	10
3.7 Protecciones contra cortocircuitos. Fusibles y dictribuciones o “breakers”	11
3.8 Fusibles	11
3.9 Disyuntores o “breakers”	12
3.10 Accesorios necesarios para la instalacién de los motores eléctricos .	13
3.11 Interruptor de cuchillas	13
3.12 Contactores magnéticos	14
3.12.1 Parametros para la selección de un contactor	16
3.13 Pulsadores de arranque (botoneras)	17
4. Métodos de arranque de motores elèctricos	17
4.1 Arranque de motores de inducción y sincrónicos	18
4.1.1 Arranque directamente de la línea (arranque a pleno voltaje) . .	18
4.1.2 Arranque mediante compensador de arranque autotransformador	19
4.1.3 Arranque por resistencias en serie con los devanados del estator	21
4.1.4 Arranque estrella-delta	22
4.1.5 Arranque de máquinas asincrónicas mediante adición de resistencias en el rotor	23
4.1.6 Arranque de motores de corriente directa	23
4.1.7 Letra de código	25
4.1.8 Factor de servicio (S.F.)	26
4.1.9 Demanda máxima	27
4.1.10 Factor de demanda (F.D.)	27
4.1.11 Determinación de la corriente nominal de las diferentes màquinas elèctricas giratorias	28
4.1.12 Cálculo de la protección térmica de sobrecarga	30
4.1.13 Cálculo de la protección contra cortocircuitos	31

4.1.14 Selección del aislamiento del conductor	33
4.1.15 Selección del calibre de un conductor eléctrico, atendiendo solamente a la condición de calentamiento	33
4.1.16 Selección del alimentador para varios circuitos ramales	40
4.1.17 Cálculo del disyuntor o “breaker” de protección del alimentador	42
4.1.18 Selección de la tubería	43
5. Metodología	47
6. Resultados	48
6.1 Procedimiento para seleccionar los componentes y materiales adecuado para instalar y proteger un motor eléctrico	48
6.2 Orientación de las prácticas	48
6.2.1 Orientación de la práctica 1	48
6.2.2 Orientación de la práctica 2	49
6.2.3 Orientación de la práctica 3	50
6.2.4 Orientación de la práctica 4	51
6.2.5 Orientación de la práctica 5	53
7. Conclusiones	56
8. Recomendaciones	57
Bibliografía	58

1. TEMA:

PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS.

2. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de protección constituyen hoy en el sector eléctrico una de las más complejas y cambiantes disciplinas, no solo debido a la evolución experimentado en los sistemas eléctricos, sino también a los adelantos tecnológicos introducidos en los equipos.

Existen una gran cantidad y variedad de procesos así como de accionamientos en la industria, en el campo, comercios, entre otros, en los cuales se emplean el motor eléctrico. Es por eso que el técnico electricista, además de tener conocimientos sobre la construcción y funcionamiento, debe estar al tanto de la manera de controlar y proteger su operación.

El objetivo de la presente investigación es proporcionar una metodología adecuada para la selección de elementos de protección para motores, mediante una amplia recopilación de información, para así determinar las características de los diferentes dispositivos de protección existentes en el mercado para motores industriales. Se debe tener consideración la potencia y tamaño del motor, ya que un motor que trabaja en alta tensión con uno de baja tensión, los dispositivos de protección difieren considerablemente.

3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD

3.1 PROTECCIÓN E INSTALACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

El funcionamiento anormal de un motor eléctrico puede ser causa de un calentamiento excesivo de sus devanados y del consiguiente deterioro de su aislamiento. Son variados los factores que pueden provocar tales fenómenos, sin embargo, es posible garantizar un alto grado de confiabilidad en la operación mediante la adecuada selección de las protecciones, así como a través de una correcta instalación.

Desde el punto de vista económico es de suma importancia evitar las fallas que se derivan de una incorrecta protección e instalación de los motores eléctricos puesto que, de producirse, ocasionarían serios problemas en el funcionamiento de un equipo determinado u obstaculizarían el proceso de producción de las instalaciones industriales correspondientes, con las consiguientes pérdidas de tiempo, materiales, etc.

En los siguientes epígrafes se presentan las normas convencionales que deben seguirse para realizar una adecuada protección y correcta instalación de los motores eléctricos más utilizados en la práctica.

3.2 EFECTO DE LAS SOBRECARGAS SOBRE UN MOTOR ELÉCTRICO

Cuando los devanados de un motor eléctrico experimentan un incremento de temperatura por encima de la máxima para la cual ha sido diseñada la máquina, se dice que el motor se encuentra sometido a una sobrecarga.

Las causas fundamentales de sobrecargas en un motor eléctrico son:

- 1) Carga mecánica anormal aplicada al eje del motor. Un efecto similar puede producirse cuando el voltaje en sus terminales se reduce a consecuencia de una falla en el sistema de alimentación, con carga mecánica aplicada a su eje.

- 2) Ciclos de trabajo intermitentes repetidos con excesiva rapidez, tales como arranques y paradas frecuentes. Estos ocasionan que el valor efectivo de la corriente sobrepase al máximo permisible para el motor.
- 3) Carga mecánica de excesiva magnitud aplicada al eje en el arranque, la cual impide que el motor gane velocidad, tomando de la línea una elevada corriente durante un intervalo de tiempo considerable.
- 4) Operación monofásica de motores trifásicos. La corriente demandada por el motor en este caso también será excesiva.
- 5) Conductos de ventilación obstruidos por cualquier causa.
- 6) Temperatura ambiente elevada (por encima de los 40°C), lo cual ocasiona al motor eléctrico el mismo efecto que el que le produciría una sobrecarga mantenida. Dicho efecto se hace más crítico en los motores de carcasa cerrada, los cuales poseen peores condiciones de ventilación.

Con la finalidad de evitar o reducir los efectos perjudiciales de los factores anteriormente mencionados sobre los motores eléctricos, se fabrican las protecciones térmicas, las cuales se clasifican en inherentes y no inherentes.

La mayoría de estas protecciones están integradas por elementos bimetálicos que operan con cierto retardo de tiempo, el cual está en función de la magnitud de la sobrecarga particular. Las protecciones térmicas deben accionar en circunstancias en que las magnitudes de las corrientes sean superiores al valor de la corriente nominal de la máquina protegida, como sucede en los casos de sobrecargas críticas, atascamiento del rotor por cargas mecánicas excesivas o fallas en la arrancada, que no lleguen a constituir cortocircuitos. Dichas protecciones no operan instantáneamente sino que permiten tales estados de sobrecarga durante intervalos de tiempo en los cuales el aislamiento de los devanados de la máquina protegida no resulte dañado en manera alguna.

3.3 PROTECCIONES INHERENTES

Las protecciones inherentes son las que se colocan formando parte integral del motor, es decir, se ubican en contacto estrecho con sus devanados. Pueden

señalarse como ejemplo de ellos el detector de temperatura por resistencia (RTD) y el “klixon”, aunque existen otros a los que no se hace referencia.

3.4 DETECTOR DE TEMPERATURA POR RESISTENCIA (RTD)

Este dispositivo se basa en el principio de una resistencia al ser sometida a un incremento de temperatura, experimenta una alteración de su valor óhmico. Cierta elemento resistivo se coloca en una de las ranuras del estator del motor, quedando en íntimo contacto con sus devanados, y se conecta formando parte de uno de los brazos de un circuito puente. Un revelador sensible a voltaje registra cualquier desbalance experimentado por el puente como resultado de la variación del valor de la resistencia del RTD con la temperatura. El incremento anormal de la temperatura del motor altera el valor de dicha resistencia, ocasionando la operación del relevador. De este modo se logra la desconexión del motor de la fuente de alimentación, evitándose su operación en condiciones físicas adversas. Al RTD pueden señalársele fundamentalmente dos inconvenientes:

- 1) El elemento resistivo sensible a la temperatura debe ser introducido en una ranura del estator de la máquina, ocupando así una parte de ese valioso espacio, lo cual trae como consecuencia que éste no pueda ser aplicado en la protección de motores de medias y bajas capacidades.
- 2) El tiempo de retardo entre una variación de temperatura experimentada en el motor y la variación correspondiente del valor de la resistencia del RTD es apreciable, lo cual no permite una adecuada respuesta del dispositivo protector ante atascamiento del rotor, para lo cual debe proveerse de una protección independiente.

3.5 KLIXON

Como fue señalado previamente el “Klixon” es un dispositivo protector contra sobrecargas cuya estructura se muestra en las figuras 1 a) y b), y en sección transversal en la figura 1 c). Él está constituido por un disco bimetalico, el cual posee forma ligeramente convexa a temperatura ordinaria. Un calentador, a

través del cual circula la corriente del motor, responde con bastante precisión a cualquier calentamiento excesivo o a sobrecargas mantenidas. En condiciones normales de operación el disco cierra el circuito eléctrico. A elevarse la magnitud de la corriente hasta varias veces el valor nominal como consecuencia de cualquiera de las causas anteriormente mencionadas incluyendo el atascamiento del rotor, el valor producido en el calentador aumenta con el cuadrado de la magnitud de la corriente, lo que produce un brusco cambio del disco de la posición cóncava a la convexa. Como resultado se abren los contactos y el motor queda desconectado de la línea. El enfriamiento posterior del disco provoca su retorno a la posición original.

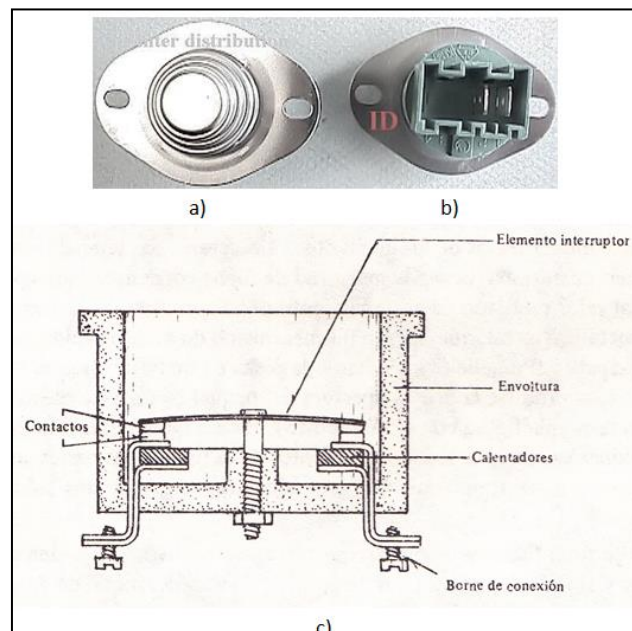


Figura. 1 vistas de un klixon mostrando su estructura; a) vista externa; b) sin el disco bimetálico para mostrar los dos contactos a través de los cuales el disco cierra el circuito eléctrico en operación normal del dispositivo; c) sección transversal de un klixon

Este dispositivo no se coloca en las ranuras del rotor como el anterior, sino sobre la carcasa y en contacto directo con ella, economizándose así el valioso espacio destinado a los conductores. Generalmente, se utiliza en la protección de motores trifásicos de jaula de ardilla hasta de aproximadamente 6 KW, tanto a 220 como a 440 volt, así como en motores monofásicos.

3.6 PROTECCIONES NO INHERENTES, RELEVADORES BIMETÁLICOS

Estos dispositivos, a diferencia de los anteriores, se construyen para ser ubicados fuera de la carcasa del motor. En las figuras 2 a) y b) se muestran dos vistas de un relevador bimetalico de los más utilizados en la práctica. Estos relevadores utilizan uno o más elementos sensibles al calor, constituidos por láminas bimetalicas eléctricamente aisladas entre sí. Alrededor de las láminas bimetalicas se sitúan tiras de elementos calefactores, las cuales se conectan en serie con los devanados del motor a proteger. Bajo la acción del calor desarrollado por las corrientes circulantes a través de los elementos calefactores, las láminas bimetalicas se deflectan más cuanto mayor sea la longitud de dicha corriente. Para corrientes superiores al valor prefijado de accionamiento del dispositivo, la deflexión de las láminas bimetalicas es tal, que liberan un mecanismo de acción rápida, cuyo elemento principal es el muelle, mediante la pieza de material aislante. Como consecuencia se produce la brusca apertura del pequeño contacto eléctrico TR, el cual tiene la función de abrir un circuito auxiliar, capaz de desconectar el motor de la línea. Las partes componentes del relevador se encuentran colocadas, generalmente, dentro de una cubierta plástica.

Existe un retardo de tiempo determinado entre la aparición de una sobrecarga en el motor y funcionamiento del dispositivo de acción rápida, de modo, que si la sobrecarga experimentada es momentánea y no mantenida, la inercia térmica del dispositivo impedirá el funcionamiento del referido mecanismo de acción rápida evitándose, de esta forma, desconexiones innecesarias del motor por sobrecorrientes de corta duración no perjudiciales realmente para sus devanados.

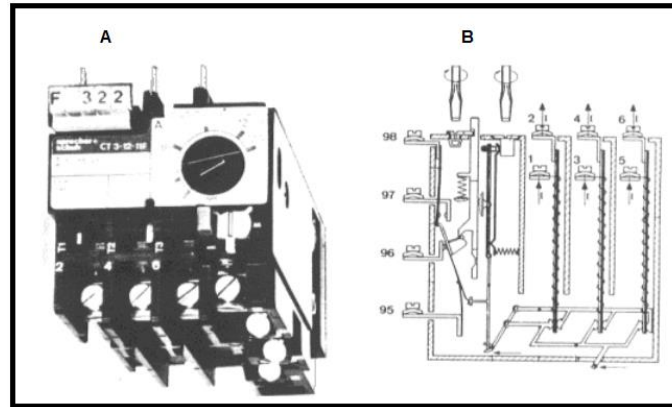


Figura. 2 Relevador térmico para protección de motores eléctricos trifásicos: a) aspecto exterior; b) vista interior mostrando sus partes componentes

En caso de producirse el disparo por sobrecarga del dispositivo, cesa la circulación de corriente hacia el motor, por lo cual los elementos calefactores comienzan inmediatamente a enfriarse, produciéndose un retorno de las láminas bimetálicas a la posición original. El contacto eléctrico puede retornar a su posición inicial ya sea manual o automáticamente. En operación manual la reposición del mecanismo se logra mediante el accionamiento del pulsador “reset”. Actuando sobre el tornillo el operador puede seleccionar a voluntad la reposición automática o manual de dispositivo.

Posee además un disco de ajuste con el cual se varía la tensión de muelle que acciona sobre el mecanismo de acción rápida. Al hacer girar el disco y producirse la correspondiente variación de la tensión del resorte se ejerce un cambio en la fuerza resistente a la deflexión de las láminas bimetálicas a través de la pieza. De este es posible variar el ajuste de la protección térmica al valor deseado del disparo dentro de los límites prefijados por el fabricante (16 a 25 ampere).

En la figura 3 se muestra una curva típica de disparo correspondiente a relevadores térmicos bimetálicos utilizados en la protección de motores eléctricos convencionales.

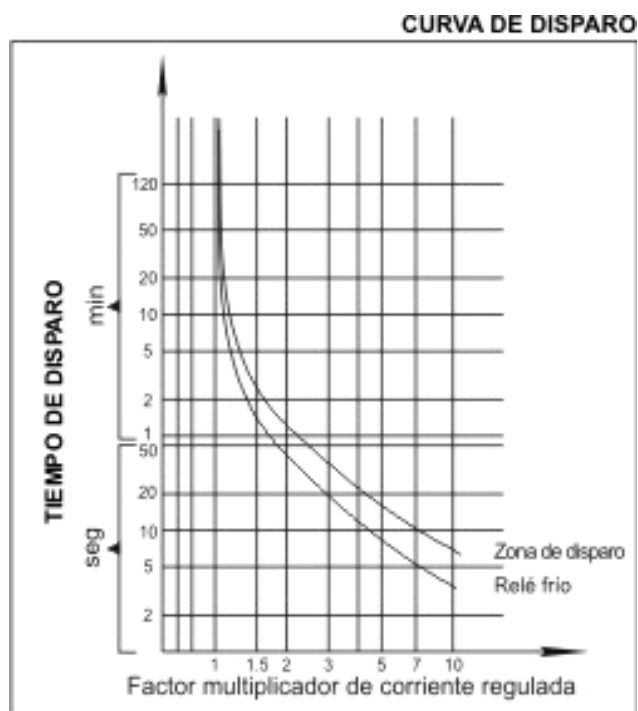


Figura. 3 Características de disparo de un relevador térmico bimetalico utilizado para la protección de motores eléctricos de propósito general

3.6.1 COMO ELEGIR UN MODELO DE RELÉ TERMICO

Todos los relés tienen 3 polos (uno para cada fase). Además, según modelo, poseen contactos auxiliares NO y NC (normal abierto y normal cerrado) para efectos de señalización como balizas, alarmas, u otros.

La elección del relé depende básicamente de la corriente nominal (I_n) del motor y de la clase (Class 10, 20, 30). Por último, se debe decidir si se necesita un relé de protección diferencial o no (protección ante fallas de fase). Sino, se debe decidir si se requieren 2 ó 3 bimetales (heater), que realizan la desconexión al calentarse por la sobrecarga (el tener más heater`s es más seguro).

Los relés se clasifican en clases. Las más comunes son:

Class 10: Permite sobrecarga por 10 segundos.

Class 20: Permite sobrecarga por 20 segundos.

Class 30: Permite sobrecarga por 30 segundos.

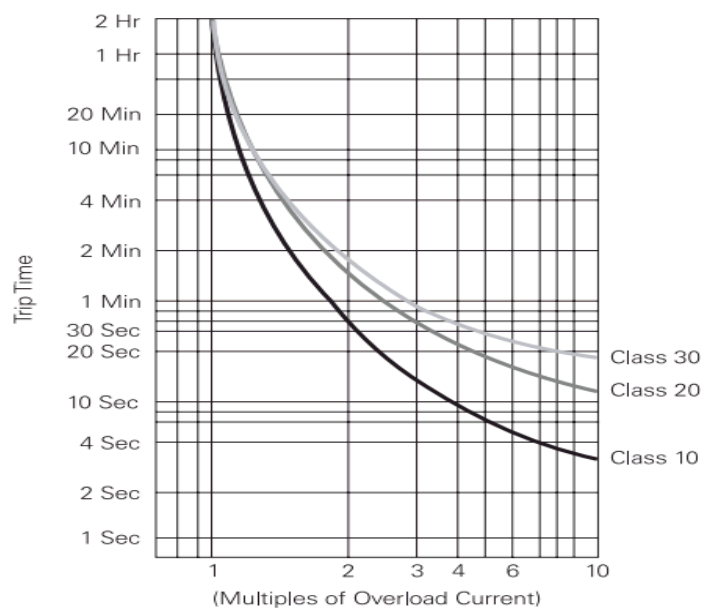


Figura. 3.1 Múltiplos de la corriente de sobrecarga

3.6.2 MODO DE EMPLEO Y AJUSTE

Para ajustar el relé a la corriente nominal I_n , se debe girar el dial hasta la corriente de protección dimensionada como se ilustra en la figura 3.2.

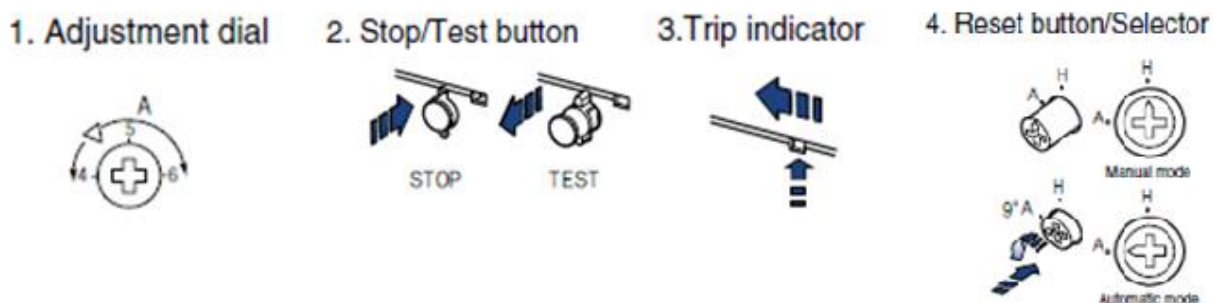


Figura. 3.2 Ajuste del relé.

Para parar (abrir el circuito) presione el botón (paso 2). Para simular una emergencia tírelo.

Si se ha producido un trip (corte del circuito por alguna falla), el indicador salta.

Luego de ocurrido un trip:

- En caso de estar seleccionado el modo automático (A), el relé se cierra al enfriarse los bimetales, luego de normalizada la corriente a I_n .
- En caso de estar en modo manual (H) presione el botón para volver a cerrar el circuito.

3.7 PROTECCIONES CONTRA CORTOCIRCUITOS. FUSIBLES Y DISTRIBUCIONES O “BREAKERS”

La energía consumida por los conductores durante un cortocircuito es tal, que pueden calentarse hasta el extremo de fundirse y volatizarse. Es por esto que los circuitos alimentadores de motores, también llamados circuitos ramales, deben ser adecuadamente protegidos contra sus perjudiciales efectos. Los cortocircuitos en los conductores alimentadores de un motor pueden ocurrir: entre el dispositivo de arranque y el motor, dentro del motor, o a la entrada del dispositivo de arranque.

Como es lógico, las protecciones contra cortocircuitos en los conductores alimentadores deben ser capaces de soportar la corriente de arranque del motor sin dispararse.

Existen dos tipos de dispositivos destinados a la protección contra cortocircuitos, los cuales se denominan fusibles y disyuntores o “breakers”.

3.8 FUSIBLES

Los fusibles son los más antiguos dispositivos de protección contra sobrecorrientes. Son contruidos con alambre o láminas de un material de bajo punto de fusión generalmente aleaciones de cobre y zinc o plomo y en la mayoría de los casos se fijan sobre una base aislante como se muestra en la figura 4.

Los fusibles contruidos con láminas poseen una zona estrecha o garganta, lugar donde se produce la apertura del circuito en caso de avería. La fusión de la lámina va acompañada de desprendimiento de llamas y gases calientes que pueden producir quemaduras y otros daños al personal de servicio, además de incendios. Como consecuencia, los elementos fusibles generalmente se introducen en cartuchos protectores contruidos con fibra especial o porcelana. Frecuentemente los cartuchos, en los cuales se introduce el elemento fusible son capaces de desprender gases que contribuyen a la ruptura del arco, o se rellenan con arena de cuarzo de modo que, al producirse la fusión del elemento, la arena dividida al arco eléctrico en arcos más pequeños, los enfríe y apague rápidamente.

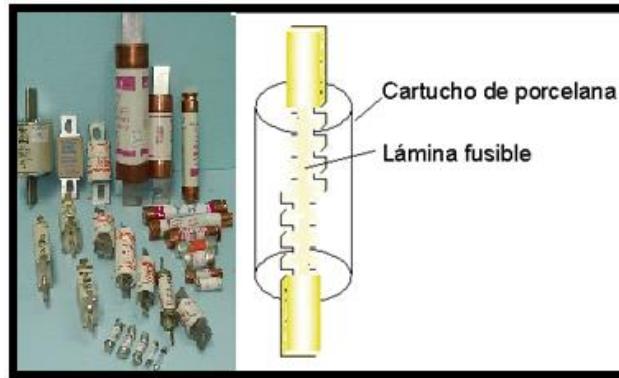


Figura. 4 lámina fusible colocada dentro del cartucho protector

3.9 DISTYUNTORES O “BREAKERS”

Son dispositivos diseñados para interrumpir las corrientes de falla producidas en el sistema eléctrico que no excedan aquellos niveles para los que se espera que los mismos accionen exitosamente. Estos dispositivos deben ser seleccionados bajo dos criterios:

- 1) Corriente en régimen de operación normal.
- 2) Nivel máximo de corriente que debe ser capaz de interrumpir en condiciones de falla en el sistema (capacidad de interrupción). El disyuntor seleccionado debe poseer una capacidad de interrupción de corriente igual o superior a la mayor corriente de falla que pueda producirse en el punto del sistema en el cual se encuentre ubicado. Los disyuntores no deben ser utilizados como elementos arrancadores de motores, excepto en casos muy especiales y siempre que se tengan en cuenta dos factores:

- ❖ Los niveles de voltaje sean tan elevados que no se disponga del contactor magnético requerido.
- ❖ El motor no necesite ser arrancado frecuentemente, sino en contadas ocasiones.

Los disyuntores de bajo voltaje son fabricados para operarlos manualmente, y se encuentran recubiertos por una caja plástica. Poseen disparos instantáneos ajustables contra cortocircuitos y, en algunos casos, se les provee con combinación de disparo contra cortocircuitos y sobrecargas, sin embargo, de ser utilizados como dispositivos de protección contra cortocircuitos debe proveerse siempre una protección contra sobrecargas independientemente

constituida por relevadores bimetálicos. Son compactos y relativamente baratos, aunque no de tan bajo costo como los fusibles. En la figura 5 a) se muestra un disyuntor trifásico de caja plástica. Existe también otro tipo de disyuntor como el mostrado en la figura 5 b) llamado comúnmente disyuntor de aire, el cual no se encuentra encerrado en una cubierta plástica como en el caso anterior, sino que está preparado para ser colocado y retirado con facilidad de los cubículos metálicos con que constan generalmente los paneles diseñados para operar en los centros de distribución industriales. Sus capacidades de corriente nominales y de interrupción son superiores a los que poseen los disyuntores de caja plástica, y generalmente son operados por medios electromagnéticos.

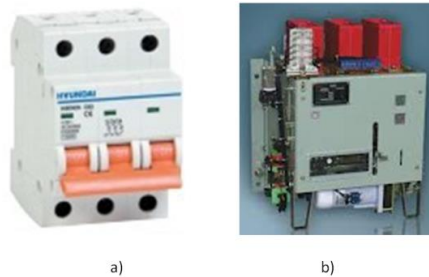


Figura. 5 Disyuntores a) disyuntor trifásico de caja plástica; b) disyuntor de aire

3.10 ACCESORIOS NECESARIOS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Los dispositivos más importantes destinados a lograr una adecuada instalación de los motores eléctricos se reseñan brevemente a continuación:

3.11 INTERRUPTORES DE CUCHILLAS

Son dispositivos de desconexión que se utilizan fundamentalmente para aislar los circuitos de su fuente de alimentación. Además se aplican en la realización de cambios de conexiones dentro de ciertos circuitos eléctricos. Pueden poseer uno o varios polos o terminales de conexión, en dependencia a la operación a que se destinen. En la figura 6 a y el b se muestran dos tipos de interruptores de cuchillas de tres y dos polos.

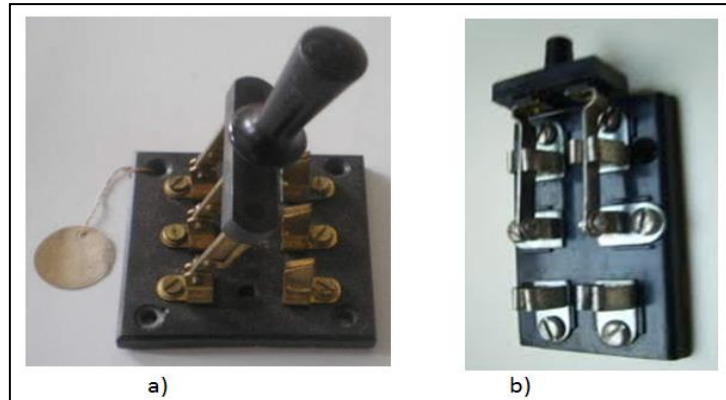


Figura. 6 interruptores de cuchillas

3.12 CONTACTORES MAGNÉTICOS

Son dispositivos que tienen como objetivo fundamental conectar e interrumpir circuitos eléctricos, siendo accionados por medios electromagnéticos. En la figura 7 se muestra el aspecto exterior de un contactor magnético convencional.



Figura.7 Contactor magnético

El contactor magnético opera de la siguiente manera:

El electroimán está compuesto por un núcleo de acero laminado dividido en dos secciones, las cuales se mantienen separadas por la acción de los muelles. La bobina, al energizarse, es la encargada de unir las dos secciones del núcleo, las cuales recobran su posición original al cesar la circulación de corriente por ella. Rígidamente unidos a ambas secciones del núcleo magnético y eléctricamente aislados entre sí, se sitúan uno o varios juegos de contactos los cuales son accionados simultáneamente por el electroimán.

Los contactores magnéticos pueden ser unipolares, bipolares o tripolares, utilizándose una sola bobina en cualesquiera de los tipos existentes.

Los contactos de fuerza son los principales del dispositivo y se conectan en serie con el circuito de fuerza. Los contactos auxiliares por su parte son

aquellos que realizan funciones secundarias, están diseñados para soportar corrientes de baja magnitud y accionan sobre otros circuitos de control, a través de los cuales circulan pequeñas corrientes. Los contactos de fuerza son de mayores dimensiones que los auxiliares, siendo accionados unos y otros simultáneamente por el electroimán común.

Generalmente, en la misma caja en que se ubica el contactor magnético, y a continuación del mismo, los fabricantes sitúan las protecciones térmicas, compuestas generalmente por relevadores bimetálicos.

Los datos más importantes que se requieren para seleccionar un contactor magnético son: la corriente, el voltaje si se especifica la potencia, los valores máximos para los cuales se diseñan, corriente del elemento térmico y frecuencia del voltaje de trabajo.

Los contactores magnéticos presentan la ventaja de que pueden ser operados, cualquiera que sea su corriente nominal, mediante unos sencillos dispositivos a los que se denomina estaciones de pulsadores, instalados en lugares apropiados y cómodos para el trabajos de los operadores.

Finalmente puede establecerse una comparación entre los contactores magnéticos y los disyuntores puesto que ambos son dispositivos destinados a interrumpir la corriente. Sin embargo sus funciones específicas no deben confundirse. Se diseñan con una capacidad de interrupción suficiente para el voltaje empleado y para la corriente que debe ser interrumpida, pero los contactores magnéticos tienen la posibilidad de permitir una elevada frecuencia de cierre y apertura de sus contactos, aunque solamente en condiciones de:

- 1) Interrupción de la corriente de operación normal de los motores a los cuales se encuentran asociados.
- 2) Sobrecargas mantenidas (nunca niveles de corriente extremadamente elevados como los que producen los cortocircuitos).

Por otro lado, los disyuntores deben permanecer cerrados durante largos períodos de tiempo, pero deben estar en posibilidad de abrir rápidamente la parte del sistema afectado por:

- 1) Sobrecarga muy elevada
- 2) Cortocircuitos.

Mientras que la vida de los contactores magnéticos se mide en miles de operaciones, la de los disyuntores se mide solamente en función de cientos de ellos.

3.12.1 PARAMETROS PARA LA SELECCIÓN DE UN CONTACTOR

Para seleccionar un contactor se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Tipo de contactor.
- Valor nominal de operación del contactor.
- Tipo de servicio del contactor.
- Capacidad del contactor.
- Forma de accionamiento.
- Por él número de contactos de fuerza.
- Corriente nominal del trabajo.

En lo que se refiere a los mandos o control se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Voltaje de excitación de la bobina (110 V, 220 V, 440 V).
- Tipo de voltaje (AC o DC).
- Número de contactos auxiliares.
- Tipo de contactos Auxiliares NC o NA.
- Clase de contactos según su construcción.
- Características del contactor según su fabricante.

Aplicaciones. Las aplicaciones de los contactores, en función de la categoría de servicio, son como se ilustra en la tabla 1:

Tabla 1 Valores de corrientes de operación con que se fabrican las protecciones convencionales contra cortocircuitos de circuitos eléctricos

CATEGORÍA DE SERVICIO	APLICACIONES	Ic/Ie
AC1	Cargas puramente resistivas para calefacción eléctrica	1
AC2	Motores asíncronos para mezcladoras, centrifugas,.... servicio intermitente.	2.5
AC3	Motores asíncronos para aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores....	1
AC4	Motor asíncronos para grúas y ascensores,.....	6

La Corriente cortada, depende del tipo de categoría de servicio y se obtiene a partir de la corriente de servicio, amperios (A).

Los pasos a seguir para la selección de un contactor son los siguientes:

1. Obtener la corriente de servicio (I_n) que consume el receptor.
2. A partir del tipo de receptor, obtener la categoría de servicio (AC1, AC2)
3. A partir de la categoría de servicio elegida, obtener la corriente cortada (I_c) con la que se obtendrá el calibre del conductor.

3.13 PULSADORES DE ARRANQUE (BOTONERAS)

Los pulsadores de arranque constan generalmente, de una pequeña caja con dos botones, uno para la conexión o de arranque y otro de desconexión o de parada. Al presionar el pulsador de conexión o de arranque comúnmente de color negro se cierra un pequeño contacto, que retorna a su posición original mediante la acción de un muelle al cesar la presión sobre el mismo. En la figura 8 se muestra el aspecto de una estación de pulsadores, y la estructura interna de un pulsador

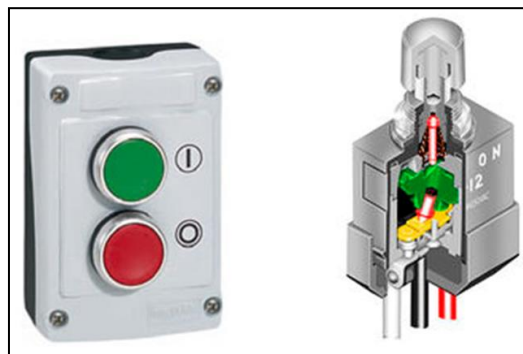


Figura. 8 Estación de pulsadores y estructura interna de un pulsador

Los pulsadores de arranque son imprescindibles en la operación manual de los contactores magnéticos, puesto que son los dispositivos encargados de permitir la circulación de la pequeñísima corriente de excitación de los electroimanes que componen los mismos. Estos pueden ser instalados en los lugares que brinden mayores ventajas para la operación de los motores a controlar, y no necesariamente en sus proximidades.

4. MÉTODOS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS

En dependencia del tipo de motor, de su potencia y de la capacidad de la fuente de alimentación, debe utilizarse uno u otro método de arranque. A

continuación se analizarán brevemente los diferentes métodos de arranque más utilizados en la práctica.

4.1 ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN Y SINCRÓNICOS

4.1.1 ARRANQUE DIRECTAMENTE DE LA LÍNEA (ARRANQUE A PLENO VOLTAJE)

Los motores asíncronos de jaula de ardilla pueden ser arrancados directamente de la línea. Este arranque se realiza, bien mediante un contactor magnético operado desde una estación por medio del pulsador, o bien aunque en contadas situaciones mediante un disyuntor. En estas condiciones el pico de corriente tomado por el motor en el arranque es máximo, puesto que no existe ningún dispositivo adicional destinado a limitar el alto valor de la corriente inicial.

Este método se utiliza en motores de relativamente baja potencia, y su aplicación en motores de mayores capacidades está supeditado a la posibilidad que posea la fuente de alimentación del sistema para suministrar los bruscos picos de corriente de arranque sin afectar sensiblemente al resto del sistema eléctrico. En la figura 9 se muestra el diagrama eléctrico correspondiente a un motor asíncrono de jaula de ardilla con arranque a pleno voltaje de línea, mediante un contactor magnético.

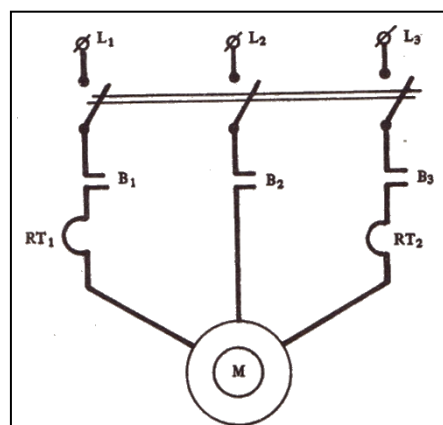


Figura 9 Diagrama eléctrico para el arranque de un motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla directamente desde la línea

4.1.2 ARRANQUE MEDIANTE COMPENSADOR DE ARRANQUE AUTOTRANFORMADOR

Un autotransformador consta de una bobina enrollada, sobre un núcleo de acero laminado, la cual puede poseer varias tomas o “taps” destinados a obtener diferentes niveles de voltaje. Los compensadores trifásicos, utilizados como dispositivos de puesta en marcha de motores asincrónicos de jaula de ardilla, constan de tres bobinas enrolladas sobre un núcleo común una por cada fase y con tomas o “taps” ubicados simétricamente en cada una de ellas. Sin por ejemplo se utilizara una toma a las $4/5$ partes del enrollado total de cada fase, el voltaje aplicado al motor a través del autotransformador sería el 80% del voltaje de la línea. Un compensador de arranque debe poseer siempre una etapa de desconexión, una de marcha y, por lo menos, una de arranque. Debe estar diseñado de modo que no pueda mantenerse por sí solo en la posición de arranque o en cualquier otra en la que la protección térmica que el mismo posee resulte inoperante.

El tipo de compensador de arranque más utilizado en la práctica consta de tres posiciones, con dos juegos de contactos fijos y un juego de contactos móviles. Los contactos móviles se construyen sobre un cilindro de material aislante, y su movimiento se produce por el accionamiento de la manivela, la cual posee tres posiciones. En la primera posición no existe conexión alguna entre la entrada y salida del dispositivo. En la segunda quedan conectadas ciertas secciones de los devanados del autotransformador entre la entrada y salida del mismo. En la tercera y última posición se logra la unión eléctrica directa entre los bornes de entrada y salida del equipo. La mayoría de los compensadores poseen sus contactos sumergidos en un depósito de aceite, con la finalidad de eliminar las chispas que suelen producirse al pasar los contactos móviles de una posición a otra con carga. Una vez que la manivela se ha situado en la tercera posición, la bobina retenedora alimentada desde dos de las líneas de la red, la mantiene fija en ella mediante su efecto sobre el electroimán. Al presionar el pulsador de parada queda sin energía la bobina y mediante un mecanismo operado por un muelle, retorna la manivela a la posición original. Generalmente los

compensadores de arranque se fabrican con su propia protección térmica, poseyendo sus contactos conectados en serie con la bobina retenedora.

Los parámetros fundamentales que deben tenerse en cuenta al hacer la selección de un compensador de arranque trifásico son los siguientes:

- 1) Potencia del dispositivo en kW o HP (1 HP = 0.746 kW)
- 2) Magnitud y frecuencia del voltaje de trabajo
- 3) Máximo valor de la corriente de ajuste de su protección térmica

Además del tipo de compensador a que se ha hecho referencia anteriormente, construido para ser operado manualmente, se fabrican compensadores automáticos, los cuales funcionan bajo el mismo principio, pero no requieren de la intervención del operador para lograr los cambios de conexiones requeridos. Ahora bien, al utilizar el compensador como elemento de puesta en marcha de un motor asincrónico de jaula de ardilla, se logra reducir el voltaje aplicado a los terminales del mismo lo que ocasiona una correspondiente reducción de la corriente inicial. En la figura 10 se muestra el esquema eléctrico correspondiente al arranque de un motor de jaula de ardilla utilizando compensador. El proceso de arranque se produce del modo siguiente. Moviendo la manivela del compensador de la primera a la segunda posición se cierran los contactos 1S y 2S, quedando aplicado al motor solamente una fracción del volteje de la red. De esta forma se produce una reducción apreciable del pico de corriente de arranque. Una vez que la maquina ha ganado velocidad puede llevarse la manivela de la segunda a la tercera posición, abriéndose entonces los contactos 1S y 2S, y cerrándose los contactos R, de modo que se aplica pleno voltaje de línea a los terminales de entrada del motor. La bobina B mantiene la manivela del compensador fija en la tercera posición como fue explicado anteriormente, hasta tanto sea presionado en botón de “parada” en cuyo caso retornara la primera posición, quedando desconectado el motor de la red. Un efecto similar producirá un disparo de la protección térmica R_t . En caso de operación automática del compensador de arranque, la función de la manivela es sustituida por relevadores electromagnéticos, resultando el mismo efecto sobre la corriente inicial.

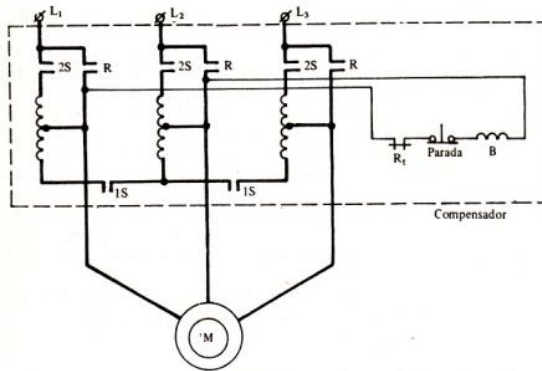


Figura. 10 Esquema eléctrico correspondiente al arranque de un motor asincrónico de jaula de ardilla mediante compensador de arranque manual.

4.1.3 ARRANQUE POR RESISTENCIAS EN SERIE CON LOS DEVANADOS DEL ESTATOR

El efecto de reducción del voltaje aplicado a los terminales del motor en el instante de arranque puede lograrse también mediante la utilización de resistencias conectadas en serie con los devanados del estator como se ilustra en la figura 11.

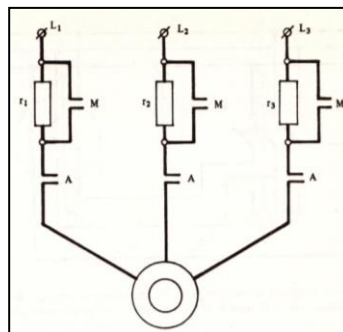


Figura.11 Diagrama eléctrico para arranque de un motor trifásico de jaula de ardilla mediante resistencias conectadas en serie con los devanados del estator

Para lograr el arranque se cierran exclusivamente los contactos de fuerza A, aplicándose voltaje reducido a los terminales del motor como consecuencia de las caídas experimentadas en las resistencias r_1 , r_2 y r_3 .

Una vez que el motor ha ganado velocidad se procede a cerrar los contactos M, mientras que los primeros continúan cerrados. De este modo, quedan cortocircuitadas las resistencias de arranque y se aplica voltaje pleno a los devanados estáticos del motor.

La operación de cierre y apertura de los contactos A y M puede realizarse manual y automáticamente.

Las resistencias utilizadas con estos fines pueden ser construidas de hierro colado, de aleaciones de hierro y, en algunos casos constan simplemente de un electrodo metálico que puede sumergirse a voluntad en una solución de sosa, en cuyo caso se denominan resistencias líquidas.

4.1.4 ARRANQUE ESTRELLA-DELTA

En la figura 12 se muestra el diagrama de conexiones de los devanados de un motor asincrónico de jaula de ardilla para el caso de arranque estrella – delta.

El objetivo que se persigue con este método es el mismo que el de los métodos anteriormente explicados, o sea lograr una reducción del voltaje aplicado a los terminales de los devanados del estator durante el proceso de arranque.

Para producir el arranque del motor, el interruptor S se acciona hacia la posición de “arranque”, quedando conectados los devanados del estator de la máquina en configuración estrella y, tan pronto como el motor desarrolle la máxima velocidad de giro para dicha conexión, el interruptor S se acciona hacia la posición de “marcha”, en cuyo caso el motor podrá desarrollar su máxima velocidad. Observe que en la posición de “arranque”, a cada fase del motor conectado en estrella se le aplica el voltaje de línea dividido por raíz de tres; mientras que en la posición “marcha”, a cada fase del estator conectado en delta, se aplica pleno voltaje de línea. La operación manual explicada para realizar mediante el interruptor S, puede ser complementada automáticamente con ayuda de contactores y relevadores.

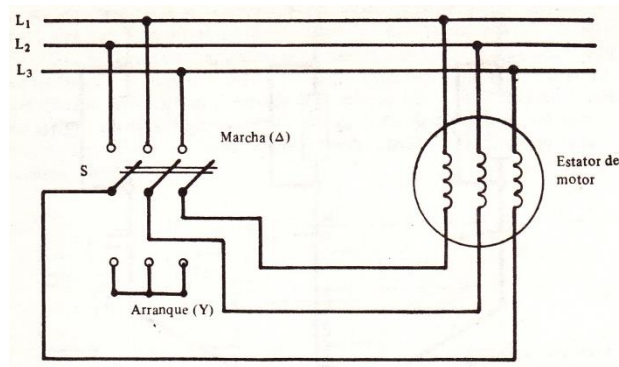


Figura .12 Diagrama de conexiones correspondientes a un arranque de un motor asincrónico trifásico de jaula de ardilla mediante el método estrella-delta

4.1.5 ARRANQUE DE MÁQUINAS ASINCRÓNICAS MEDIANTE ADICIÓN DE RESISTENCIAS EN EL ROTOR

Este método de arranque se utiliza en máquinas asincrónicas de motor bobinado. Un circuito como el mostrado en la figura 13 permitirá al operador intercalar resistencias en serie con el circuito de rotor, de modo que se pueda obtener par máximo en el arranque, con una corriente relativamente baja. A medida que el motor gana velocidad deben eliminarse los pasos de resistencia en cuestión mediante el cierre ordenado de los contactos A_3 , A_2 y A_1 mostrados en la propia figura.

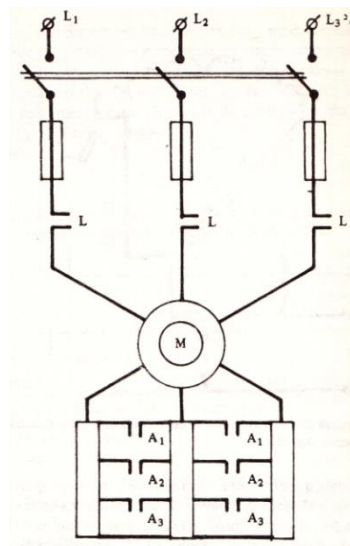


Figura.13 Esquema eléctrico para el arranque de un motor trifásico de rotor bobinado mediante la conexión de resistencias en serie con el circuito del rotor

4.1.6 ARRANQUE DE MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

Bajo condiciones de arranque, la corriente tomada por un motor de corriente directa está limitada esencialmente por la baja resistencia del circuito de armadura, pues no existe fem hasta tanto la máquina no comience a girar. Esto hace imprescindible la utilización de un elemento limitador de tan alta corriente, el cual debe añadir una resistencia externa (R_{ext}) al circuito de armadura de acuerdo a la ecuación 1.

$$I_a = \frac{V_t}{R_{arm} + R_{ext}} \quad (1)$$

El referido elemento limitador de corriente se denomina *arrancador*, y consta de una serie de resistencias con tomas o "taps" intermedios, como se ilustra en la figura 14.

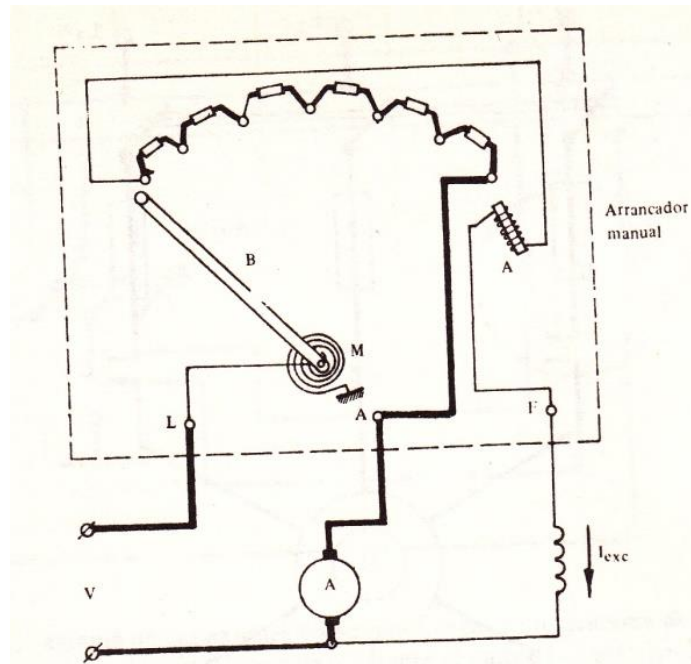


Figura .14 Diagrama de conexiones correspondiente a un arrancador de un motor "shunt" de corriente directa

Un brazo deslizante B, accionado manualmente, debe desplazarse punto a punto sobre los bornes comunes de las resistencias. En el primer punto se inserta toda la resistencia propia del dispositivo en serie con la armadura de la máquina produciéndose, como consecuencia, una gran caída de voltaje en los terminales del motor.

De este se reduce la corriente de arranque a valores permisibles –corriente máxima para máquinas de corriente directa de 2 a 2,5 veces el valor de la corriente nominal-. A medida que el motor acelera aparece la fem proporcional a la velocidad, procediéndose a eliminar gradualmente las resistencias hasta que, en el último punto del arrancador, el motor queda operando a pleno voltaje de línea posición de extrema derecha del brazo B en la figura 15. En dicha posición ($R_{ext}=0$), el brazo queda detenido por el electroimán, a través de cuya bobina circula la corriente de excitación del motor. Así se garantiza que, en caso de quedar abierto el circuito excitador por algún accidente, el brazo B retorne a su posición de reposo por la acción del muelle M, en cuyo caso la armadura resultará desconectada de la red, como puede apreciarse en la propia figura. Esta medida de protección tomada contra la posibilidad de

apertura del campo excitador tiene gran importancia en el caso de un motor “shunt”, puesto que, de continuar conectada la armadura a la fuente de alimentación en tales circunstancias, la velocidad del motor crecería sin límites hasta producirse la destrucción del mismo por efecto de la fuerza centrífuga. Este fenómeno puede ser analizado mediante la ecuación 2, en la cual se observa que una apertura del circuito excitador provocará una reducción del flujo magnético hasta un valor prácticamente nulo y, en consecuencia, un incremento de límites de la velocidad del motor.

$$n = \frac{V_t - I_a R_{arm}}{k\phi} \quad (2)$$

4.1.7 LETRA DE CÓDIGO

En algunos motores aparece un dato de chapa denominado *letra de código* (“codeletter”), el cual sirve para indicar la potencia de entrada del motor en condiciones de rotor bloqueado, en función de su propia potencia nominal. La letra de código se utiliza para determinar la adecuada protección de cortocircuito del motor, de acuerdo con lo establecido en la tabla 1.1. Las designaciones correspondientes incluyen las letras comprendidas entre la A y la V, siguiendo el orden del alfabeto inglés excluyendo las letras I, O, Q. La potencia de entrada a rotor bloqueado del motor aumenta con el orden de la letra en cuestión dentro del alfabeto.

Tabla 1.1 Valores aproximados en amperes correspondientes a las protecciones contra cortocircuitos para motores eléctricos

Tipos de motores	Método de arranque	Fusible valor máximo	Disyuntor valor máximo
Motores de corriente directa y Rotor bobinado	Arrancador	1,5 I_{nom}	1,5 I_{nom}
Motores con letra de código A	Resistencias en rotor Arranque directo		
Motores monofásicos y trifásicos de jaula de ardilla y sincrónicos	Arranque directo Resistencias en serie con el estator	3,0 I_{nom}	2,5 I_{nom}
Motores monofásicos y trifásicos de jaula de ardilla y sincrónicos. Letras de código de la F a la V, inclusive.			

Motores de jaula de ardilla y sincrónicos, cuya $I_{nom} \leq 30$ A	Autotransformador Arranque directo Resistencias	$2,5 I_{nom}$	$2,0 I_{nom}$
Motores de jaula de ardilla monofásicos y trifásicos y sincrónicos. Letras de código B a la E, inclusive.			
Motores monofásicos y trifásicos de jaula de ardilla y sincrónicos. Letras de código F a la V, inclusive.	Autotransformador		
Motores de jaula de ardilla y sincrónicos, cuya $I_{nom} \geq 30$ A, sin letra de código.	Autotransformador	$2,0 I_{nom}$	$2,0 I_{nom}$
Motores de jaula de ardilla y sincrónicos. Letras de código B a E inclusive.			

4.1.8 FACTOR DE SERVICIO (S.F.)

El factor de servicio (S.F.) indica la sobrecarga mantenida que puede ser soportada por un motor sin que sea excedida la temperatura máxima del enrollado recomendado por el fabricante. Por ejemplo, a un motor de 3 HP (1 HP = 0,746 KW), de S.F. =1 no debe aplicársele carga que demande una potencia por encima de los 3 HP que señala su chapa, a menos que dicha sobrecarga sea momentánea y moderada, considerando que la temperatura ambiente a que opera no exceda los 40°C.

Por otro lado, un motor de 3 HP, pero con S.F. =1,15 puede ser operado a un 115% de su carga nominal, esto es, puede entregar permanentemente alrededor de 3,45 HP sin que el aislamiento del motor sufra deterioro alguno, siempre que la temperatura ambiente no exceda a los 40°C.

Los datos a los cuales se han hecho referencia en las secciones 4.17 y 4.18 no los poseen la inmensa mayoría de los motores eléctricos. Se consideran como “motores sin letra de código” aquellos que no poseen este dato de chapa, y los que carecen del dato S.F. pueden suponerse con S.F. = 1. De este modo resultará más homogéneo el procedimiento de cálculo para los diferentes motores eléctricos existentes.

4.1.9 DEMANDA MÁXIMA

Se denomina *demanda máxima* a la potencia eléctrica máxima mantenida, tomada por un sistema eléctrico dado o grupo de motores, con una duración mínima de 15 minutos (en algunos países se toman 30 minutos), detectada mediante una corrida de lecturas realizada en un tiempo razonablemente largo. Por ejemplo, si la porción crítica de la característica de potencia contra tiempo registrada mediante una corrida de lecturas de 24 horas de duración en un sistema integrado por un grupo de motores es la mostrada en la figura 15, puede decirse que la demanda máxima de dicho sistema es aproximadamente 100 KW, por haberse mantenido el consumo máximo del sistema alrededor de este valor durante un intervalo de tiempo mayor de 15 minutos, no existiendo ningún otro valor de potencia demandada por el sistema superior al mencionado con la duración necesaria para ser tomado en consideración.

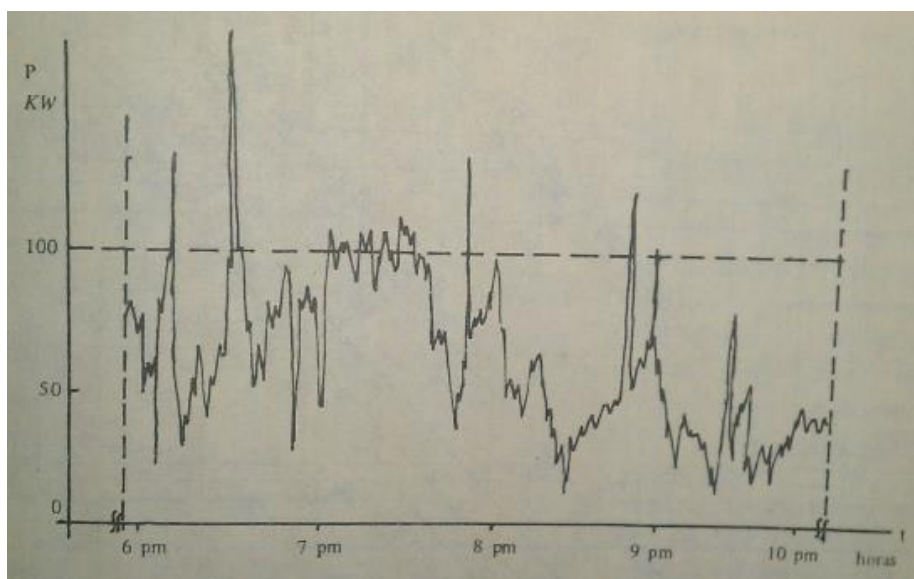


Figura .15 Gráfico de potencia contra tiempo de un grupo de motores dado, mostrando el intervalo de tiempo en que el consumo de potencia es crítico, y en el cual se observa que el valor de la demanda máxima es de 100 KW

4.1.10 FACTOR DE DEMANDA (F.D.)

Este término se aplica a sistemas industriales o a grupos de motores, y se define como la razón de la máxima demanda a la carga total conectada del sistema o grupo de motores en cuestión. Por ejemplo, si en una fábrica dada

existen 100 KW de carga instalada y se registra que la máxima demanda es de 90 KW, se dice que la fábrica en cuestión posee un factor de demanda de:

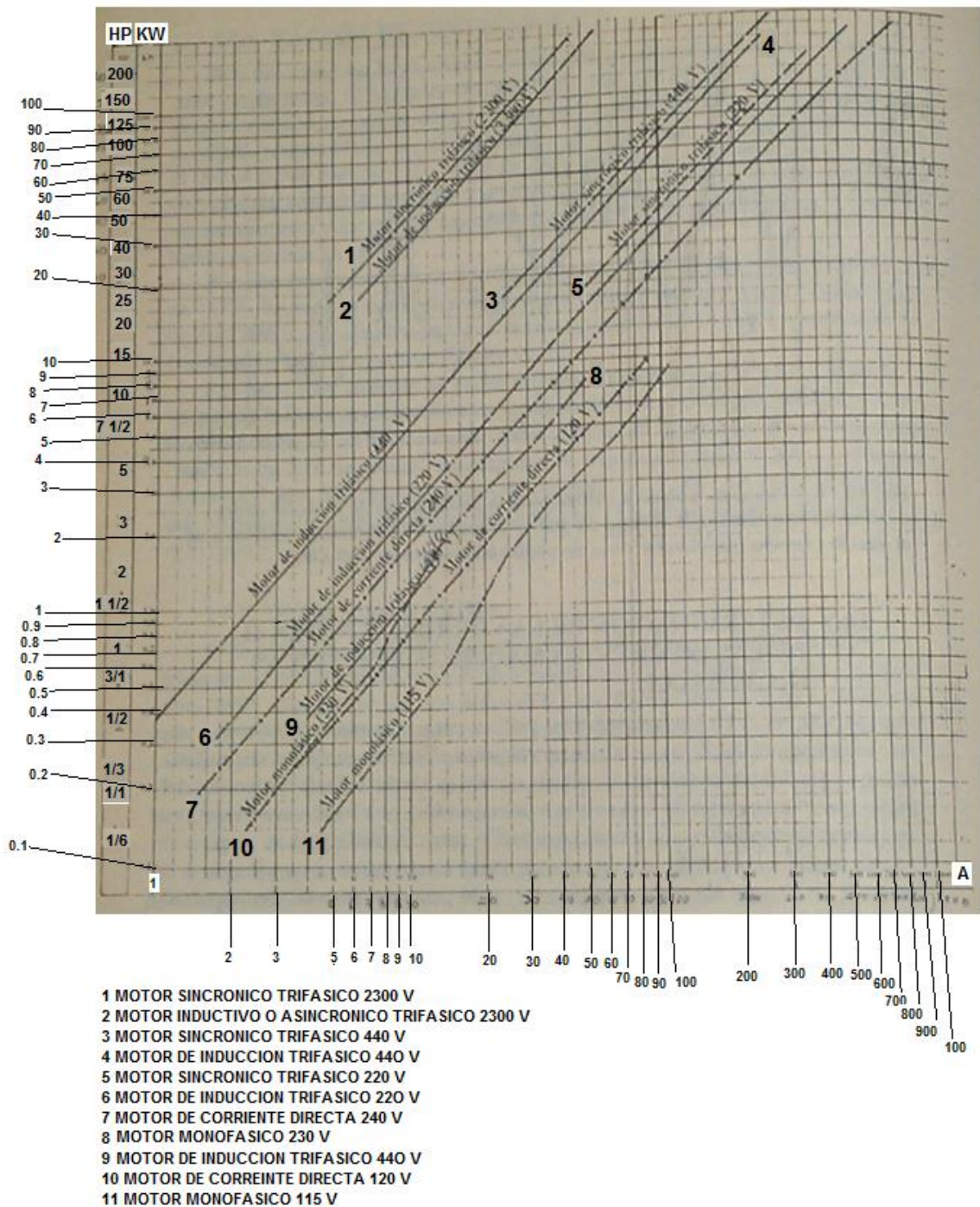
$$F.D. = \frac{90}{100} = 0,9 \quad (2.1)$$

4.1.11 DETERMINACIÓN DE LA CORRIENTE NOMINAL DE LAS DIFERENTES MÁQUINAS ELÉCTRICAS GIRATORIAS

En la figura 16 se muestran los gráficos para determinar aproximadamente los valores nominales de corriente de las máquinas eléctricas giratorias más utilizadas, para los diferentes valores de voltaje con que se diseñan. En las ordenadas del gráfico se señala el valor de la potencia nominal en KW, y en las abscisas la corriente en ampere demandada por el motor en cuestión para operación a plena carga.

Es conveniente señalar que las características mostradas correspondientes a motores sincrónicos han sido trazadas a factor de potencia unitario. Para operación a valores del factor de potencia de 0,9 y 0,8, los resultados obtenidos mediante el gráfico deben ser multiplicados por los factores 1,1 y 1,25 respectivamente.

Figura 16 curvas de potencia nominal contra corriente nominal de los diferentes motores eléctricos estudiados



4.1.12 CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN TÉRMICA DE SOBRECARGA

La protección térmica de los motores eléctricos sin incluir los diseñados para operar en regímenes de trabajo especiales se realiza fundamentalmente considerando que el motor a proteger posea o no el dato de factor de servicio (*S.F.*). Si el mismo no apareciera como dato en su chapa, consideraremos que el motor en cuestión posee un factor de servicio unitario ($S.F. = 1$), en cuyo caso la protección térmica debe ser ajustada a un valor lo más cercano posible a su corriente nominal. Es probable, sin embargo, que en ocasiones no sea factible disponer del relevador térmico con el valor estrictamente requerido, pudiéndose entonces seleccionar un dispositivo con un valor superior al necesario, pero teniendo muy en cuenta que, para lograr una adecuada protección de estos motores, *en ningún caso debe sobrepasarse el valor de $1,15 \cdot I_{nom}$* . Si por el contrario, el motor poseyera en su chapa un factor de servicio igual a $1,15$ ($S.F. = 1,15$), sobre la base de la definición dada en el epígrafes anteriores, la protección térmica debe ajustarse a un valor lo más cercano posible a $1,15 \cdot I_{nom}$. No obstante, en caso necesario pudiera sobrepasarse este valor, pero sin superar el *límite máximo* establecido para este tipo de motor dado por el valor $1,25 \cdot I_{nom}$.

En la tabla 2 se reflejan estas recomendaciones en forma sintetizada, suponiendo que la temperatura ambiente del local donde opera el motor no excede los 40°C (en algunos países los 35°C).

Tabla 1 Máxima calibración en ampere de las protecciones térmicas ajustables contra sobrecarga para diferentes motores eléctricos atendiendo al factor de servicio.

Motores en los cuales no se especifica el dato de factor de servicio, o se establece que poseen $S.F. = 1,0$	$1,15 \cdot I_{nom}$
Motores con $S.F. = 1,15$	$1,25 \cdot I_{nom}$

Nota: I_{nom} es la corriente nominal del motor a proteger, en ampere
Estos valores han sido tomados sobre la base de una temperatura ambiente de 40°C , aunque en algunos países se considera dicha temperatura base de 35°C).

4.1.13 CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITOS

Como fue expresado previamente en acápite anteriores, los dispositivos utilizados para servir de protección contra cortocircuitos en los ramales alimentadores de los motores eléctricos son los fusibles y los disyuntores o “breakers”.

En la tabla 3 se muestran los valores convencionales de corrientes nominales con que se fabrican ambos dispositivos.

Para realizar la selección de la protección contra cortocircuitos, es necesario tener en cuenta tres factores que juegan directamente con el valor de la corriente que demanda el motor durante el proceso de arranque:

- a) Método utilizado para el arranque
- b) Letra de código en su chapa (si la poseyera)
- c) Tipo de motor

Una selección de fusibles o disyuntores sin atender a estos factores podría provocar que la corriente tomada por el motor en el arranque (generalmente de 6 a 7 veces la corriente nominal) ocasionara:

- Accionamiento indebido de las protecciones contra cortocircuitos, con las consiguientes interrupciones innecesarias en la operación del equipo, si la selección se hubiese hecho con un valor inferior al necesario.
- Deterioro del aislamiento del motor por no responder adecuadamente la protección, si la selección se hubiese realizado con un valor superior al necesario.

Tabla .3 Valores de corrientes de operación con que se fabrican las protecciones convencionales contra cortocircuitos de circuitos eléctricos

Fusibles (A)	Disyuntores o “breakers ” (A)
15	15
20	20
25	30
30	40
35	50
40	70
45	100
50	125
60	150
70	175
80	200

90	225
100	250
110	300
125	350
150	400
175	500
200	600
225	700
250	800
300	
350	
400	
450	
500	
600	
800	
1000	
1200	
1600	

En la tabla 1 se relacionan los valores de corrientes nominales de los fusibles y de los disyuntores o “breakers” destinados a la protección contra cortocircuitos de los diferentes tipos de motores eléctricos existentes, atendiendo a los dos factores enumerados anteriormente, dados en función de la corriente nominal de la máquina a proteger.

En muchos casos, el valor máximo de la corriente correspondiente a la protección contra cortocircuitos, obteniendo mediante el cálculo realizado utilizando la tabla 1, no coincide con el valor establecido por las normas de fabricación correspondientes a estos dispositivos, las cuales se relacionan en la tabla 3 en tales circunstancias debe escogerse aquel dispositivo que posea el valor inmediatamente superior al calculado, con el fin de guardar cierta reserva a su favor.

Es conveniente aclarar que para la protección contra cortocircuitos de los motores eléctricos, deben seleccionarse bien fusibles o bien disyuntores, pero no ambos simultáneamente, puesto que implicaría duplicidad innecesaria en la protección y gastos adicionales no justificables.

4.1.14 SELECCIÓN DEL AISLAMIENTO DEL CONDUCTOR

En la tabla 4 se relacionan los diferentes tipos de aislamientos utilizados como envoltura de los conductores utilizados en las instalaciones industriales de bajo voltaje.

4.1.15 SELECCIÓN DEL CALIBRE DE UN CONDUCTOR ELÉCTRICO, ATENDIENDO SOLAMENTE A LA CONDICIÓN DE CALENTAMIENTO

Un conductor eléctrico de una sección transversal determinada, puede soportar cierto valor de corriente máxima, para una temperatura ambiental dada. Magnitudes de corriente por encima del valor especificado pueden producir calentamientos tales, que el conductor sufrirá serios daños en su envoltura aislante. Por esta razón es necesario seleccionar un conductor con determinada sección transversal mínima, de modo que pueda soportar, sin perjuicio alguno para su aislamiento, la magnitud de corriente deseada. Por otro lado, atendiendo a razones de carácter económico y práctico, no es aconsejable optar por conductores con un área extremadamente holgada al realizar la selección de los mismos.

Se fabrican diferentes aislamientos sobre la base de las diversas condiciones ambientales en que los mismos han de operar. Por ejemplo, hay tipos diseñados para ser instalados en locales secos, otros que pueden utilizarse indistintamente en locales secos y húmedos.

La temperatura ambiente, así como las magnitudes del voltaje, son factores importantes a tener en cuenta a realizar una adecuada selección del tipo de aislamiento del conductor eléctrico a utilizar.

Por ejemplo, un conductor eléctrico recubierto con un aislamiento de tipo *R* no debe ser utilizado en locales húmedos ni en lugares en que la temperatura ambiente exceda los 60 °C, de acuerdo con lo establecido en la referida tabla 4.

Tabla.4 Aplicación de conductores eléctricos (Solamente se relacionan los más utilizados)

Nombre de fabricación	Letra del tipo	Temp. Máxima de operación	Aplicaciones y limitaciones
Goma	R	60 °C	Localizaciones secas
Goma resistente al calor	RH	75 °C	Localizaciones secas

Goma resistente a la humedad	RW	60 °C	Localizaciones secas y húmedas. Para voltajes superiores a 2000 V, el aislamiento debe poseer características especiales.
Goma resistente a la humedad y al calor	RH-RW	60 °C	Localizaciones secas y húmedas. Para voltajes superiores a 2000 V, el aislamiento debe poseer características especiales.
		75 °C	Localizaciones secas. Para voltajes superiores a 2000 V, el aislamiento debe poseer características especiales.
Goma latex	RU	60 °C	Localizaciones secas
Goma latex resistente a la humedad	RUW	60 °C	Localizaciones secas y húmedas
Termoplástico	T	60 °C	Localizaciones secas
Termoplástico resistente a la humedad	TW	60 °C	Localizaciones secas y húmedas

Para condiciones de humedad ambiental se recomienda aislamiento tipo *TW* (termoplástico), el cual es el más comúnmente utilizado, capaz de soportar una temperatura máxima de 60 °C.

Los conductores eléctricos se dividen en dos tipos fundamentales, denominados alambres y cables.

Los alambres se construyen con su sección transversal de metal macizo, mientras que la sección transversal de los cables está formada por varios alambres retorcidos, lo que les permite mayor flexibilidad. En las figuras 17a) y 17b) se muestran las vistas de las secciones transversales correspondientes a un alambre y a un cable respectivamente, a fin de observar más claramente sus diferencias.

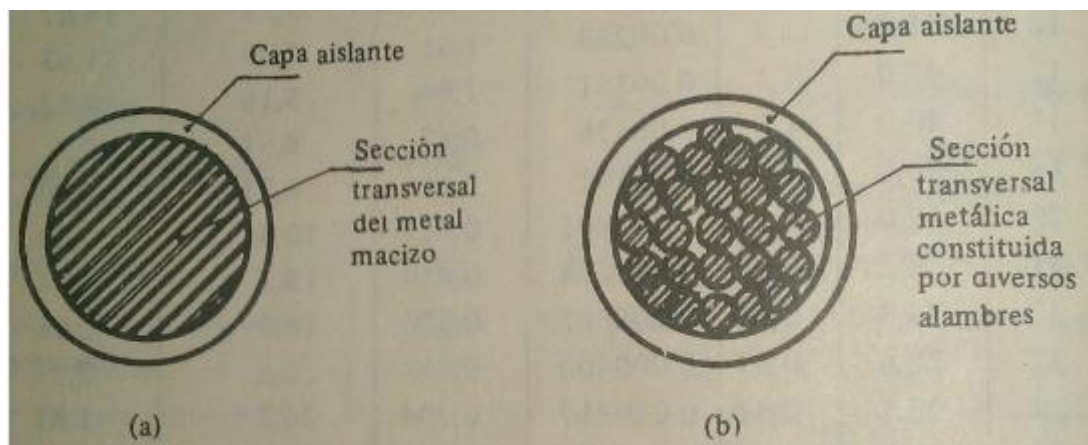


Figura.17 a) Sección transversal de un alambre; b) sección transversal de un cable

La sección transversal de los diferentes conductores eléctricos fabricados convencionalmente, puede observarse en la tabla 5, expresada en mm^2 o mediante la norma AWG. Es conveniente señalar que en dicha tabulación no se incluye el área que ocupa el aislamiento, sino simplemente la sección transversal del conductor metálico. Además, se brindan en la misma ciertos datos de interés correspondientes a los conductores fabricados convencionalmente, utilizando unidades del sistema MKS y sus equivalentes del sistema inglés.

El metal más utilizado en la confección de los conductores eléctricos es el cobre, aunque en algunos casos también se utiliza el aluminio. El primero es mejor conductor de la electricidad que el segundo, mientras que el segundo es menos pesado que el primero.

Tabla .5 Datos correspondiente a alambres macizos de cobre

N° AWG	Diámetro		Sección transversal		Ohm por mil pies (25 °C)	Kg por Km
	Mil cic	Mm	Pulgcuad	mm^2		
0000	460,0	11,7	0,166	107,5	0,0500	953,8
000	410,0	10,4	0,132	85,2	0,0630	755,9
00	365,0	9,3	0,105	67,7	0,0795	599,6
0	325,0	8,2	0,0829	53,5	0,100	474,6
1	289,0	7,3	0,0657	42,4	0,126	376,5
2	258,0	6,5	0,0521	33,6	0,159	299,0
3	229,0	5,8	0,0413	26,6	0,201	236,6
4	204,0	5,2	0,0328	21,2	0,253	187,5
5	182,0	4,6	0,0260	16,8	0,319	148,8
6	162,0	4,1	0,0206	13,3	0,403	118,3
7	144,0	3,6	0,0164	10,6	0,508	93,7
8	128,0	3,2	0,0130	8,4	0,641	74,4

9	114,0	2,9	0,0103	6,6	0,808	58,9
10	102,0	2,6	0,00815	5,2	1,02	46,7
11	91,0	2,3	0,00647	4,2	1,28	37,0
12	81,0	2,0	0,00513	3,3	1,62	29,4
13	72,0	1,8	0,00407	2,6	2,04	23,3
14	64,0	1,6	0,00323	2,1	2,58	18,4
15	57,0	1,4	0,00256	1,65	3,25	14,67
16	51,0	1,3	0,00203	1,31	4,09	11,63
17	45,0	1,1	0,00161	1,04	5,16	9,22
18	40,0	1,0	0,00128	0,82	6,51	7,32
19	36,0	0,9	0,00101	0,65	8,21	5,80
20	32,0	0,8	0,000802	0,517	10,4	4,60
21	28,5	0,7	0,000636	0,410	13,1	3,64
22	25,3	0,64	0,000505	0,326	16,5	2,88
23	22,6	0,57	0,000400	0,258	20,8	2,29
24	20,1	0,51	0,000317	0,204	26,2	1,81
25	17,9	0,45	0,000252	0,162	33,0	1,44
26	15,9	0,40	0,000200	0,129	41,6	1,144
27	14,2	0,36	0,000158	0,102	52,5	0,907
28	12,6	0,32	0,000126	0,081	66,2	0,720
29	11,3	0,29	0,0000995	0,064	83,4	0,571
30	10,0	0,25	0,0000789	0,051	105,0	0,452
31	8,9	0,23	0,0000626	0,040	133,0	0,358
32	8,0	0,20	0,0000496	0,032	167,0	0,284
33	7,1	0,18	0,0000394	0,025	211,0	0,226
34	6,3	0,16	0,0000312	0,020	266,0	0,178
35	5,6	0,14	0,0000248	0,016	335,0	0,1419
36	5,0	0,13	0,0000196	0,013	423,0	0,1126
37	4,5	0,11	0,0000156	0,010	533,0	0,0893
38	4,0	0,10	0,0000123	0,008	673,0	0,0708
39	3,5	0,09	0,0000098	0,006	848,0	0,0561
40	3,1	0,08	0,0000078	0,004	1070,0	0,0445

En las tablas 6 y 7 aparecen las capacidades permisibles de corriente para conductores de cobre y aluminio respectivamente, sobre la base de sus correspondientes secciones transversales.

Tabla.6 Capacidad de corriente permisible a través de conductores de cobre recubiertos con los tipos de aislamiento más utilizados, en amperes

Sección transversal del conductor		Tipos de aislamientos: Goma tipo R; tipo RW; tipo RU; tipo RUW; tipo RH-RW; termoplástico tipo T; tipo TW
mm ²	Nº AWG o mil circ	
2,1	14	15
3,3	12	20
5,2	10	30
8,4	8	40

13,3	6	55
21,2	4	70
26,6	3	80
33,6	2	95
42,4	1	110
53,1	0	125
67,7	00	145
85,2	000	165
107,5	0000	195
126,7	250000 (mil circ)	215
152,0	300000 (mil circ)	240
177,3	350000 (mil circ)	260
202,7	400000 (mil circ)	280
253,4	500000 (mil circ)	320
304,0	600000 (mil circ)	355
354,7	700000 (mil circ)	385
380,0	750000 (mil circ)	400
405,4	800000 (mil circ)	410
456,0	900000 (mil circ)	435
506,7	1000000 (mil circ)	455
633,4	1250000 (mil circ)	495
760,1	1500000 (mil circ)	520
886,7	1750000 (mil circ)	545
1013,4	2000000 (mil circ)	560
Factores de corrección para temperaturas superiores a los 30 °C (aplicable a conductores de cobre o de aluminio)		
Temperatura (°C)		Factor de corrección de temperatura F.T
0 a 30		1,00
31 a 40		0,82
41 a 45		0,71
46 a 50		0,58
51 a 55		0,41

Tabla .7 Capacidades de corriente permisibles a través de conductores de aluminio recubiertos con los tipos de aislamientos más utilizados, en ampere

Sección transversal del conductor		Tipos de aislamientos: Goma tipo R; tipo RW; tipo RU; tipo RUW; tipo RH-RW; termoplástico tipo T; tipo TW
mm ²	Nº AWG o mil circ	
3,3	12	15
5,2	10	25
8,4	8	30
13,3	6	40
21,2	4	55
26,6	3	65
33,6	2	75
42,4	1	85
53,1	0	100
67,7	00	115
85,2	000	130
107,5	0000	155
126,7	250000 (mil circ)	170
152,0	300000 (mil circ)	190
177,3	350000 (mil circ)	210
202,7	400000 (mil circ)	225
253,4	500000 (mil circ)	260
304,0	600000 (mil circ)	285
354,7	700000 (mil circ)	310
380,0	750000 (mil circ)	320
405,4	800000 (mil circ)	330
456,0	900000 (mil circ)	355
506,7	1000000 (mil circ)	375
633,4	1250000 (mil circ)	405
760,1	1500000 (mil circ)	435
886,7	1750000 (mil circ)	455
1013,4	2000000 (mil circ)	470

Nota: Los factores de corrección de temperatura *F.T.* correspondientes a estos conductores de aluminio son los mismos que los pertenecientes a los conductores de cobre, tabla 6.

Debido a que la capacidad de un conductor disminuye cuando la temperatura ambiente es excesiva, los valores de las tablas 6 y 7 están dados sobre la base de una temperatura ambiente de 30 °C. Cualquier incremento adicional por encima de la temperatura máxima tomada como base al confeccionar dichas tablas, debe corresponder con un incremento adicional de la sección transversal del conductor seleccionado, a fin de compensar el exceso de temperatura. Dicha compensación se realiza a través de factores de temperatura (*F.T.*), los cuales aparecen en la parte inferior de la tabla 6, aplicables tanto a conductores de cobre como de aluminio.

Otro factor a tener en cuenta al realizar una adecuada selección de la sección transversal del conductor, es el correspondiente al número de cables a través de una misma tubería, al cual denominaremos *F.C.*, y cuyos valores se relacionan en la tabla 8.

Tabla. 8 Números de cables a través de una misma tubería correspondientes al factor *F.C.*

Valores correspondientes al factor <i>F.C.</i> que incluye el efecto producido por un número dado de conductores a través de una misma tubería	
Números de conductores a través de una misma tubería	<i>F.C.</i>
1 a 3	1,0
4 a 6	0,8
7 a 24	0,7
25 a 42	0,6
43 y más	0,5

El empleo del mencionado factor *F.C.* se justifica teniendo en cuenta que cuando un conductor eléctrico se introduce en una tubería, sus condiciones de disipación térmica disminuyen, si se las compara con las que posee al aire libre. Esta situación empeora aún más cuando se introduce más de un conductor eléctrico a través del mismo conducto. En este caso, el calor producido por las pérdidas i^2R en cada uno de ellos influye sobre los circundantes, originándose en los mismos un efecto mutuo que tiende a disminuir su capacidad de conducción de corriente. No obstante, los valores de

capacidad de corriente de los distintos conductores relacionados en las tablas 6 y 7 tienen en cuenta este fenómeno, pero solamente hasta el número de 3 de cables dentro de un mismo conducto. Para cantidades mayores, es necesario afectar los valores de corriente tabulados, por los factores de la tabla 8, de forma tal que la consideración de los mismos conduzca a una reducción de la capacidad de corriente del conductor en comparación con el valor dado para condiciones normales de operación.

Sobre todas estas consideraciones, es conveniente brindar al conductor un factor de seguridad adicional, a fin de que el mismo opere con un margen de confiabilidad razonable. Debe considerarse, para complementar este aspecto, que por el conductor en cuestión circula constantemente un 25 % en exceso de la corriente que en realidad va a circular a través del mismo. Dicha consideración contribuirá a reducir en algo las caídas de voltaje en los alimentadores seleccionados mediante este criterio y, además, permitirá al conductor soportar, sin que sufra perjuicios serios, las corrientes de sobrecargas o cortocircuitos que puedan circular en casos de fallas, durante los cortos intervalos de tiempo requeridos para la operación de las correspondientes protecciones.

De las consideraciones previamente realizadas, la determinación de la corriente I_c , que puede suponerse circulando por el conductor en caso de que existan condiciones críticas de operación, a los efectos de una adecuada selección del mismo, está dada por la expresión siguiente:

$$I_c = \frac{1,25 I_{carga}}{F.T.F.C} \quad (3)$$

Donde:

I_{carga} , corriente que circula a través del conductor hacia la carga, ampere.

$F.T.$, factor de temperatura, dado al pie de la tabla 6.

$F.C.$, factor de número de cables por un conducto, tabla 8.

1,25, factor que brinda un 25% como margen de seguridad a favor del conductor.

4.1.16 SELECCIÓN DEL ALIMENTADOR PARA VARIOS CIRCUITOS RAMALES

Un alimentador es cada uno de los conductores que transporta energía eléctrica a una carga o a un grupo de cargas, como se ilustra en la figura 18.

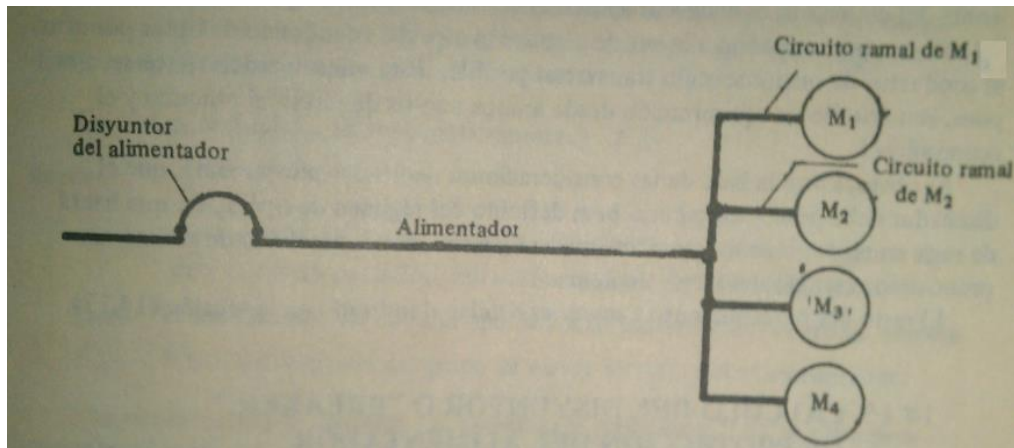


Figura.18 Diagrama monolineal que muestra un alimentador de un grupo de motores eléctricos

El método utilizado para calcular la sección transversal adecuada del conductor que sirve de alimentador a varias cargas, se basa en la ecuación 3. La capacidad de corriente I_a , que debe poseer el alimentador es la siguiente:

$$I_a = \frac{1,25 I_{mm} + (\sum I_{nom} \text{ de los demás motores}) F.D.}{F.T.F.C.} \quad (4)$$

Donde:

I_{mm} , corriente nominal del motor que mayor corriente tome, de los conectados al referido alimentador, ampere.

I_{nom} , corriente nominal de cada motor alimentado, ampere.

$F.D.$, factor de demanda del circuito alimentador.

$F.T.$, factor de temperatura, pie de la tabla 6.

$F.C.$, factor de número de cables, tabla 8.

1,25, factor que brinda un 25 % de margen de seguridad a favor del alimentador.

Además de los mismos factores considerados en el cálculo del calibre de un conductor, epígrafe 4.23, en este caso se ha tenido en cuenta que:

- a) El motor que mayor corriente toma del conjunto, se encuentra operando constantemente bajo condición de plena carga, lo cual constituye ya, de por sí, una condición crítica de trabajo para el alimentador.

- b) El factor de demanda tiene en cuenta la posibilidad de que no todos los motores restantes del conjunto operen en régimen de plena carga, e incluso, la de que no todos funcionen simultáneamente.

Las dos consideraciones previamente mencionadas son fundamentales en el proceso del cálculo que se considera, puesto que el criterio que debe regir en la mente del diseñador, es el de seleccionar el conductor para la operación más crítica del sistema, pero tratando a la vez de atender al aspecto económico de optar por el conductor de menor sección transversal posible. Esta selección debe hacerse, pues, con criterio de optimización desde ambos puntos de vista: el práctico y el económico.

Es obvio, sobre la base de las consideraciones realizadas previamente, que el diseñador debe poseer un criterio bien definido del régimen de operación que habrá de regir en el grupo de cargas eléctricas a alimentar, con la finalidad de realizar un pronóstico acertado del factor de demanda.

El resto del procedimiento a seguir es similar al indicado en la sección (4.23).

4.1.17 CÁLCULO DEL DISYUNTOR O “BREAKER” DE PROTECCIÓN DEL ALIMENTADOR

Todo conductor alimentador debe protegerse contra posibles cortocircuitos. Esta protección se realiza generalmente mediante disyuntores.

En la figura 19 se muestra un circuito eléctrico monolineal, en el cual aparece un alimentador unido a varias cargas eléctricas. Observe que si se produce un cortocircuito en el punto *A*, la corriente circula, producto del mismo, desde la fuente a las cargas a través del referido alimentador y debe producir la apertura la protección *PA*. Sin embargo, de producirse un cortocircuito en el punto *B*, esto es, en el propio alimentador, la corriente de avería no circula, prácticamente, a través de la protección *PA*. Por esta razón se hace imprescindible la ubicación del dispositivo protector *PB* en el alimentador, capaz de protegerlo adecuadamente. Lógicamente, la protección *PA* debe accionar a un valor inferior de corriente que la *PB*, puesto que se requiere exclusivamente la apertura de *PA* en caso de una avería en el punto *A*, correspondiente a uno de los circuitos ramales, de manera que no resulte interrumpido el servicio eléctrico a las cargas restantes.

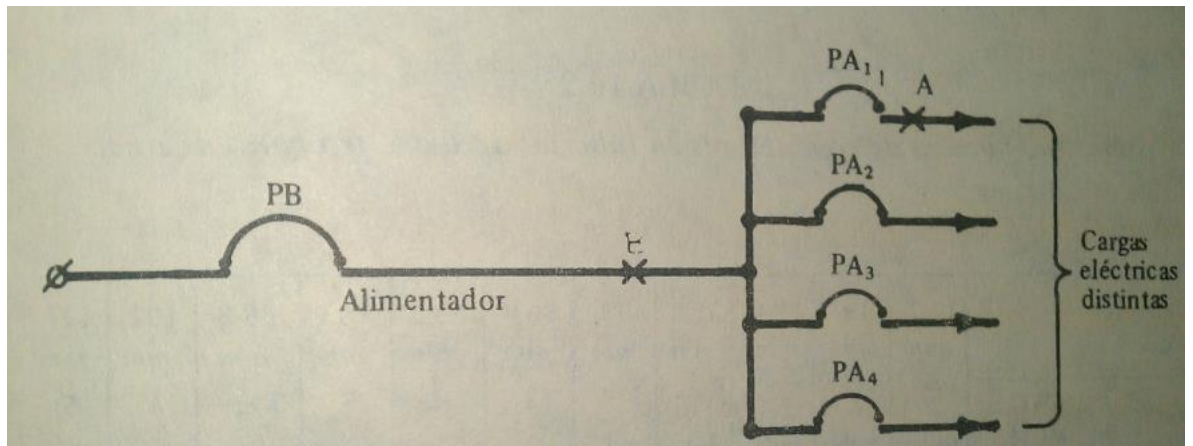


Figura. 19 Circuito eléctrico monolineal de un alimentador para un grupo de cargas dado, mostrando los disyuntores de protección tanto del alimentador como de los ramales individuales

Para realizar la selección del disyuntor que ha de servir de protección contra cortocircuitos del alimentador debe calcularse su corriente de trabajo, I_{da} , mediante la siguiente expresión:

$$I_{da} = I_{dm} + (\sum I_{nom} \text{ de los demás motores}) F.D. \quad (5)$$

Donde:

I_{dm} , corriente del disyuntor correspondiente al mayor motor del grupo servido por el alimentador, calculada mediante la tabla 3, ampere.

I_{nom} , corriente nominal de cada uno de los demás motores del grupo, ampere.

$F.D.$, factor de demanda del grupo de cargas servidas por el alimentador.

Una vez calculada la corriente I_{da} mediante la ecuación (5), se procede a comparar el valor obtenido con los correspondientes a los disyuntores fabricados convencionalmente, cuyos datos aparecen en la tabla 3, debiendo escogerse un disyuntor cuyo valor nominal de corriente sea igual, o inmediatamente superior, al calculado.

4.1.18 SELECCIÓN DE LA TUBERÍA

Al realizar el diseño de la instalación de una carga eléctrica cualquiera, es necesario seleccionar la tubería a través de la cual deben ser introducidos los conductores eléctricos.

Para cumplir este objetivo es necesario conocer cuántos conductores de una sección transversal dada recubiertos con sus respectivos aislamientos serán necesarios.

Una vez determinado el número de los mismos, puede entrarse a la tabla 9 por la izquierda, con el dato calibre del conductor. En cada fila puede leerse el número de conductores de dicha sección transversal que pueden ser introducidos con facilidad en la tubería cuyo diámetro se especifica en el encabezamiento de la columna correspondiente.

Tabla.9 Máximo número de conductores en tuberías de diámetro convencional

Calibre del conductor		12,7 mm $\frac{1}{2}$ pul g.	19 mm $\frac{3}{4}$ pul g.	25,4 mm 1 pul g.	31,8 mm $1\frac{1}{4}$ pul g.	38 mm $1\frac{1}{2}$ pul g.	50,8 mm 2 pul g.	63,3 mm $2\frac{1}{2}$ pul g.	76,2 mm 3 pul g.	88,8 mm $3\frac{1}{2}$ pul g.	102 mm 4 pul g.	127 mm 5 pul g.
mm ²	AWG MCM											
0,82	18	7	12	20	35	49	80	115	176	-	-	-
1,31	16	6	10	17	30	41	68	98	150	-	-	-
2,1	14	4	6	10	18	25	41	58	90	121	155	-
3,3	12	3	5	8	15	21	34	50	76	103	132	208
5,2	10	1	4	7	13	17	29	41	64	86	110	173
8,4	8	1	3	4	7	10	17	25	38	52	67	105
13,3	6	1	1	3	4	6	10	15	23	32	41	64
21,2	4	1	1	1	3	5	8	12	18	24	31	49
26,6	3	-	1	1	3	4	7	10	16	21	28	44
33,6	2	-	1	1	3	3	6	9	14	19	24	38
42,4	1	-	1	1	1	3	4	7	10	14	18	29
53,5	0	-	-	1	1	2	4	6	9	12	16	25
67,7	00	-	-	1	1	1	3	5	8	11	14	22
85,2	000	-	-	1	1	1	3	4	7	9	12	19
107,5	0000	-	-	-	1	1	2	3	6	8	10	16
126,7	25000 0	-	-	-	1	1	1	3	5	6	8	13
152,0	30000 0	-	-	-	1	1	1	3	4	5	7	11
177,3	35000 0	-	-	-	1	1	1	1	3	5	6	10
202,7	40000 0	-	-	-	-	1	1	1	3	4	6	9
253,4	50000 0	-	-	-	-	1	1	1	3	4	5	8

304,0	60000 0	-	-	-	-	-	1	1	1	3	4	6
354,7	70000 0	-	-	-	-	-	1	1	1	3	3	6
380,0	75000 0	-	-	-	-	-	1	1	1	3	3	5
405,4	80000 0	-	-	-	-	-	1	1	1	2	3	5
456,0	90000 0	-	-	-	-	-	1	1	1	1	3	4
506,7	10000 00	-	-	-	-	-	1	1	1	1	3	4
633,4	12500 00	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	3
760,1	15000 00	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	3
886,7	17500 00	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2
1013, 4	20000 00	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1

Luego de haber sido realizados todos los cálculos anteriormente mencionados, finalmente debe procederse a confeccionar el *listado de materiales* necesarios para la adecuada instalación y protección de cada motor eléctrico, especificando claramente los parámetros necesarios de los distintos dispositivos a utilizar, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Al seleccionar el interruptor de cuchillas deben especificarse corriente y voltaje nominales, número de vías y capacidad de corriente de los fusibles a utilizar en el mismo. La corriente nominal de referido dispositivo debe coincidir aproximadamente con el valor de corriente I_c que poseen los conductores seleccionados para la instalación, con la finalidad de que estos puedan introducirse sin dificultad en sus bornes de entrada y salida. El voltaje nominal es un parámetro importante también, puesto que un interruptor de cuchillas como cualquier otro dispositivo eléctrico que sea utilizado en un circuito que posea valores de voltaje de línea a línea, mayores que los de diseño del dispositivo, está en peligro de ponerse en cortocircuito por ruptura de su aislamiento.
- b) Al seleccionar un compensador de arranque, deben detallarse los siguientes parámetros: capacidad del mismo en KW o HP, voltaje de

operación, valores de voltajes obtenidos en los diferentes taps del equipo en por ciento del voltaje nominal, valor de corriente que debe poseer su protección térmica de sobrecarga y frecuencia del voltaje de operación.

- c) Las especificaciones necesarias para la selección de un contactor magnético deben ser: potencia nominal en *KW* o *HP*, o en su lugar, corriente nominal, voltaje nominal. Además, número de vías, frecuencia del voltaje de operación y valor máximo de corriente de ajuste de la protección térmica de sobrecarga. En forma similar el procedimiento seguido en la selección del interruptor de cuchillas, la corriente nominal del contactor magnético debe ser aproximadamente la misma que el valor I_c correspondiente al conductor escogido para la instalación.

Debe señalarse que el cálculo correspondiente a los disyuntores de protección contra cortocircuitos de los alimentadores se realizó atendiendo exclusivamente a las magnitudes de corriente de trabajo de los mismos, sin entrar a analizar los niveles de cortocircuito correspondientes.

5. METODOLOGÍA

Este trabajo se basa en determinar los procedimientos a seguir para la correcta selección y dimensionamiento de las protecciones para motores eléctricos, para ello fue necesario aplicar los siguientes métodos de investigación:

El método inductivo: que es un método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico que se caracteriza por cuatro etapas básicas: la observación y el registro de todos los hechos; el análisis y la clasificación de los hechos; la derivación inductiva de una generalización a partir de los hechos; y la contrastación.

Esto supone que, tras una primera etapa de observación, análisis y clasificación de los hechos y características, derivándose de una hipótesis que soluciona el problema planteado. Una forma de llevar a cabo el método inductivo es proponer, a partir de la observación repetida de objetos o acontecimientos de la misma naturaleza, una conclusión para todos los objetos o eventos de dicha naturaleza.

El método de deductivo: Que nos ira encadenando conocimientos como son axiomas, postulados, teoremas definiciones, entre otros para deducir nuevas propiciaciones; Parte de un marco general de referencia y se va hacia un caso en particular. En la deducción se compran las características de un caso objeto y fenómenos. En la deducción se realiza un diagnostico que sirve para tomar decisiones.

El Método Científico: Que consiste en seguir un conjunto de pasos fijados de antemano por una disciplina con el fin de alcanzar conocimientos válidos mediante instrumentos confiables, secuencia estándar para formular y responder a una pregunta, pauta que permite a los investigadores ir desde el punto A hasta el punto Z con la confianza de obtener un conocimiento válido.

Con todos estos conocimientos previamente analizados y aplicados correctamente a la investigación del proyecto, se propondrá un método para realizar la selección y dimensionamiento de las protecciones eléctricas para motores de corriente alterna.

6. RESULTADOS

6.1 PROCEDIMIENTO PARA SELECCIONAR LOS COMPONENTES Y MATERIALES ADECUADOS PARA INSTALAR Y PROTEGER UN MOTOR ELÉCTRICO.

Con Los procedimientos descritos en los acápite anteriores, se presenta las siguientes prácticas para la selección de los componentes y materiales adecuados para instalar y proteger un motor eléctrico, se aplicarán los procedimientos de cálculos propuestos en esta investigación, al mismo tiempo se enseñará el manejo de las tablas presentadas en este trabajo. A continuación se presentan las orientaciones de las prácticas realizadas.

6.2 ORIENTACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

6.2.1 ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA 1

Determinar la corriente nominal de un motor asincrónico trifásico de 22,4 KW y 220 volt.

Calcular el valor a que debe ser ajustado el relevador térmico contra sobrecargas para el motor.

Procedimiento a seguir:

Para determinar el valor de la corriente nominal de un motor asincrónico fabricado para operar a 220 volt se recurre a la figura 16, entrando al gráfico correspondiente con el dato de potencia nominal en el eje de las cordenadas.

El resultado se obtiene sobre el eje de las abscisas, en este caso 78 ampere.

Para determinar el valor al que debe ser ajustado el relevador térmico es necesario:

- a) En caso de que posea factor de servicio unitario (o no posea factor de servicio, en cuyo caso también se considera $S.F.= 1$).

De acuerdo con lo establecido, el motor de 22,4 KW, 220 debe ser protegido contra sobrecargas mediante su relevador térmico ajustado preferentemente al

valor de su corriente nominal, o sea, a 78 A. Sin embargo, de acuerdo con la tabla (2), en caso de no disponer del relevador térmico apropiado, no debe sobrepasarse el valor de ajuste siguiente para $S.F.= 1,0$:

$$I_{ps} = 1,15 \times 78 = 90 A$$

b) En caso de que posea factor de servicio 1,15 ($S.F.= 1,15$).

En caso de que el motor a proteger posea en su chapa el dato $S.F.=1,15$, el valor de ajuste del relevador térmico debe ser igual a 1,15 (I_{nom}), de acuerdo con lo establecido. El valor máximo, es decir, el de ajuste que no debe ser sobrepasado para este tipo de motor es, de acuerdo con la tabla (2), el siguiente:

$$I_{ps} = 1,25 \times I_{nom} = 1,25 \times 78 = 97,5 A$$

6.2.2 ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA 2

Calcular la protección adecuada contra cortocircuitos para un motor de carcasa cerrada, jaula de ardilla, 27 KW, 440 V, trifásico, 60 Hz, el cual es arrancado mediante un compensador de arranque (o autotransformador). Determinar:

- a) Fusible.
- b) Disyuntor o “breaker”

Procedimiento a seguir:

Como primer paso se procede a determinar el valor de la corriente nominal del motor en cuestión mediante el gráfico mostrado en la figura 16. Por lo tanto:

$$I_{nom} = 45 A$$

No estableceremos diferencias en cuanto a la protección contra cortocircuitos de un motor con carcasa cerrada o con carcasa abierta. Consideraremos iguales condiciones para ambos tipos de carcasa.

Además, al no tener la letra de código ni al factor de servicio del motor, éste puede ser considerado “sin letra de código”, y con un $S.F.= 1$.

Atendiendo a sus condiciones de arranque, corriente nominal y al hecho de que no posee letra de código, el motor en cuestión puede ser ubicado en la casilla (8) de la tabla (1.1). Por lo tanto:

a) Fusible:

$$I_{fus} = 2 \times I_{nom} = 2 \times 45 = 90 A$$

Confrontando el valor obtenido en el cálculo realizado con las normas para fusibles dadas por la tabla (3), se concluye que es posible colocar un fusible de 90 A, como elemento protector contra cortocircuitos.

b) Disyuntor:

$$I_{disy} = 2 \times I_{nom} = 2 \times 45 = 90 A$$

Comparando el valor obtenido, con las normas que aparecen en la mencionada tabla (3), se llega a la conclusión que es necesario seleccionar un disyuntor de 100 A, valor inmediatamente superior al calculado, puesto que no se fabrican disyuntores de 90 A, de acuerdo con los datos de que se dispone.

Nota: En la presente práctica de selección han sido calculadas dos protecciones contra cortocircuitos, con el fin de ilustrar el procedimiento a seguir en cada caso. No obstante, es necesario reiterar que debe seleccionar solamente uno u otro dispositivo, con la finalidad de evitar duplicidades innecesarias.

6.2.3 ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA 3

Seleccionar el conductor adecuado para alimentar una carga eléctrica trifásica que demanda 25 A a 220 V, y la cual se encuentra ubicada en un local húmedo, cuya temperatura ambiente es de 40°C.

Procedimiento a seguir:

Como primer paso a seguir, se procede a seleccionar el tipo de aislamiento que requiere el conductor para operar en las condiciones ambientales planteadas. De acuerdo con la tabla (4), puede escogerse el aislamiento termoplástico resistente a la humedad *TW*, el cual soporta hasta 60°C como temperatura

máxima. También pudieron haber sido seleccionados otros tipos de aislamientos que cumplen con tales requisitos.

Como segundo paso, puede aplicarse la ecuación (3), a fin de calcular el calibre adecuado del conductor a utilizar, o sea:

$$I_c = \frac{1,25 \times 25}{0,82 \times 1,0} = 38,4 A$$

Observe como el factor F.C. es considerado igual a 1, debido a que se sobreentiende que el número de conductores por una misma tubería es 3, puesto que la carga a alimentar es trifásica.

Como tercer paso, con el valor previamente calculado se llega a la tabla (6), para conductores de cobre, determinándose que el valor inmediato superior a 38,4 A registrado en la misma es de 40 A, capacidad de corriente que corresponde a un conductor de 8,4 mm² de sección transversal o su equivalente en la norma AWG, N° 8.

Queda determinado, que el conductor adecuado para alimentar la carga eléctrica trifásica mencionada, es el siguiente:

Conductor de aislamiento TW, de 8,4 mm² de sección transversal, o, de acuerdo con la norma AWG, número 8. La selección ha sido realizada sobre la base de que el referido conductor es de cobre.

Puede realizarse el cálculo para conductores de aluminio, utilizando la tabla (7), en cuyo caso se obtiene para las mismas condiciones del procedimiento que se analiza un conductor de 13,3 mm², o AWG N°6.

En lo sucesivo, a menos que otra cosa se especifique, nos referiremos exclusivamente a conductores de cobre, por ser éste el metal de mayor aplicación práctica en instalaciones industriales.

6.2.4 ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA 4

Realizar la selección de los dispositivos necesarios para la protección e instalación de un motor de jaula de ardilla, letra de código B, de 18,6 KW, 440 V, 60 Hz, trifásico, S.F.= 1,15, el cual deberá ser arrancado mediante un compensador. El local donde debe ser instalado posee las siguientes condiciones ambientales: aire seco, temperatura promedio de 25°C.

Procedimiento a seguir:

- a) Determinación de la corriente nominal del motor:

Mediante la curva correspondiente de la figura 16, un motor de 18,6 KW, 440 V, 60 Hz, trifásico de jaula de ardilla, toma una corriente nominal de:

$$I_{nom} = 32 A$$

- b) Protección contra sobrecargas:

De acuerdo con lo establecido en la tabla 2, los motores con factor de servicio 1,15 deben poseer su protección contra sobrecargas ajustadas a un valor máximo igual a un veinticinco por ciento del correspondiente a su corriente nominal, o sea:

$$I_{ps} = 1,25 \times I_{nom} = 1,25 \times 32 = 40 A$$

- c) Protección contra cortocircuitos:

Para un motor asincrónico de jaula de ardilla, trifásico, 60 Hz, letra de código B, arranque por compensador o auto transformador, en la tabla 1.1, casilla 9, se establece que la corriente del fusible I_{fus} , y del disyuntor I_{disy} , deben ser respectivamente:

$$I_{fus} = 2 \times I_{nom} = 2 \times 32 = 64 A$$

$$I_{disy} = 2 \times I_{nom} = 2 \times 32 = 64 A$$

Seguidamente se hace necesario confrontar los valores obtenidos con los fabricados convencionalmente, mostrados en la tabla 3. Por lo tanto:

$$I_{fus} = 70 A$$

$$I_{disy} = 70 A$$

Estos valores corresponden a los inmediatos superiores en ambos casos, en las respectivas columnas de la mencionada tabla 3, como fue explicado previamente. No obstante de haberse realizado los cálculos de ambas protecciones contra cortocircuitos, no deben utilizarse simultáneamente, sino una o la otra. Escogeremos por ejemplo, por ser más económica, la constituida por tres fusibles de 70 A cada uno.

- d) Aislamiento del conductor:

Analizando la tabla 4 se llegó a la conclusión de que es posible escoger, entre otros, el aislamiento tipo *TW*, puesto que se adecúa a las condiciones ambientales planteadas.

- e) Selección del calibre de conductor:

El valor de la corriente I_c que determina la selección adecuada del conductor a utilizar, puede calcularse mediante la ecuación 3, por tanto:

$$I_c = \frac{1,25 \times 32}{1,0 \times 1,0} = 40 \text{ A}$$

La tabla 6 establece que el conductor de cobre, apropiado para la instalación es el que posee $8,4 \text{ mm}^2$ de sección transversal, equivalente al AWG N°8.

Observe que para las condiciones de tres conductores a través de una misma tubería y temperatura ambiente inferior a los 30°C , $F.T.=F.C.=1$.

f) Diámetro de la tubería:

Entrando en la tabla 9 por la fila de la izquierda con el dato calculado de calibre del conductor, puede determinarse que la tubería necesaria para la introducción de tres conductores de $8,4 \text{ mm}^2$, debe poseer un diámetro de 19 mm o $\frac{3}{4}$ pulgadas.

Listado de materiales seleccionados:

- 1 interruptor de cuchillas de tres vías (trifásico), de 440 V, 40 A, provisto de tres fusibles de 70 A con sus correspondientes cartuchos.
- 1 compensador de arranque de 18,6 KW, 440 V, 60 Hz, con protección térmica de 40 A como valor máximo, con tomas o “taps” al 80 y al 60 % del voltaje nominal.
- Cable de $8,4 \text{ mm}^2$ equivalente al AWG N°8, con aislamiento tipo TW, metros.
- Tubería de 19 mm ($\frac{3}{4}$ pulgadas) de diámetro, metros. Esta tubería puede ser plástica o metálica.
- Demás accesorios necesarios para la instalación.

6.2.5 ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA 5

Seleccionar los componentes y materiales adecuados para instalar y proteger un motor eléctrico de 11,2 KW, 1200 rpm, 220 V, trifásico de jaula de ardilla, 60 Hz, con arranque directo de la línea. Dicho motor ha de ser instalado en un local en que el ambiente es seco y la temperatura máxima es de 40°C .

Procedimiento a seguir:

a) Determinación de la corriente nominal del motor:

De acuerdo con el gráfico correspondiente de la figura 16, la corriente nominal correspondiente al motor a instalar es de:

$$I_{nom} = 40 A$$

b) Selección de la protección contra sobrecargas:

Cuando un motor no posee el dato del factor de servicio, puede considerarse con $S.F.= 1$. Sobre la base de lo establecido en los acápites de la investigación, en la tabla 2 se obtiene el valor del ajuste máximo de la protección térmica, la cual debe ser igual a:

$$I_{ps} = 1,15 \times 40 = 46 A \text{ máximo}$$

c) Selección de la protección contra cortocircuitos:

De acuerdo con la tabla 1.1 un motor trifásico, de jaula de ardilla, sin letra de código, para ser arrancado directamente de la línea (arranque a pleno voltaje) y protegido mediante fusibles debe ser ubicado en la casilla 3. Por tanto:

$$I_{fus} = 3 \times 40 = 120 A$$

Consultando la tabla 3 se determina que el valor de capacidad de corriente inmediatamente superior a 120 A en fusibles fabricados convencionalmente, es de 125 A, valor que se selecciona.

d) Aislamiento del conductor:

Atendiendo a las condiciones ambientales del local en que ha de ser instalado el motor en cuestión, la tabla 4 indica que es posible escoger el tipo de aislamiento termoplástico TW .

e) Calibre del conductor:

El valor de corriente que ha de servir de base a la determinación del calibre del conductor a utilizar, debe calcularse mediante la ecuación 3:

$$I_c = \frac{1,25 \times 40}{1,0 \times 0,82} = 61 A$$

El valor de corriente inmediatamente superior a 61 A que aparece en la tabla 6 es el de 70 A, valor que corresponde a un conductor de cobre de $21,2 \text{ mm}^2$ de sección transversal, o el equivalente $AWG \text{ N}^\circ 4$.

f) Diámetro de la tubería:

Mediante la tabla 9 puede determinarse que 3 conductores de $21,1 \text{ mm}^2$ de sección transversal pueden introducirse en una tubería de 31,8 mm de diámetro ($1\frac{1}{4}$ pulgada).

Listado de materiales seleccionados:

- 1 Interruptor de cuchillas trifásico, de 70 A, 220 V, con fusibles de 120 A, con sus correspondientes cartuchos.
- 1 contactor magnético de 70 A, 220 V, trifásico, 60 Hz, con protección térmica ajustable a un valor máximo aproximado de 46 A.
- Cable de 21,1 mm² de sección transversal o AWG N°4 metros.
- Tubería de 31,8 mm de diámetro ($1\frac{1}{4}$ pulgada), metros.

7. CONCLUSIONES

- ❖ Con la ejecución del proyecto se llegó a determinar el procedimiento a realizar para seleccionar los elementos a utilizar para la instalación de un motor eléctrico
- ❖ Se presentan tablas y figuras para facilitar el cálculo de los elementos de protección de un motor eléctrico, en base a tablas y normas establecidas.

8. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda que los usuarios de este procedimiento de cálculo antes de seleccionar los elementos de protección para un motor consulten los distintos materiales que hay en el mercado para seleccionar la mejor variante técnico-económica.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- [1] KOSOW, IRVING L. Máquinas eléctricas y transformadores. 2ed. Electricidad 7 Harry Milea.
- [2] MOTORES ELÈCTRICOS Y GENERADORES. Editorial Sudamericana Alsina 500 Buenos Aires.
- [3] ROLDAN VICTORIA, JOSÈ. Motores Eléctricos Automatismos de Control, Tercera Edición. Editor Paraninfo S.A. Magallanes Madrid 1994.
- [4] VIDELA FLORES, ANDRES. Manual de motores eléctricos, Ingeniero Civil Eléctrico Página 1 de 70.

SITIOS WEB:

- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico
- [6] <http://www.monografias.com/trabajos10/motore/motore.shtml>
- [7] <http://www.monografias.com/trabajos74/motores-corriente-directa/motores-corriente-directa2.shtml>
- [8] <http://www.MOTORES%20MANTTO%202.htm>

ANEXOS