

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



**DISEÑO ELECTROMECHANICO DEL ARRANCADOR
MEDIANTE AUTOTRANSFORMADOR PARA
MOTORES ASINCRONOS EN MEDIA TENSION
2.3kv - 4.61kv CRITERIO PARA LA PROTECCION
DEL MOTOR**

T E S I S

**Para Optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico Electricista**

Promoción 1977 - 2

Victor Manuel Gabino Ulera

L I M A - P E R U

PROLOGO

El desarrollo del presente tema tiene como finalidad mostrar los procedimientos a seguir en el diseño, detalles, componentes y pruebas de fabricación del equipo necesario para la automatización del arranque y protección de motores asíncronos en alta tensión, mediante un tablero especial para esta particularidad, el cual debe cumplir condiciones específicas de acuerdo a las normas internacionales preparadas para este tipo de arrancador.

De acuerdo con el desarrollo tecnológico en las diversas ramas de la actividad industrial, exige que el desarrollo de los accionamientos eléctricos avancen en el sentido de aumento de las potencias, por lo tanto el uso de motores eléctricos de grandes potencias es cada vez más amplio, como por ejemplo para el accionamiento de potentes bombas, ventiladores, compresoras de aire, etc. El motor eléctrico necesario para estos accionamientos normalmente es un motor asíncrono con rotor en corto circuito. Para instalaciones de bombeo el principal equipo eléctrico lo componen los motores asíncronos de bajo y alto voltaje con rotor en corto circuito, recomendándose la utilización de electromotores de alta tensión para potencias de motores superiores a los 100 KW.

Es necesario distinguir los dos grupos de voltaje usado en la fabricación de motores eléctricos, los cuales pueden ser de baja tensión (menor 600 V) y motores de alta tensión (mayores de 600 V hasta los 5,000 V). Según las clasificaciones normalizadas, este

grupo de motores están dentro de las tensiones medias de distribución, por lo tanto el desarrollo del tema utiliza preferentemente el término de media tensión por ser más adecuado, teniendo en cuenta que en nuestro medio las tensiones más usuales son 2.3 kV y 4.16 kV; sistemas de distribución en media tensión que vienen operando en la mayoría de actividades industriales, tales como: minería, extracción y explotación del petróleo, siderúrgicas, industrias químicas, etc.

La utilización de motores asíncronos de media tensión presenta ventajas sustanciales frente a los motores síncronos que también es utilizado para el accionamiento de los mecanismos descritos: bombas, ventiladores.

Por lo cual su uso lo hace económicamente adaptable a la actividad nacional, razón por la que se hace necesario un adecuado accionamiento eléctrico debidamente diseñado para aumentar la productividad de la actividad industrial- La aplicación universal del accionamiento eléctrico con mando automático permite obtener elevada producción del mecanismo, mejorando la calidad de los productos elaborados y simplificando la labor del personal de operación.

El mando automático de los accionamientos eléctricos estriba en realizar el arranque, la regulación de la velocidad, así como el mantenimiento del régimen de trabajo dentro de las condiciones normales de operación, mediante una adecuada protección del electromotor para garantizar una alta confiabilidad del sistema. Esto es posible con un adecuado cálculo y dimensionamiento del equipo que forma parte del tablero arrancador.

La mayoría de máquinas de características centrífugas especialmente las bombas y ventiladores, motivo del tema, que deben operar con elevadas potencias, pueden arrancarse en forma directa conectándolo directamente a la tensión de la red o mediante artificios que permitan su arranque a tensión reducida.

El arranque directo absorbe inicialmente una elevada corriente de arranque causando problemas en el sistema eléctrico, así como también en la máquina accionada o en los materiales que son procesados, pudiendo llegar en ciertos casos al extremo de interrumpir el servicio.

Teniendo en cuenta estas observaciones, y las características de las bombas y ventiladores de gran potencia, utilizaremos para el arranque del motor asíncrono un autotransformador, previsto para media tensión, con lo cual el arranque a tensión reducida con este equipo permitirá la reducción de la corriente de arranque. El uso del autotransformador, es el método más apropiado, recomendable para el tipo de accionamiento escogido de características centrífugas, y fundamentalmente por su adaptación fácil al motor asíncrono sin tener que ser de diseño especial, como en el caso de arranque por el método estrella-triángulo, o motor de bobinados parciales.

El sistema de arranque mediante autotransformador puede ser utilizado para arrancar cualquier tipo de motor asíncrono con rotor en corto circuito, lo cual hace ventajoso su uso por cuanto el motor eléctrico de este tipo es más económico y seguro.

En los arrancadores de media tensión, las exigencias del aislamiento priman para definir sus dimensiones, además la seguridad del equipo y principalmente del personal encargado de su operación exigen que el sistema de operación manual sea descartado, por lo que el diseño del tablero sea para operación automática lo cual se consigue con un circuito secundario de control en baja tensión, a través de un transformador adecuado que se conecta a la red de media tensión o con una fuente exterior independiente del sistema eléctrico, mediante un banco de baterías; por ejemplo, esta elección dependerá mayormente del grado de seguridad que se requiera dar al accionamiento eléctrico.

La función del arrancador además debe considerar un adecuado sistema de protección para el motor que asegure una correcta operación y sobre todo evitar paradas costosas con riesgo de daños al motor, por lo que es necesario proveer una adecuada protección dentro de las limitaciones económicas existentes. En el desarrollo del tema, mostramos todos los criterios que pueden usarse para la protección del motor, y es parte primordial del tablero arrancador con lo cual se completaría la finalidad del automatismo automático para motores en media tensión.

Finalmente, mediante la ejecución práctica de un arrancador en media tensión para un motor de 700 HP, 4.16 kV, aplicamos todos los pasos desarrollados en los capítulos respectivos.

CONTENIDO

	Pág.
PROLOGO	
CAPITULO 1: INTRODUCCION	1
1.1 Aplicaciones y uso de los Motores Asíncronos en Media Tensión	4
1.2 Características de los Motores Asíncronos durante el Arranque	4
CAPITULO 2: CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE ARRANCADORES EN MEDIA TENSION SEGUN NORMAS	21
2.1 Alcances	21
2.2 Construcción	22
2.3 Performance	33
2.4 Pruebas y Ensayos de Funcionamiento	35
CAPITULO 3: NORMAS GENERALES PARA LA SELECCION DE LOS CONTACTORES MAGNETICOS	47
3.1 Contactores de Alto Voltaje para uso en AC	48
3.2 Construcción	56
3.3 Tipos de Contactores más usados	57
CAPITULO 4: DISEÑO DEL AUTOTRANSFORMADOR PARA ARRANCADORES A VOLTAJE REDUCIDO EN MEDIA TENSION	65
CAPITULO 5: SELECCION DE LA PROTECCION DEL MOTOR	71
5.1 Cálculo de los Fusibles (Contactor + Fusible)	71
5.2 Relés de Protección	77

	Pág.
5.3 Consideraciones Técnico-Económico de la Protección	85
CAPITULO 6: DISEÑO DE LAS CELDAS DEL ARRANCADOR	88
6.1 Equipamiento Auxiliar	88
6.2 Cálculo barras o cables	98
CAPITULO 7: APLICACION PARA EL DISEÑO DE UN ARRANCADOR MEDIANTE AUTOTRANSFORMADOR PARA UN MOTOR ASINCRONO DE: 700 HP - 4.16 kV - 60 Hz, USADO PARA BOMBEAR COMBUSTIBLE	100
CONCLUSIONES	115
BIBLIOGRAFIA	118
APENDICE	
PLANOS	

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Aplicaciones y Uso de los Motores Asíncronos en Media Tensión

1.1.1 Generalidades

Los motores eléctricos asíncronos o motores de inducción modernos son los del tipo de Rotor Bobinado y Rotor en corto circuito, constituyendo en la actualidad las máquinas motrices más empleadas en la industria. La gran mayoría de las máquinas están movidas por motores asíncronos, alimentados en corriente alterna trifásica.

En estos motores, las corrientes que circulan en el rotor son debidas únicamente a la inducción. Por este motivo son llamadas también motores de inducción.

Como fácilmente se comprobará, los motores eléctricos modernos por su principio sencillo y construcción robusta, no exigirán grandes requisitos de mantenimiento para evitar costosas interrupciones en el servicio que prestan y los gastos consiguientes de reparación.

Los motores asíncronos han adquirido en la industria una amplia difusión debido a una serie de ventajas su

tanciales en comparación con otros tipos de motores. Los motores de este tipo son sencillos y seguros en el funcionamiento ya que no llevan colector.⁹ Estos motores se imponen en la mayoría de aplicaciones por lo ventajoso de su precisión, robustez y su fácil mantenimiento en comparación con los motores síncronos y de corriente continua. Estas ventajas inciden en la aplicación de la elección del motor en sistemas de media tensión, razón por la cual su uso es muy difundido para este tipo de tensión elegida del accionamiento.

1.1.2 Aplicaciones y Usos en Media Tensión

Los ventiladores se aplican para airear los locales industriales, evacuar gases, suministrar aire en las actividades mineras e industriales, etc. pudiendo usarse ventiladores del tipo de aleta o ventiladores centrífugos, siendo los del tipo centrífugo los más usuales para grandes potencias a desarrollar.

Los ventiladores de gran capacidad y presiones altas pueden ser movidos por motores asíncronos con rotor en corto circuito o síncronos, ambos de alto voltaje,⁷ siendo económicamente más favorable la elección y aplicación de motor asíncrono.

La mecanización del abastecimiento de agua para las necesidades domésticas y de la actividad industrial, el suministro de líquidos lubricantes y refrigeradores a distintas máquinas y mecanismos, el bombeo de pe

tróleo, gasolina, aceites y otros materiales líquidos se realiza con ayuda de bombas.

Las instalaciones de bombeo se utilizan en todas las plantas industriales. Generalmente, tienen preferencia las Bombas Centrífugas, mientras que las de émbolo se usan raramente, debido a que el movimiento alternativo del pistón crea una carrera irregular que dificultan la elección del accionamiento eléctrico. En la mayoría de los casos, las bombas centrífugas se fabrican de altas velocidades, para poder acoplarse directamente el electromotor.⁷

Para pequeñas potencias de las bombas, éstas normalmente son accionadas por motores asíncronos con rotor en corto circuito; para bombas de gran capacidad se recurre tanto a motores asíncronos como síncronos.

En las instalaciones de bombeo el principal equipo eléctrico lo componen los motores asíncronos con rotor en corto circuito, teniendo en cuenta que para potencias superiores a 100 kW (134 HP) se recomienda el uso de electromotores de media tensión que accionen las bombas centrífugas.⁷ En este caso, el material de alto voltaje necesario para el accionamiento se monta en un tablero de media tensión, dentro de la Sala de Bombas.

1.1.3 Máquinas con par resistente bajo y velocidad constante

En este tipo de accionamiento están comprendidas las máquinas de características centrífugas, especialmente las bombas y ventiladores que utilizan en el caso de grandes potencias, motores asíncronos con rotor en corto circuito y como arrancador el método del autotransformador sobre todo para las máquinas de gran inercia.⁸

Desde el punto de vista de la automatización, por ser máquinas de velocidad constante, simplifican el control no siendo necesario ningún sistema de regulación de velocidad para el motor eléctrico, siendo una ventaja adicional.

1.2 Características de los Motores Asíncronos durante el Arranque

1.2.1 Generalidades sobre los Motores Asíncronos

El motor asíncrono consta de dos partes distintas:

- a) El Estator.- Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero de calidad especial provistas de ranuras; los bobinados de sección apropiados están distribuidos en estas últimas y forman un conjunto de devanados que contienen tantos circuitos como fases de la red de alimentación.
- b) El Rotor.- Es la parte móvil del motor. Está situado en el interior del estator y constituido por un

apilamiento de chapas de acero formando un cilindro solidario con el árbol del motor.

Entre los tipos más utilizados se distingue:

- El rotor en corto circuito o rotor de jaula de ardilla (jaula simple o doble).
- El rotor bobinado o rotor de anillos.

Rotor en Corto circuito.- En los agujeros o en las ranuras dispuestas hacia el exterior del cilindro y paralelamente a su eje se colocan los conductores.

Cada extremo de estos conductores se conecta a una corona metálica. El conjunto tiene el aspecto de una jaula de ardilla, de donde proviene el nombre de este tipo de rotor.

1.2.2 Principio de Funcionamiento del Motor Asíncrono

El principio de funcionamiento de los motores asíncronos está basado en la producción de un campo magnético giratorio.

Consideremos un imán permanente NS y un disco de cobre que puedan girar alrededor de un eje XY. (ver figura N°1)

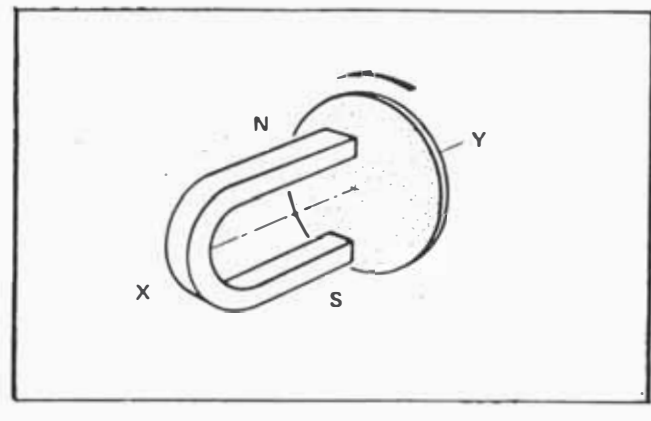


Figura N°1

Cuando el imán, movido por un artificio cualquiera gira, el campo producido gira igualmente y barre el disco. Este es recorrido ahora por corrientes inducidas debidas a la rotación del campo magnético creado por el imán. Estas corrientes reaccionan sobre el campo dando un par motor suficiente para vencer el par resistente debido a los rozamientos y provocar la rotación del disco.

El sentido de rotación, indicado por la ley de Lenz, tiende a oponerse a la variación del campo magnético que ha dado origen a las corrientes.

El disco es pues movido en el sentido del campo giratorio con una velocidad ligeramente inferior a la de éste (deslizamiento).

Si el disco girase a la misma velocidad del campo (velocidad de sincronismo), no habría corrientes inducidas y el par ejercido sería nulo⁸

La velocidad del disco (o rotor) es inferior a la del campo giratorio y por eso este tipo de motor se llama "asíncrono".

En los motores asíncronos trifásicos, el campo giratorio es producido por tres bobinados fijos, geoméricamente decalados a 120° y recorridos por corrientes alternas con el mismo desfase eléctrico. La composición de los tres campos alternos producidos forman un campo giratorio de amplitud constante (ver Fig. N°2).

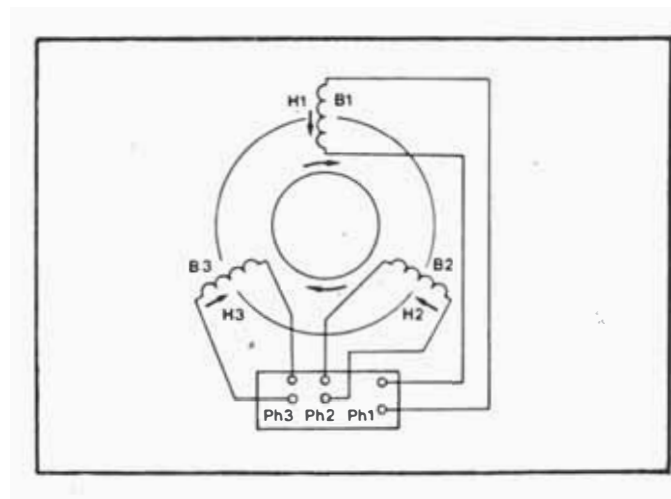


Figura N°2

Caso del Motor de Jaula: Las barras metálicas que constituyen la jaula de ardilla están cortadas por el campo giratorio producido por el estator, lo que origina corrientes inducidas intensas.

Estas reaccionan sobre el campo giratorio dando un par motor que provoca la rotación de la jaula.

1.2.3 Velocidad de los Motores Asíncronos

La velocidad en vacío de los motores asíncronos, no está influenciada por las variaciones de tensión, pero es proporcional a la frecuencia de la corriente de alimentación e inversamente proporcional al número de polos que constituyen el estator.⁸

Para las frecuencias industriales de 50 Hz, 60 Hz, las velocidades de rotación del campo giratorio o de sin-cronismo, en función del número de polos son las si-guientes:

<u>Motor de:</u>	<u>a 50 Hz</u>	<u>a 60 Hz</u>
2 polos	3,000 RPM	3,600 RPM
4 polos	1,500 RPM	1,800 RPM
6 polos	1,000 RPM	1,200 RPM
8 polos	750 RPM	900 RPM
10 polos	600 RPM	720 RPM
12 polos	500 RPM	600 RPM

Debido al deslizamiento^{*}, las velocidades de rotación en carga de los motores asíncronos son ligeramente in-

^{*} Deslizamiento: El deslizamiento es la diferencia entre la velocidad del campo giratorio estator, definida por el N° de polos y la velocidad real del rotor.

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

n_1 = velocidad síncrona

n_2 = velocidad rotor

Puede expresarse en revoluciones por minuto o, más generalmente, en valor relativo con respecto a la velocidad de sincronismo.

En este sentido, se puede decir que un motor tiene un deslizamiento nominal de 3%, por ejemplo, si se trata de un motor de 4 polos (velocidad del campo giratorio = 1,500 RPM) cuyo rotor gira a 1,455 RPM cuando proporciona el par nominal.

feriores a las indicadas en el cuadro anterior. Salvo empleo de dispositivos de regulación muy particulares, la velocidad en carga de este tipo de motor varía poco en función de las variaciones de carga o de tensión. Las velocidades de sincronismo diferentes a las indicadas anteriormente, o superiores a 3,000 RPM no pueden ser obtenidas más que modificando la frecuencia de la red de alimentación.

1.2.4 Arranque de los Motores de Jaula

En la puesta en tensión de un motor, éste absorbe una gran intensidad de la red y puede, sobre todo si la sección de la línea de alimentación es insuficiente, provocar una caída de tensión susceptible de afectar el funcionamiento de los receptores. A veces esta caída de tensión es tal que es perceptible sobre los aparatos de alumbrado.

Para remediar estos inconvenientes, algunos reglamentos prohíben por encima de una cierta potencia, la utilización de motores de inducción con arranque "directo"; el motor de jaula o rotor en corto circuito es el único que puede ser acoplado directamente a la red con un equipamiento sencillo.

Sólo los extremos de los devanados del estator tienen salida sobre la placa de bornas. Las características del rotor han sido determinadas de una vez para siempre por el constructor, los diversos procedimientos de

arranque permiten hacer variar únicamente la tensión en las bornas del estator. En este tipo de motor la reducción de la punta de intensidad está acompañada de una fuerte reducción del par.⁸

1.2.4.1 Arranque Directo

Es un sistema de arranque obtenido en un solo tiempo; el estator del motor se acopla directamente a la red. El motor arranca con sus características naturales con una fuerte punta de intensidad. Este procedimiento es ideal si es tolerable la punta de intensidad y si el par inicial de arranque del motor (fijado por el tipo de construcción de su rotor y cerca a 1.5 veces el par nominal) es el conveniente para la puesta en marcha de la máquina (Figura N°3).

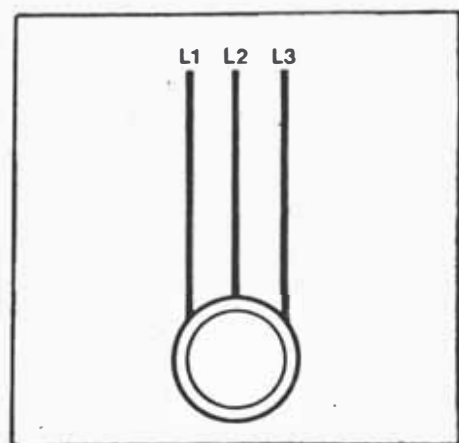


Figura N°3

La punta de intensidad, en la puesta en tensión, es muy elevada, del orden de 4 a 8 veces la intensidad nominal. El par durante el

arranque es siempre superior al par nominal, sobre todo para los motores modernos de jaula complejas. Es máximo cuando el motor alcanza el 80% de su velocidad; en este momento, la punta de intensidad está considerablemente amortiguada (ver Fig. N°4).

Este dispositivo permite arrancar las máquinas incluso en plena carga, si la red admite la punta de corriente en el momento del arranque. Es pues indicado para las máquinas de pequeña y mediana potencia.⁸

Sin embargo, el par en el momento de la puesta en tensión es cerca de 1.5 veces el par nominal, este procedimiento no está recomendado si el arranque debe hacerse lenta y progresivamente (determinados montacargas, cintas transportadoras, etc.).

Si es necesario, para un motor de jaula, reducir la punta de intensidad en la puesta en tensión o el par inicial de arranque, es preciso recurrir a un dispositivo que permita aumentar a lo largo del primer tiempo el estator del motor con tensión reducida. Para una velocidad dada, la corriente en un devanado del motor se reduce proporcionalmente a la tensión y el par proporcionalmente al cuadra-

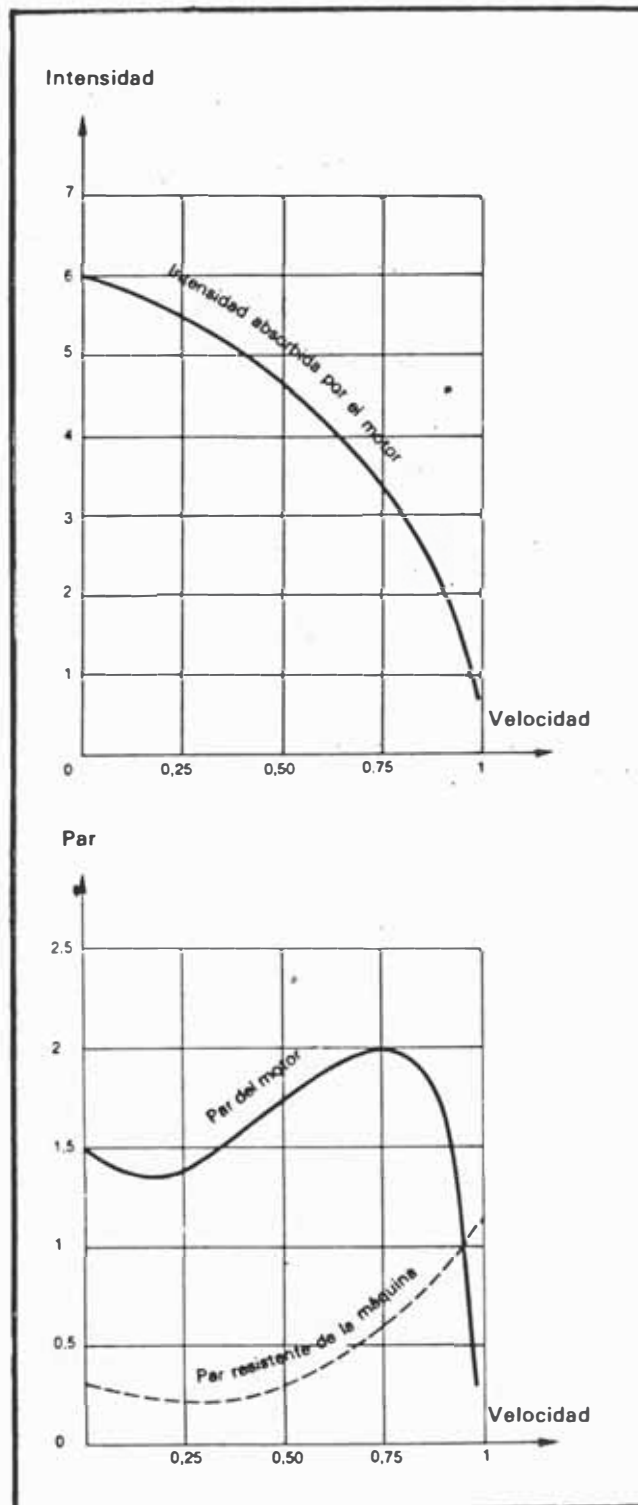


Fig. N°4

do de la tensión.

1.2.4.2 Arranque por Autotransformador

El motor es alimentado en tensión reducida mediante un autotransformador, el cual se pone fuera de servicio cuando el arranque se termina.

El arranque se efectúa en tres tiempos:

1º Puesta en "estrella" del autotransformador, después del cierre del contactor de línea.

El motor arranca ahora en tensión reducida.

2º Apertura del punto neutro. Una fracción del devanado del autotransformador, insertado en serie con cada fase del estator, se comporta como una inductancia.

3º Un tercer contactor acopla el motor a plena tensión de la red y provoca la apertura de los dos primeros contactores: de arranque y el neutro.

Con este dispositivo el motor nunca está separado de la red de alimentación, la corriente no se interrumpe y los fenómenos transitorios son suprimidos. Sin embargo, con el fin de evitar un ralentizamiento importante durante el segundo tiempo de arranque, la inductancia de los arrollamientos del autotransformador

debe ser pequeña y adaptada al motor. Para obtener un valor conveniente de inductancia, es prácticamente necesario prever un auto-transformador cuyo circuito magnético tenga un entrehierro.⁸

El segundo tiempo destinado principalmente a amortiguar las transiciones eléctricas, se suele elegir de una duración muy breve (tiempo de conmutación de un contactor). Ver Fig. N°5.

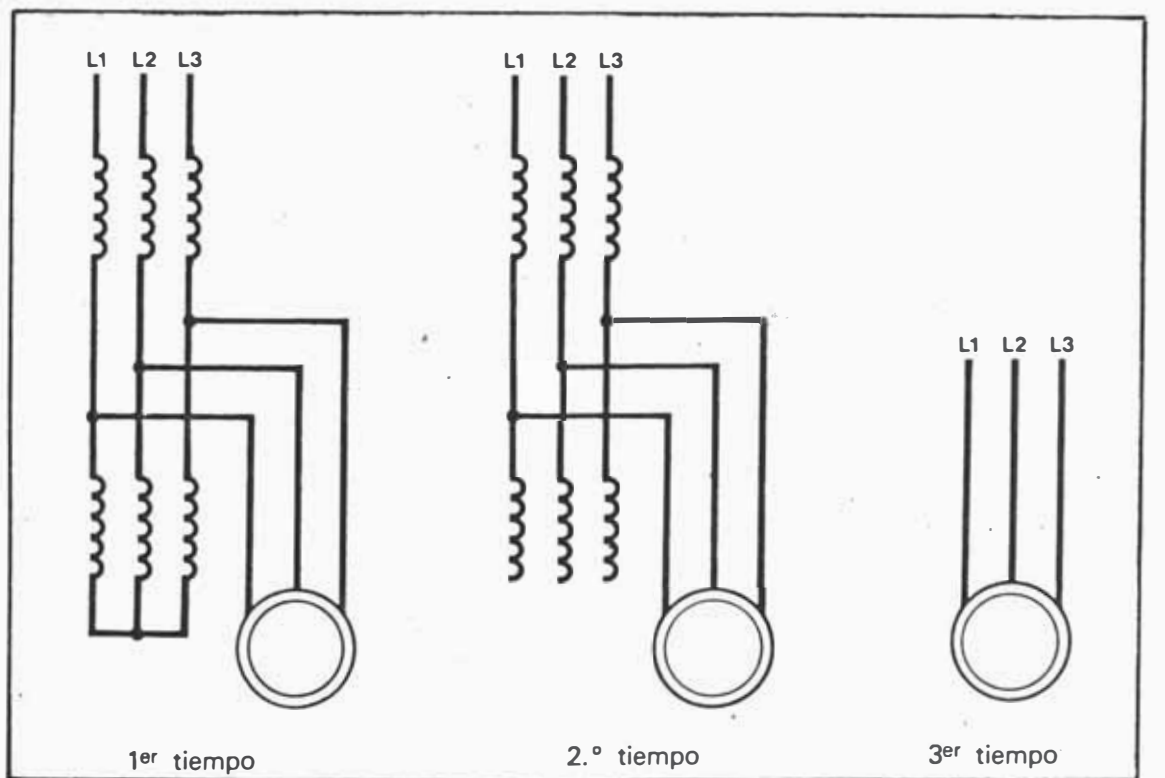


Fig. N°5

A lo largo del primer tiempo, el par se reduce proporcionalmente al cuadrado de la tensión y la corriente de línea en una relación muy próxima, ligeramente más elevada que la

corriente magnetizante del autotransformador. (La corriente es reducida solamente en relación a la tensión pero ha sido tomada en cuenta desde el punto de vista de la utilización). Ver Fig. N°6. Esta forma de arranque es utilizada para los motores de gran potencia en media tensión principalmente para las máquinas centrífugas.⁸

Por otra parte, varias tomas han sido previstas en el autotransformador y es posible ajustar la tensión de arranque en función de la máquina arrastrada.

El autotransformador está provisto normalmente de terminales que pueden ser tomados a elección para proveer las siguientes tensiones reducidas de arranque: 50%, 65% y 80%, etc. En estas condiciones las corrientes y el torque de arranque obtenidos al escoger una cualquiera de estas tensiones, bajarán respectivamente al: 25%, 42% y 64% de los valores correspondientes de la tensión plena.

Sin embargo, debido a la acción del autotransformador, la corriente de línea que toma el arrancador es menor que la corriente de arranque absorbida por el motor, la que se reduce respectivamente en los porcentajes indicados.

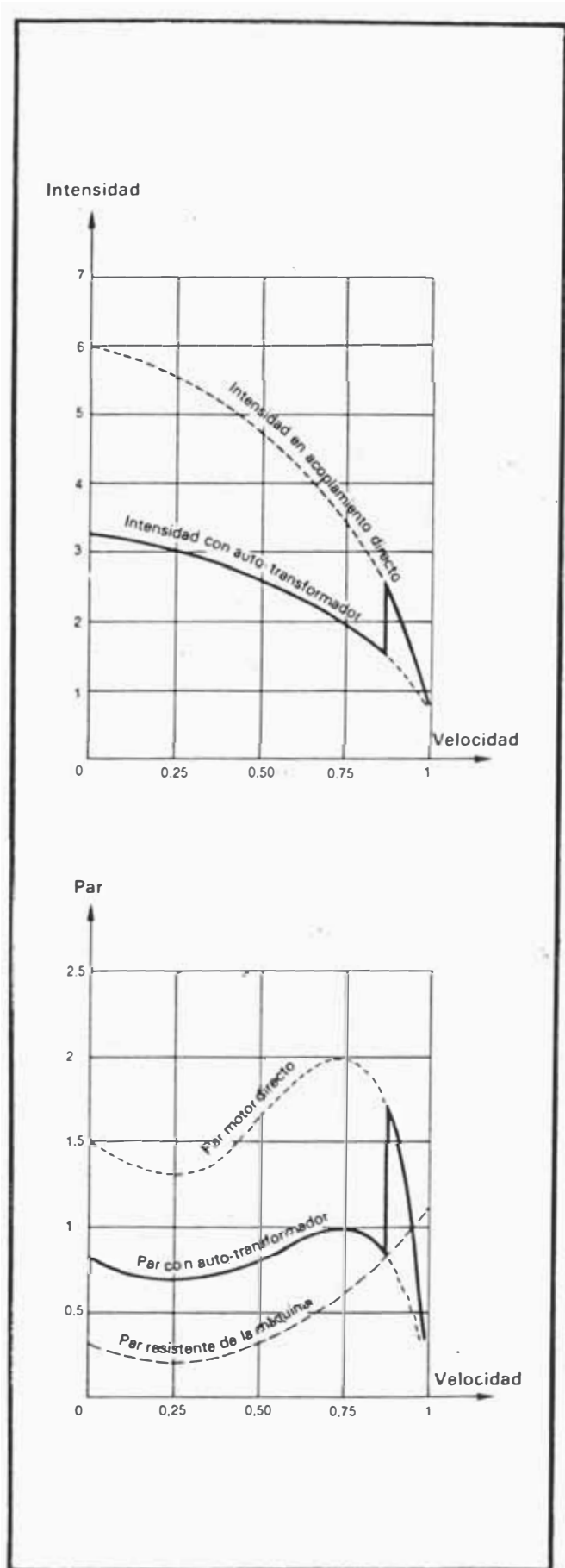


Fig. N°6

1.2.4.3 Disposición Típica del Arrancador por Auto - transformador en Motores de Media Tensión
(Ver Fig. N°7)

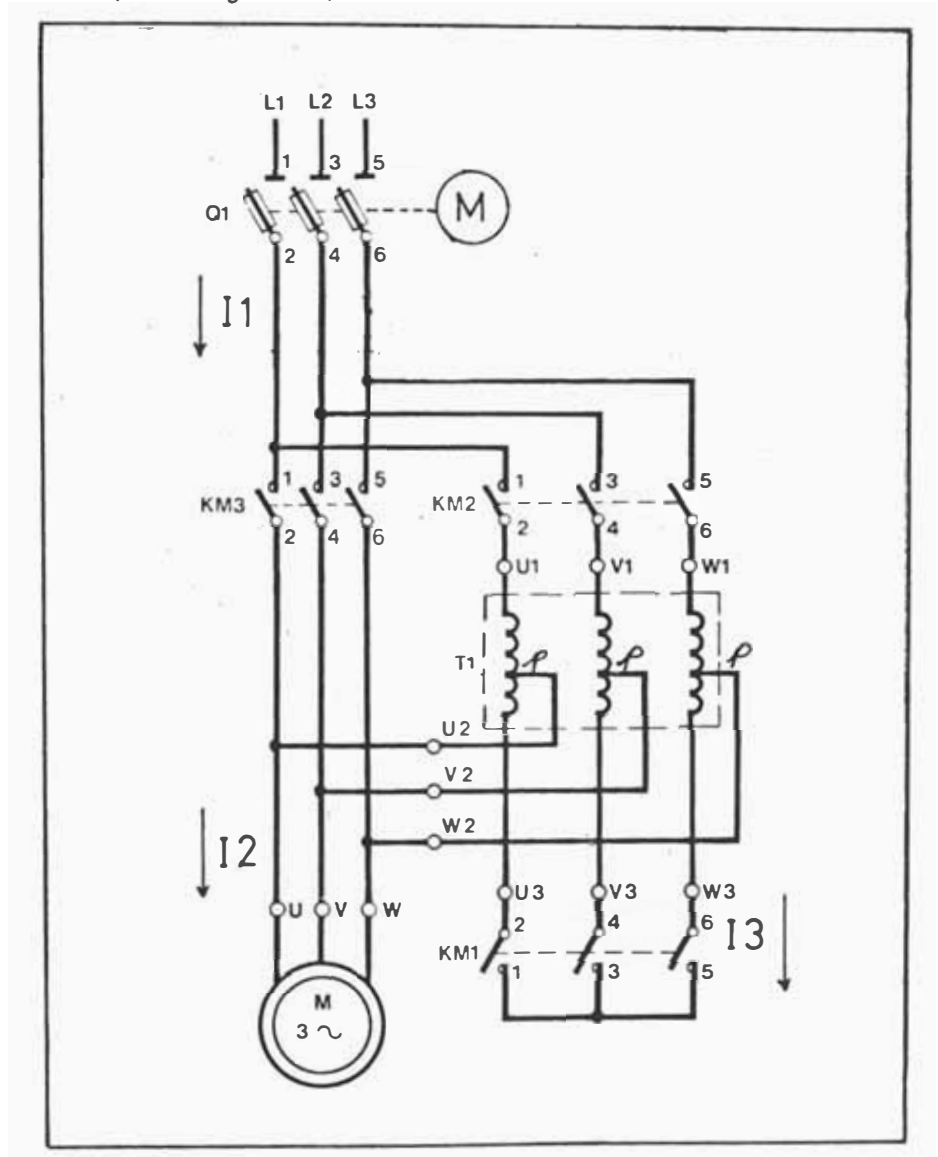


Figura N°7

Funcionamiento del Circuito de Potencia

- Cierre motorizado del interruptor principal Q1
- Cierre de KM1: Acoplamiento estrella del autotransformador

- Cierre de KM2: Alimentación del autotransformador - arranque del motor.
- Apertura de KM1: Eliminación del acoplamiento estrella del autotransformador.
- Cierre de KM3: Alimentación directa del motor
- Apertura de KM2: Eliminación del autotransformador.

Corrientes absorbidas durante el Arranque:³

$$\begin{aligned} I_1 &= \text{corriente de arranque tomada en la línea} \\ &= I \times p^2 + 0.25 I_m \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \text{corriente de arranque tomada por el motor} \\ &= I \times p \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} I_3 &= \text{corriente neutral del autotransformador} \\ &= I \times p - (I \times p^2 + 0.25 I_m) \end{aligned} \quad (1.3)$$

Donde:

I = corriente de rotor bloqueado a plena tensión.

p = TAP o derivación usada del autotransformador (fracción del voltaje total)

I_m = corriente nominal a plena carga del motor.

El término "0.25 I_m " es introducida para incluir la corriente magnetizante del autotransformador (usualmente de valor 25% de la corriente a plena carga).

1.2.4.4 Resumen de características de los métodos de Arranque directo y por Autotransformador⁸

	MOTORES ASINCRONOS, ROTOR CORTOCIRCUITO	
	Arranque Directo	Arranque con auto-transformador
Corriente Inicial de arranque	4 á 8 I_N	1.7 á 4 I_N
Par inicial de Arranque	0.6 á 1.5 C_N	0.4 á 0.85 C_N
Duración Media del Arranque	2 á 3 segundos	8 á 15 segundos
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Arrancador simple - Par de arranque importante 	<ul style="list-style-type: none"> - Buena relación par/intensidad - Posibilidad de Regulación de los valores de arranque. - No hay corte de la alimentación durante el arranque. - Apropiado para ser utilizado donde es necesario largos períodos de arranque. - Durante el arranque la corriente que toma el motor es mayor que la de la línea. - No requiere motores con bobinados especiales. - Ideal para máquinas de gran potencia .

	MOTORES ASINCRONOS, ROTOR CORTOCIRCUITO	
	Arranque Directo	Arranque con auto-transformador
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">- No permite arranque lento y progresivo- Punta de intensidad alta- Pequeñas máquinas.	<ul style="list-style-type: none">- Necesita un autotransformador.- No es apto para pequeñas potencias por ser caro.

CAPITULO 2

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE ARRANCADORES EN MEDIA TENSION SEGUN NORMAS

2.1 Alcances

- Los requerimientos para el diseño principal, así como para las pruebas de controladores* están normados por el "Underwriters' Laboratories Standard UL-347".

Varias partes de la norma UL-347 están basadas en las normas "NEMA STANDARDS PUBLICATION, INDUSTRIAL CONTROLS AND SYSTEMS", Publication N°ICS-1970.

- Estos requerimientos abarcan el equipamiento del control industrial en tableros cerrados y sus componentes asociados, destinados para el arranque, parada, regulación, control y protección de motores eléctricos, que tengan un voltaje nominal en corriente-alterna en los rangos de: 2.2 á 2.5 kV y
4.0 á 5.0 kV

- Estos requerimientos cubren también los controladores para bombas contra incendio del tipo centrífugo aplicadas por las normas "National Fire Protection Association Standard",
NFPA 20.

* Controlador: Es un dispositivo, o grupo de dispositivos, los cuales sirven para gobernar, en alguna manera predeterminada, la potencia eléctrica entregada a los aparatos al cual está conectada!

- Estas normas no cubren los requerimientos de la construcción interna de los instrumentos eléctricos (tal como medidores, etc.)
- Los arrancadores, denominados por las normas como controladores, en el caso de media tensión son agrupadas para su designación en 2 clases de controladores siguientes:²
 - . Controlador Clase E1: Esta clase de controlador emplea sus contactos tanto para arrancar y parar el motor, así como interrumpir cortos circuitos o fallas que excedan las sobrecargas de operación.
 - . Controlador Clase E2: Este controlador emplea sus contactos para arrancar y parar el motor, además emplea fusibles de alto voltaje en el circuito del motor para interrumpir corto circuito o fallas que excedan las sobrecargas de operación.

2.2 Construcción

2.2.1 Generalidades

- El equipamiento del control industrial para controladores en media tensión, deben contruirse de acuerdo a las reglas de instalación para el nivel de tensión en la cual se usará el arrancador.
- Todos los materiales a emplearse deben ser aptos para el uso particular, fabricados con el grado de uni

formidad requerido por las especificaciones del usuario según el lugar de instalación.

2.2.2 Tablero Metálico

- El tablero del arrancador debe construirse y ensamblarse con la resistencia y rigidez necesaria para resistir los esfuerzos a que estará sujeto, sin dañarse parcial ni total o con riesgo de incendio debido a la reducción de los espacios, aflojamientos, o desplazamiento de sus partes.

2.2.3 Estructura

- El tablero estará formado por paneles metálicos verticales, completamente cerrados tipo "Metal Clad" (revestimiento metálico), autosoportados, de montaje en el piso, de frente muerto, accesibles por el frente y por la parte posterior para mantenimiento.

Los paneles verticales serán ensamblados de modo que formen una unidad rígida a la cual se le pueda agregar paneles futuros por ambos extremos.

El grado de hermeticidad de la estructura estará de acuerdo a una de las clases de la norma NEMA, según el local o sitio de instalación del tablero (ver apéndice N°1).

- Básicamente cada panel estará constituido por un bastidor de plancha doblada, barreras divisorias y cubiertas laterales empernadas. El espesor de plancha

del bastidor, cubiertas laterales, barreras divisorias y puertas no deberá ser menor al indicado por la norma y detallado en la Tabla N°1.¹

Cada panel deberá dividirse por medio de barreras metálicas en los siguientes compartimientos separados entre sí:

- a) Un compartimiento delantero para el interruptor principal
 - b) Un compartimiento posterior para el ingreso de los cables, transformadores de tensión y barras principales.
 - c) Un compartimiento para el transformador de control (uno solo para todo el tablero).
 - d) Un compartimiento para el autotransformador.
 - e) Un compartimiento de baja tensión
 - f) Compartimientos individuales para los contactos a usar, según el tipo de arranque.
- ↳ Cada compartimiento deberá tener una tapa removible para su servicio individual, la cual al ser extraída no exponga los circuitos de ese compartimiento con los circuitos de los compartimientos adyacentes.
- ↳ Las puertas frontales y la tapa removible o puerta posterior de cada panel debe tener suficientes pernos, u otros medios de fijación, para prevenir que éstas sean expulsadas o se deformen en el caso de

un corto circuito dentro del tablero,

- La celda para el autotransformador debe construirse con accesos para mantenimiento e inspección. Su montaje se efectuará con una distancia libre no menor que 6.4 mm. entre el dispositivo y la superficie plana de montaje (para propósitos de enfriamiento).
- El acabado de la estructura debe constar de los siguientes pasos mínimos:
 - a) Para la protección contra la corrosión; un proceso de desengrasado, desoxidado, fosfatizado y sellado por inmersión.
 - b) Dos manos de pintura base, formulada a base de polvo de Zinc, según recubrimiento de Tabla N°1.
 - c) Dos manos de pintura de acabado tipo epóxico o similar de acuerdo al grado de protección y uso del tablero, según clasificación del Apéndice N°1

2.2.4 Resguardos y Accesibilidad de Partes Vivas

- Cuando se requiera acceso a un compartimiento, el cual contenga partes energizadas en alta tensión, deberá proveerse de barreras para:
 - a) Prevenir contacto accidental con partes energizadas.

TABLA N°1
 ESPEORES MINIMOS DE PLANCHA METALICA ACERO AL CARBONO PARA
 TABLEROS CONTROLADORES

Sin Armazón Soporte		Con Armazón Soporte o Refuerzo Equivalente		Espesor Mínimo (mm)	
Ancho (a) Máximo (mm)	Longitud (b) Máxima (c) (mm)	Ancho (a) Máximo (mm)	Longitud Máxima (c) (mm)	Sin Cubri- miento	Con Cubri- miento de Zinc
101	No limitado	159	No limitado	0.51 (d)	0.58 (d)
121	146	171	210		
152	No limitado	241	No limitado	0.66 (d)	0.74 (d)
178	222	254	318		
203	No limitado	305	No limitado	0.81	0.86
229	292	330	406		
318	No limitado	495	No limitado	1.07	1.14
356	457	533	635		
457	No limitado	686	No limitado	1.35	1.42
508	635	737	914		
559	No limitado	838	No limitado	1.52	1.60
635	787	889	1092		
635	No limitado	991	No limitado	1.70	1.78
737	914	1041	1295		
838	No limitado	1295	No limitado	2.03	2.13
965	1194	1372	1676		
1067	No limitado	1626	No limitado	2.36	2.46
1194	1499	1727	2134		
1321	No limitado	2032	No limitado	2.74	2.82
1524	1880	2134	2616		
1600	No limitado	2964	No limitado	3.12	3.20
1854	2286	2616	3226		

Notas:

- (a) El ancho es la dimensión más pequeña de una pieza de placa metálica, el cual es parte del tablero. Superficies adyacentes del tablero pueden tener soportes en común y serán de una hoja simple.
- (b) Para paneles los cuales no están soportados a lo largo de un lado (Ej. los paneles del costado del tablero), la longitud del lado sin soporte está limitado por la dimensión especificada.
- (c) "No limitado" se aplica solamente si el borde de la superficie es tá bordeado de por lo menos 12.7 mm o unido a las superficies adyacentes normalmente no retirables en el uso.

b) Prevenir caídas de herramientas u otros equipos en partes energizadas.

- Todo el equipamiento en baja tensión deberá instalarse en un compartimiento separado del tablero arrancador. Con su respectiva puerta, para proporcionar protección frente a contactos con las partes de alta tensión.²
- Barreras deben instalarse para prevenir contactos con partes vivas de unidades adyacentes.

2.2.5 Ubicación de Manijas Externas y Botoneras

- Las normas requieren que los dispositivos tal como pulsadores, botoneras, conmutadores, los cuales son normalmente operados por el personal de operación del tablero arrancador, deben estar ubicados en partes accesibles no mayor de 1980 mm encima del piso.¹
- Manijas de operación que requieran más de 26 kg. de fuerza no deberán instalarse a más de 1,675 mm encima del piso.

2.2.6 Conexión de Tierra

- Todo tablero arrancador debe tener provisión para conectar a tierra el controlador y todos sus partes internas.

- El armazón metálico de cualquier componente removible, el cual puede ser colocado en posición de prueba deberá poder tener su conexión a tierra en esta posición; esto se aplica particularmente a los contactores del tipo extraíble.
- De igual manera, cualquier parte metálica muerta de un elemento retirable que pueda energizarse y ser tocada por el personal deberá conectarse a tierra. Placas metálicas las cuales cubren partes vivas no aisladas deben tener una conexión permanente y efectiva a tierra.
- Circuitos secundarios de los transformadores de corriente y potencial deben conectarse a tierra.²
- El tamaño del conductor de tierra del equipo es especificado como una función de la capacidad de corriente de los conductores de entrada (Tabla N°2).

TABLA N°2

TAMAÑO DEL CONDUCTOR DE TIERRA DEL EQUIPO PARA CONEXION INTERIOR EN EL TABLERO¹

Amperaje de los Conductores de Entrada (Amp.)	Tamaño	
	Cobre calibre N°	Aluminio calibre N°
200	6 AWG	4 AWG
400	3	1
600	1	2/0
800	0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250 MCM
1600	4/0	350
2000	250 MCM	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800

- El conductor de tierra para circuitos de transformadores de potencial y corriente, así como para las cajas de los instrumentos no deben ser menor que el calibre N°12 AWG en cobre o equivalente.¹
- En concordancia con las normas, las conexiones de tierra del tablero y dispositivos del controlador se pueden conectar a lo largo de una barra omnibus instalada en la parte baja del tablero.

2.2.7 Enclavamientos

Enclavamientos deben considerarse por medios mecánicos o por combinación de medios mecánicos y eléctricos con la finalidad de conseguir:²

- a) Prevenir que los medios de aislamiento sean abiertos o cerrados a menos que los contactores estén en posición abierto.
- b) Prevenir la apertura de una puerta del compartimiento de alta tensión cuando los medios de aislamiento estén cerrados.
- c) Prevenir que el medio de aislamiento sea cerrado cuando cualquier puerta de un compartimiento de alta tensión del controlador es abierto.
- d) Prevenir la apertura del medio de aislamiento mientras la corriente está fluyendo en el secundario del transformador de control.

2.2.8 Medios de Aislamiento del Circuito de Potencia

- Todo controlador debe equiparse con un medio de aislamiento del circuito de potencia de alta tensión, externamente operable y con indicador de posición.

El medio de aislamiento debe ser apto para interrumpir la corriente sin carga del transformador de control suministrado en el arrancador.

. El medio de aislamiento puede ser uno de los siguientes equipos:

- a) Interruptor de tres polos
- b) Interruptor de tres polos con una combinación mecánica de fusibles alto voltaje en el circuito del motor
- c) Contactor extraíble el cual puede o no incluir fusibles.

2.2.9 Cableado

- Norma requiere se disponga de espacios adecuados entre los terminales de los cables y las partes metálicas y entre terminales de distintas fases. Suficiente espacio debe existir para permitir la instalación de los conductores sin doblarse en un radio menor que ocho veces la longitud del diámetro.
- El cableado del circuito de fuerza puede realizarse mediante barras de cobre electrolítico soportadas mediante aisladores apropiados teniendo en cuenta los

esfuerzos en caso de corto circuito (aplicación práctica en el capítulo 7). Esta práctica del cableado permite economizar el costo del tablero en lugar de usar cables de alta tensión.

- El cableado de baja tensión debe separarse de los compartimientos de alta tensión. Cuando sea necesario cruzar los compartimientos de alta tensión, el cableado de baja tensión debe instalarse en conduit flexible.
- El cable para el circuito de control normalmente es de calibre no menor a 4 mm^2 (N°14 AWG) clase 600V de aislamiento.¹

El cableado de los transformadores de corriente y circuitos que transporten señales de corriente se efectúan con cables de calibre no menor a 6 mm^2 (N°10 AWG) de preferencia en color rojo.

- Se puede preveer conexiones flexibles entre los paneles fijos y sus puertas abisagradas y en las conexiones a todas las borneras de terminales.

2.2.10 Espaciamientos

- Las distancias mínimas eléctricas a través del aire y sobre superficies no deben ser menores a las indicadas en la Tabla N°3, para el nivel de tensión del arrancador en media tensión.¹

TABLA N° 3

ESPACIOS MINIMOS ACEPTABLES

Grupo	Voltaje Nominal Voltios (RMS o corriente directa)	Espacio Libre Mínimo							
		Hacia otras partes distintas a las paredes				Hacia las paredes del Tablero			
		Espacio Libre		A lo largo de Superficies		Espacio Libre		A lo largo de Superf.	
		Aire mm	Aceite mm	Aire mm	Aceite mm	Aire o Aceite mm	Aire o Aceite mm	Aire o Aceite mm	Aire o Aceite mm
Circuitos de	2500 máx.	25.40	19.05	50.80	25.40	50.80	76.20	76.20	
Voltaje Línea	5000 máx.	50.80	38.10	88.90	50.80	76.20	101.60	101.60	
Componentes	601-1000	13.95	11.43	21.59	15.87	20.32	25.40	25.40	
Conectados en Series	1001-1500	17.78	15.24	30.48	17.78	30.48	41.90	41.90	
Circuitos de	0-50	3.17	3.17	3.17	3.17	12.70	12.70	12.70	
Control	51-150	3.17	3.17	6.35	6.35	12.70	12.70	12.70	
	151-300	6.35	6.35	9.52	9.52	12.70	12.70	12.70	
	301-600	9.52	9.52	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	

- Los espacios indicados para el circuito de control de la Tabla N°3, es aplicable entre partes vivas de los componentes del circuito de control y las partes metálicas conectadas a tierra.

2.3 Performance (Funcionamiento)

2.3.1 Valores Nominales: Potencia, Corriente y Capacidad de Interrupción

a) Potencia y Corriente

- Los controladores de clase E, para media tensión están definidos en tamaños normalizados, según la potencia nominal o capacidad de conducción de corriente permanente, tal como se clasifica en la Tabla N°4.
- La corriente nominal de límite de servicio mostrada en la Tabla N°4, representa la corriente en amperios RMS máxima que el controlador puede conducir por períodos prolongados en servicio normal.³

TABLA N°4

POTENCIA Y CORRIENTE NOMINAL DE CONTROLADORES CLASE E
Y CONTACTORES EN MEDIA TENSION

Tamaño del Controlador y Contactor	Corriente Nom. (AMP)		Potencia Nominal (HP) y Voltajes Utiliz.		
	Permanente	Límite* de Serv.	2.3 kV-3 ϕ	4.0 - 4.6 kV 3 ϕ	6.6 kV 3 ϕ
			Motores de Inducción	Motores de Inducción	Motores de Inducción
H2	180	207	700	1250	2000
H3	360	414	1500	2500	4000
H4	540	621	2250	4000	Futuro
H5	630	724	2500	4500	Futuro

* 1.15 veces la corriente permanente.

b) Capacidad de Interrupción

- Las normas limitan la máxima capacidad de interrupción, bajo corto circuito, para los controladores clase E, expresadas en MVA, así como el máximo valor instantáneo que podrá tomar la corriente eficaz simétrica en el momento de la apertura del corto circuito, a la frecuencia dada.³
- Estos valores están tabulados en la Tabla N°5.

TABLA N°5

CAPACIDAD DE INTERRUPCION NOMINAL

Corriente Máxima a Plena Carga (Amp.)	Voltaje Máximo RMS (kV)	Rango de Voltaje en la que se aplica la interrupción		Interrupción Nominal simétrica tres fases (MVA)	
		Máximo (kV)	Mínimo (kV)	Clase E1 (sin fusible)	Clase E2 (con fusible)
180	2.5	2.5	2.2	25 ó 50	150 ó 200
180	5.0	5.0	4.0	25 ó 50	250 ó 350
360	2.5	2.5	2.2	50	150 ó 200
360	5.0	5.0	4.0	50	250 ó 350

- Así por ejemplo, si se trata de un arrancador para media tensión, clase E1, éste deberá ser hábil para interrumpir cortos circuitos de hasta 50 MVA a 2.3 kV, 4.6 kV con 50/60 Hz.

2.3.2 Consideraciones de Funcionamiento

- Las normas requieren una serie de pruebas efectuadas en una muestra representativa del arrancador fa

bricado comercialmente (pruebas de prototipo).

- Adicionalmente se efectuarán pruebas de funcionamiento en cada arrancador individual para demostrar el funcionamiento satisfactorio del automatismo previsto por las condiciones particulares de operación a la que será sometido el tablero arrancador.

Estas pruebas son ejecutadas sin carga, con el propósito de verificar la operatividad del circuito de mando y control preparado en el diseño del tablero (pruebas de rutina).

2.4 Pruebas y Ensayos de Funcionamiento

- Las pruebas a que será sometido el arrancador en media tensión mediante autotransformador permitirá asegurar el funcionamiento correcto en las condiciones propias a que estará sujeto en toda su vida útil, sin provocar anomalías al equipamiento del controlador y sobre todo asegurar su manipuleo por parte del personal sin ocasionar riesgos o daños peligrosos.
- Las siguientes pruebas son requeridas por norma:²
 - . Operación mecánica y prueba de enclavamientos
 - . Voltaje de operación circuito de control
 - . Temperatura y capacidad de corto-tiempo
 - . Pruebas de aislamiento
 - . Prueba de capacidad de interrupción
 - . Prueba de cierre-corte y sobrecarga

, Prueba de interrupción corto-circuito.

2.4.1 Operación Mecánica y Prueba de Enclavamientos

- El controlador debe operarse sin carga, de la manera prevista un mínimo de 6,000 operaciones. La prueba debe realizarse en el valor nominal de operación, teniendo en cuenta no más de 20 operaciones por minuto.

Al final de la prueba el arrancador deberá ser sustancialmente el mismo como al inicio de la prueba y deberá complementarse con una prueba de rigidez dieléctrica.

- El medio de aislación del arrancador y todos los componentes extraíbles estarán sometidos a 50 operaciones de apertura y cierre; para cada operación, se demostrará que todos los mecanismos de enclavamiento están operativos.

Después de las 50 operaciones, el arrancador debe ser el mismo como al inicio, y los esfuerzos requeridos para las 50 operaciones deben ser los mismos, como para la primera operación.

- Adicionalmente, una completa extracción e inserción de cada componente extraíble debe efectuarse.

Esto demostrará que un dispositivo extraíble no pueda extraerse mientras esté cerrado, y que no pueda

insertarse en cualquier condición como operación permitida del dispositivo del enclavamiento.

2.4.2 Voltaje de Operación Circuito de Control

- Esta prueba es necesaria para mostrar que las bobinas de operación del contactor trabajarán satisfactoriamente en el rango de voltaje del 85% - 110% del valor de su voltaje nominal, sin dañarse ni superar la temperatura permitida en las bobinas.²

2.4.3 Temperatura y Capacidad de Corto-Tiempo

- Una serie de pruebas son requeridas para demostrar la capacidad térmica de arrancadores en media tensión. Dos pruebas de corto-tiempo con corrientes elevadas son necesarias:

1. Una prueba en 15 veces la corriente nominal durante 1 segundo.
2. Otra prueba en 6 veces la corriente nominal durante 30 segundo.

Para estas pruebas los fusibles y relés de sobrecarga son puenteados o reemplazados por elementos falsos.

Las normas especifican que la elevación de temperaturas en varios puntos específicos del controlador no excedan los valores indicados en la Tabla N°6.¹

Después de completar las pruebas de corto-tiempo, el controlador deberá pasar la prueba de rigidez dieléctrica.

- El controlador, debe someterse también a una prueba de corriente permanente, en la cual la corriente de valor nominal es mantenida hasta que se alcance la temperatura estable. Para esta prueba el controlador estará en la condición a la que normalmente se usará; las bobinas de operación deben energizarse, los fusibles de potencia y relés de sobrecarga estarán en su lugar.
- Cuando la temperatura esté estabilizada, la elevación de temperatura alcanzada no deberá ser mayor que los valores especificados para la prueba de corto-tiempo dadas en la Tabla N°6.

Los fusibles no deben abrirse durante la prueba de temperatura, y los relés de sobrecarga no operarán.

TABLA N°6

ELEVACION DE TEMPERATURA MAXIMA ACEPTABLE

Parte, Material, o lugar de Medición de la Temperatura	°C
1 Conductores con aislamiento termoplástico	35
2 Terminales del cableado	50
3 Sistemas de Aislamiento clase 90	50
4 Barras y conectores	65

Parte, Material, o lugar de Medición de la Temperatura	°C
5 Sistemas de aislamiento clase 105	65
6 Sistemas de aislamiento clase 130	85
7 Sistemas de aislamiento clase 180	125
8 Sistemas de aislamiento clase 105 sobre bobinas de superficies expuestas aisladas o barnizadas	90

- La aceptabilidad de materiales aislantes distintos a los indicados en la Tabla N°6, son determinados con respecto a sus propiedades tal como inflamabilidad, resistencia al arco, etc. basada sobre una temperatura de operación definida en 40°C.

2.4.4 Pruebas de Aislamiento

- Dos pruebas de aislamiento, necesarias para verificar las propiedades dieléctricas del equipamiento de alta tensión, así como del tablero arrancador, se recomiendan efectuar y son:²

a) Prueba de aislamiento a tensión de frecuencia industrial o rigidez dieléctrica.

b) Prueba de aislamiento a tensión de impulso.

a) Prueba de Rigidez Dieléctrica

- El arrancador debe ser capaz de soportar la aplicación de tensión sinusoidal a 60 Hz, durante 1 minuto, sin producir descargas ni rup-

turas, en el equipamiento. Los valores de tensión están definidos en la Tabla N°7.

La prueba se aplica como sigue:

- 1° Entre cada circuito eléctrico y tierra con los contactos abiertos, luego con los contactos cerrados.
- 2° Entre cada circuito principal y todos los otros circuitos principales.
- 3° Entre terminales de polaridad opuesta con los contactos cerrados.
- 4° A través de cada par de contactos del medio de aislación con el contactor en la posición de prueba.

TABLA N°7

VOLTAJES DE PRUEBA PARA LA PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA

Voltaje Nominal (Voltios)	Voltaje de Prueba (Voltios)
0 - 600	1,000 V + 2 veces el voltaje nominal
601 - 5000	2,000 V + 2.25 veces el voltaje nom.

- La prueba se ejecuta tanto para el circuito de alta tensión (circuito de fuerza), como para el circuito de baja tensión (circuito de control).¹

Así por ejemplo: para un arrancador en 4.16 kV

la tensión de prueba será:

$$V_{\text{prueba}} = 2,000 \text{ V} + 2,25 (4,160) \text{ V} = 11,360 \text{ V}$$

Si el circuito de control es en 125 V, la tensión de prueba para el circuito de baja tensión será:

$$V_{\text{prueba}} = 1,000 \text{ V} + 2 (125 \text{ V}) = 1,250 \text{ V}$$

b) Prueba de Impulso

- Las tensiones de impulso causadas por rayos o sobretensiones de maniobra en el circuito de fuerza en media tensión, es necesaria sea verificada en el arrancador, para asegurar que el aislamiento no falle.²

- Tensión de impulso.- Se define en función del tiempo que la onda toma en llegar a su valor máximo y el que toma en llegar a la mitad de ese valor.

La polaridad puede ser asimismo significativa; si el campo electrostático es uniforme, los valores de descarga son los mismos, tanto para ondas positivas o negativas, pero si como es usual, el campo no es uniforme, la descarga de polaridad positiva es la menor.

En este sentido se han establecido valores de

prueba de tensión de impulso (Tabla N°8), los que se denominan "niveles básicos de aislamiento" (B.I.L.) y están basados en una onda de las siguientes características:

1.2 us para llegar al valor máximo de cresta y 50 us para llegar al 50% de ese valor.

En forma reducida a esta onda se le denomina **1,2 x 50 us.**

- La prueba de impulso requerida por las normas para el circuito de alta tensión, emplea una onda de impulso 1,2 x 50 us,
- La prueba de impulso requerida por las normas para el circuito de alta tensión, emplea una onda de impulso 1,2 x 50 us, aplicado en varios puntos del circuito.¹

Para cada punto, 3 impulsos con polaridad positiva y 3 impulsos con polaridad negativa son aplicados.

- Los impulsos son aplicados desde todas las fases de alta tensión a tierra, primero con el contactor abierto y luego con el contactor cerrado.

Los impulsos también se aplican desde cada fase a las otras 2 fases con el contactor abier-

to, posteriormente con el contactor cerrado.

TABLA N°8

VOLTAJES DE CRESTA - PRUEBA DE IMPULSO

Voltaje Máximo Nominal del Arrancador (Voltios)	Voltaje de Impulso (kV)	
	Pruebas 1 y 2	Prueba 3
2,500	45	50
5,000	60	66

2.4.5 Prueba de Capacidad de Interrupción

- Los arrancadores en media tensión comúnmente obtienen su fuente de energía para el control, por medio de un transformador alimentado después del medio de aislación principal (interruptor) del arrancador.
- La norma requiere realizar esta prueba para mostrar que el medio de aislación interrumpirá con seguridad la corriente de magnetización del transformador usado en el arrancador.
- El medio de aislación debe someterse a 25 operaciones de cierre-apertura con el transformador conectado en la forma prevista a una tensión del 110% del voltaje nominal máximo del controlador pero sin carga!

2.4.6 Prueba de Cierre-Corte y Sobrecarga

- Esta prueba se realiza en los controladores con fusibles clase E2 como comprobación de que el contac-

tor es capaz de cerrar y cortar el circuito con la máxima corriente que pueda conducir cuando la interrupción será hecha por el contactor.

- Para la prueba 10 operaciones son necesarias con la corriente en el punto de cruce del relé de sobrecarga y del fusible.

Este punto es la corriente en la cual las características tiempo-corriente del relé de sobrecarga intersecta las características tiempo-corriente de los fusibles de potencia.

- El contactor debe operarse en la relación de una operación por minuto.
- Esta prueba también se efectúa para demostrar la habilidad de que el controlador puede cerrar y cortar el circuito con la corriente de rotor bloqueado.

Esta prueba de Sobrecarga consiste de 50 operaciones de cierre-corte con 6 veces la corriente nominal, en prueba continuada una operación por minuto, o en grupos de a 15 con un intervalo de 15 minutos entre grupos.²

2.4.7 Prueba de Interrupción de corto-circuito

- La prueba de corto-circuito se realiza para verificar la interrupción del controlador, y está especificado para las 2 clases: E1 y E2. Los valores no-

minales de interrupción están en concordancia con los valores de la Tabla N°5.

- En esta tabla los valores de interrupción dados en MVA, muestran que para los controladores de Clase E1, interrumpen hasta 50 MVA y los controladores Clase E2, interrumpen corto-circuitos hasta los 350 MVA de potencia.³
- Para la ejecución de la prueba se requiere de una fuente de generación de las potencias indicadas. Adicionalmente, se necesita osciloscopios en los cuales se registren los oscilogramas indicando la siguiente información:
 - a) Voltajes línea a línea de todas las tres fases antes, durante y después del corto-circuito.
 - b) Voltajes entre línea y terminales de carga antes, durante y después del corto-circuito.
 - c) Corrientes a través del controlador durante la prueba.
- Pruebas de interrupción son previstos para probar el funcionamiento de la interrupción de un controlador de diseño dado y no es considerado como una prueba de producción.
- Esta prueba de "Prototipo" es dificultoso ejecutarlo en nuestro medio. Como es comprensible todos los fabricantes nacionales ven imposibilitado some-

CAPITULO 3

NORMAS GENERALES PARA LA SELECCION DE LOS CONTACTORES MAGNETICOS

Generalidades

La energía eléctrica disponible en la red de distribución, no puede estar conectada permanentemente al motor. Es necesario emplear sistemas de conmutación de potencia que permitan el transporte o la interrupción de la energía eléctrica proveniente de la red, hacia el motor. Estos sistemas son los interruptores, guardamotors y en especial los contactores que aseguran esta función llamada "Conmutación de Potencia".

El contactor es un aparato mecánico de conexión accionado por un electroimán, de allí su denominación de contactor magnético. El contactor gracias a su electroimán tiene la función de mando o de control a distancia.

Cuando la bobina del electroimán está alimentada, el contactor se cierra estableciendo a través de los contactos, el circuito entre la red de alimentación y el motor.

En el momento en que la bobina deja de ser alimentada, el contactor se abre.

Los contactores son los mecanismos más utilizados para el

accionamiento de motores asíncronos en media tensión, los cuales están sujetos a normas especiales que detallaremos a continuación.

3.1 Contactores de Alto Voltaje para uso en AC

3.1.1 Alcances

Las normas aplicables para los contactores en alto voltaje, abarcan a los contactores destinados para cerrar y abrir circuitos eléctricos y si está combinado con relés apropiados, para proteger estos circuitos frente a las operaciones de sobrecarga que puedan ocurrir.

La aplicación de la norma está preparada para los contactores cuyos contactos principales estén previstos para conectarse a circuitos cuyo valor nominal de tensión esté comprendido entre 1 kV y 12 kV.⁴

3.1.2 Características de los Contactores

Las características de un contactor está definida por los siguientes términos:

- a) Tipo de contactor
- b) Valores nominales
- c) Sistemas del circuito de control
- d) Circuitos auxiliares.

a) Tipo de Contactor

Caracterizado por el número de polos, número de fases, frecuencia nominal y por el medio de interrup

ción del arco (aire, aceite, vacío, otros medios).

b) Valores Nominales

Los valores nominales establecidos para un contactor son los siguientes:

b.1 Voltaje de Operación Nominal (U_c).- Es el valor de voltaje que combinado con su corriente de operación nominal, determinan la aplicación del contactor y para la cual están referidas las capacidades de cierre-corte, el tipo de servicio y la categoría de utilización. Para circuitos polifásicos, está establecido como el voltaje entre fases.⁴

b.2 Voltaje de Aislamiento Nominal (U_i).- Es el valor de voltaje designado en la cual están referidas las pruebas dieléctricas (tensión de utilización). Normalmente, es el valor del máximo voltaje nominal de operación del contactor, y que en ningún caso excederá el voltaje de aislamiento nominal. En circuitos polifásicos está definido como el voltaje entre fases.

b.3 Corriente Térmica Nominal (I_{th}).- Es la máxima corriente que puede conducir en un servicio de 8 horas, sin que la elevación de temperatura de sus componentes excedan los límites es-

tablecidos en las Tablas N°9 y 10.

TABLA N°9

LIMITES DE ELEVACION DE TEMPERATURA PARA BOBINAS AISLADAS

CLASE DE MATERIAL AISLANTE	LIMITE DE ELEVACION DE TEMPERATURA	
	BOBINAS EN AIRE	BOBINAS EN ACEITE
A	85°C	60°C
E	100°C	60°C
B	110°C	60°C
F	135°C	-
H	160°C	-

TABLA N°10

LIMITES DE ELEVACION DE TEMPERATURA PARA LOS MATERIALES Y PARTES

TIPO DE MATERIAL DESCRIPCION DE PARTE	LIMITE DE ELEVACION DE TEMPERATURA
Contactos principales y auxiliares:	
- Cobre	45°C
- Plata o recubrimiento de plata	65°C
- Otros metales	65°C
Conductores desnudos	65°C
Partes metálicas, como resortes	75°C
Partes metálicas en contacto con materiales aislantes	75°C
Terminales para conexiones externas aisladas	70°C
Aparatos inmersos en aceite	60°C

b.4 Corriente de Operación Nominal (I_e).- Es establecida por el fabricante y toma en consideración el voltaje de operación, la frecuencia, el servicio, la categoría de utilización y el tipo de protección del tablero.

En el caso de contactores para motores, la indicación de la corriente de operación nominal puede estar reemplazada por la indicación de la máxima potencia de salida (KW), en el voltaje de operación considerado.

b.5 Frecuencia Nominal (Hz).- Es la frecuencia suministrada al contactor y para el cual corresponden los otros valores característicos.

b.6 Servicio de 8 horas.- Es el trabajo en el cual los contactos principales del contactor permanecen cerrados, mientras transporten una corriente establecida (I_{th}) hasta alcanzar el equilibrio térmico, no mayor que 8 horas sin interrupción.

b.7 Servicio Ininterrumpido.- Es el trabajo en el cual los contactos principales permanecen cerrados mientras transporten sin interrupción por períodos mayores a 8 horas (días, semanas, meses).

b.8 Servicio Intermitente.- Servicio en el cual

los contactos principales permanecen cerrados por períodos cortos con relación a períodos **sin carga.**

b.9 Capacidad de Cierre Nominal.- Es el valor de corriente determinada bajo condiciones establecidas en la cual el contactor puede cerrar sin que sus contactos se suelden o erosionen, bajo condiciones especificadas para el **cierre.**

b.10 Capacidad de corte Nominal.- Es el valor de corriente en la cual el contactor puede cortar sin erosionar los contactos ni prolongar el arco, bajo las condiciones del voltaje de operación.

Un contactor debe ser capaz de cortar cualquier valor de corriente de carga entre su mínima corriente de corte y la más alta capacidad de corte.

b.11 Categoría de Utilización.- Está clasificado en la Tabla N°11, para el uso que el contactor se designe.⁴

TABLA N°11
CATEGORIAS DE UTILIZACION

Categoría	Aplicación Típica
AC-1	Cargas no inductivas, hornos de resistencias
AC-2	Arranque y conexión motores anillos deslizantes
AC-3	Arranque y desconexión en funcionamiento Motores de Jaula
AC-4	Arranque, intermitente y pulsos motores de Jaula.

b.12 Duración Mecánica.- Con respecto a la resistencia por uso mecánico, un contactor está caracterizado por el N° de ciclos de operación sin carga (sin corriente en los contactos principales).

c) Sistemas del Circuito de Control

- Las características del circuito de control son:
 - . El voltaje nominal del circuito de control (U_c)
 - . El voltaje nominal de la fuente para el circuito de control (U_s)

Nota: La distinción se hace arriba entre el voltaje del circuito de control, el cual es el voltaje que aparece a través de los contactos normalmente abiertos de un dispositivo de control en el circuito de su bobina y el voltaje de la fuente de control, que es el

voltaje aplicado a los terminales de entrada del circuito de control del contactor y puede ser diferente del voltaje de control (U_c) debido a la presencia de transformadores, rectificadores, resistores, etc.

- Las condiciones correctas de operación están basadas sobre un valor del voltaje de la fuente de control no menor al 85% de su valor nominal y no mayor al 110% de este valor.

El voltaje de la fuente de control para el circuito abierto no debe exceder del 120% del valor nominal de voltaje de la fuente de control (U_s).

- Los valores nominales de voltaje de la fuente de control debe escogerse preferentemente de la Tabla N°12.⁴

TABLA N°12

VALORES NORMALIZADOS DE VOLTAJE PARA LA FUENTE DE CONTROL

D.C. (V)	A.C (V_{RMS})
24, 48, 110, 125	Una fase: 100, 110, 220
220, 250	Tres fases: 220, 380

d) Circuitos Auxiliares

Las características de los circuitos auxiliares son:

- El N° de esos circuitos
- El N° y clase de contactos auxiliares
 - a = contacto normalmente abierto
 - b = contacto normalmente cerrado

En el caso de que no se establezca ningún valor, la corriente térmica nominal de los circuitos auxiliares será de 6A.⁴

3.1.3 Condiciones Normales para Operación

-Temperatura aire ambiente.- No debe exceder el valor de los + 40°C.

El límite inferior es -5°C

-Altitud.- La altitud del lugar de instalación no debe exceder los 1,000 m.s.n.m.

Nota.- Para altitudes superiores al valor normal, es necesario tomar en consideración la reducción de la resistencia dieléctrica y los efectos de enfriamiento del aire.

En estos casos se tiene que recurrir a una corrección de estos valores, detallados por las normas dadas para este efecto (Apéndice N°2).

-Condiciones Atmosféricas.- El aire debe ser limpio y la humedad relativa no excederá del 50% en una temperatura máxima de +40°C.

Humedades relativas pueden permitirse a temperaturas más bajas, por ejemplo 90% en +20°C.

3.2 Construcción

En la construcción de los contactores se tiene en cuenta las características normalizadas, detalladas en el punto 3.1 de este capítulo, adicionalmente se detallan las siguientes recomendaciones:⁴

3.2.1 Materiales

Se utilizan materiales apropiados para su aplicación en media tensión y soporten las pruebas detalladas para los controladores.

Especial atención se toma para resistir la humedad y el fuego, así como sus propiedades aislantes.

3.2.2 Terminales

Las conexiones de las terminales se hacen con pernos de manera que los conductores aseguren una presión permanente y un contacto efectivo entre las áreas de unión eléctrica, sin causar daños a los conductores, ni permitir desplazamientos entre ellos.

Igualmente, el chasis, estructura y cualquier parte metálica deben estar eléctricamente interconectadas y conectadas a un terminal de tierra

3.2.3 Propiedades Dieléctricas

El contactor debe ser capaz de soportar las pruebas dieléctricas a que se somete el controlador según lo detallado en el punto 2.4, tanto para el circuito de fuerza, así como para el circuito de control, con los

valores normalizados en las tablas N°7 y 8.

3.2.4 Límites de Operación

Los contactores magnéticos deben cerrar con cualquier valor de voltaje de la fuente de control entre el 85% y el 110% de su valor nominal (U_S) y en un ambiente de temperatura entre -5°C y $+40^{\circ}\text{C}$.

Estos límites se aplican tanto para AC como para DC.

3.2.5 Fabricaciones Normalizadas

La mayoría de fabricantes ofrecen los siguientes valores normales:^{12,13}

- Voltaje nominal: 3.0/3.3 kV, 6.0/6.6 kV, 7.2 kV
- Corriente nominal: 200 A, 400 A
- Frecuencia nominal: 50 Hz, 60 Hz
- Corriente interrupción nominal: 4 KA, 10 KA
- Potencia nominal : desde 50 KW hasta 1500 KW
- Medio de interrupción: vacío, SF6

3.3 Tipos de Contactores más usados

- Los contactores para motores asíncronos en media tensión, se dividen en 2 grupos generales según la siguiente clasificación:

a) Por el tipo de montaje

- Fijos
- Extraíbles

b) Por el medio de interrupción del arco

- En aire

- **En aceite**

- En vacío

- En SF₆ (Hexafloruro de azufre)

- Estas 2 características definen los tipos de contactores que más se emplean en media tensión.

- Los contactores en aire y aceite los mencionamos por estar clasificados en las normas. Su utilización ha quedado relegado por los adelantos tecnológicos que utilizan actualmente al vacío y el SF₆ como medios principales de interrupción del arco.

3.3.1 Contactores Fijos

Son para montaje simple, sin posibilidad de maniobra rápida por estar fijada permanentemente a la estructura del tablero. Toda operación de inspección y mantenimiento resulta difícil por tener que desenergizar completamente el tablero y tomar mayor tiempo por parada. Su uso está restringido a condiciones económicas.

3.3.2 Contactores extraíbles.

Son los contactores más usados por sus características técnicas apropiadas, al uso en media tensión.

En este tipo de contactor se realiza la combinación

con fusibles de potencia, convirtiéndose en un arrancador de combinación que provee protección frente a los corto circuitos, además de interrumpir las cargas normales de operación (contactor + fusible)¹².

Este tipo de contactor consta de dos partes:

- a) Una parte fija o chasis, en la cual se empalman los terminales de fuerza de los contactos principales con las barras principales.
- b) Una parte movable, montado sobre un carril o rieles que permite su fácil colocación y extracción del panel para servicio o inspección (carro o bastidor).

Los contactores tienen tres posiciones de operación: Conectado, prueba y desconectado, con un enclavamiento mecánico o eléctrico que posiciona al contactor en cada una de estas posiciones impidiendo su funcionamiento fuera de estos puntos.

En la posición de conectado y prueba pueden operarse eléctricamente y permanecer conectado a la barra de tierra.

Los fusibles de protección del motor se montan en el carro del contactor, integrado con el de modo que al extraer el contactor salgan también los fusibles.

En la figura N°8, se muestran esquemas representativos

de contactores en media tensión,

3.3.3 Contactores en Vacío

La interrupción del arco en el vacío permite una interrupción de alta eficiencia. Es una unidad desarro - llada para uso exclusivo con los contactores.¹²

Es compacto y de poco peso con una excelente capaci - dad de interrupción. Posee propiedades de aislamien - to óptimas, así como para los esfuerzos mecánicos.

Los puntos de contacto son hechos de aleaciones espe - ciales, lo cual garantiza mínima erosión de los con - tactos y una alta cualidad de evitar la soldadura de éstos.

Estos puntos de contacto aseguran bajas corrientes de choque, consecuentemente, las ondas de interrupción que puede estar acompañado por los fenómenos de la corriente de choque es mínima.

Este tipo es apropiado para el control del arranque y parada de motores.

El grado de vacío es garantizado para 20 años mínimo en servicio normal.

3.3.4 Contactores en SF6

En este tipo de contactor, la interrupción del arco se realiza en cámaras selladas herméticamente conte -

niendo el gas llamado hexafluoruro de Azufre (SF₆). Es un gas inofensivo, de obtención fácil, presentándose como un excelente apagador de arco.¹³

3.3.4.1 Cualidades del gas SF₆

Es un gas ininflamable, incoloro, inodoro, no tóxico, cinco veces más denso que el aire. Su resistencia dieléctrica es igual a 2.5 veces la del aire, a la presión atmosférica. Presenta propiedades térmicas y electronegativas* notables:

Durante el período de formación del arco (es decir desde la separación de los contactos de arco hasta su extinción), la refrigeración del arco se efectúa por convección forzada en el SF₆ cuyo calor específico es elevado.

En la proximidad del cero de intensidad, la notable conductividad térmica a 2000°K permite el enfriamiento del arco, se produce una reducción del número de electrones gracias a la afinidad electrónica del fluor, lo que permite el restablecimiento de la rigidez eléctrica entre contactos. La casi totalidad del gas se recompone. El desgaste del gas es pues muy pequeño.

* Electronegativo = afinidad para capturar electrones.

3.3.4.2 Resistencia Dieléctrica después del Corte

El gas que se encuentra en el intervalo entre contactos no pierde sus cualidades físicas después del corte. El contactor conserva su nivel de aislamiento nominal (ondas de choque y 60 Hz).

3.3.4.3 Seguridad

El contactor en SF6 funciona a baja presión. La presión nominal relativa alcanza 1.5 bar o 2.5 bar. La elevación de presión durante el arco es del orden de 1 bar.

3.3.4.4 Ventajas

La frecuencia de operaciones del contactor hace que la función del contactor sea delicada; el SF6 permite un poder de corte muy alto (hasta 10 kA a 7.2 kV). Este alto poder de corte provee un grado de fiabilidad elevado en caso de combinación contactor + fusible.¹³

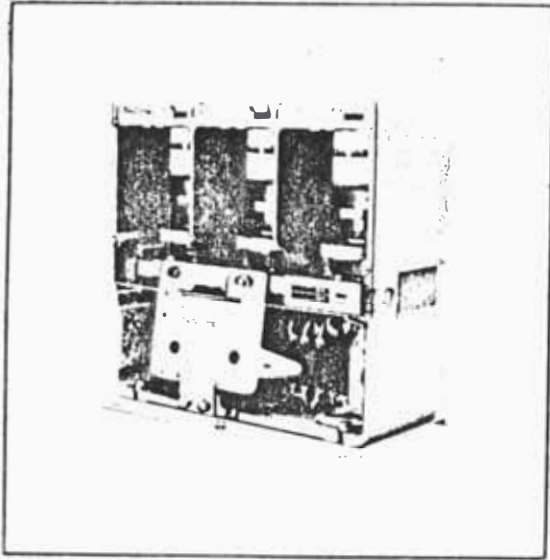
Un nivel de sobrevoltaje muy bajo. La ausencia de sobretensión de maniobra elimina las preocupaciones asociadas a los circuitos de carga, la dimensión de los cables, etc. Equipos de protección tales como pararrayos no son necesarios.

Por sus propiedades dieléctricas notables, permite miniaturizar las cámaras, por lo tanto el equipo de alta tensión es pequeño.

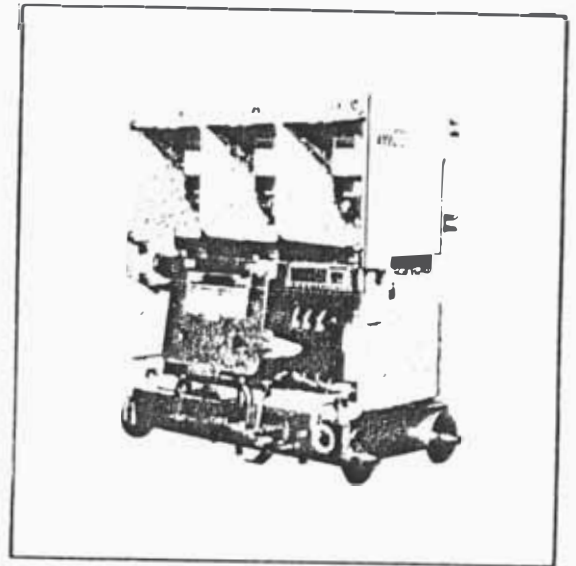
La ausencia de sobretensión de maniobra, es ideal para la maniobra de motores de media tensión grandes o pequeñas.

Los recipientes o cámaras sellados de vida larga, evitan el mantenimiento, tiene una duración de vida eléctrica elevada por un período mínimo de 20 años.¹³

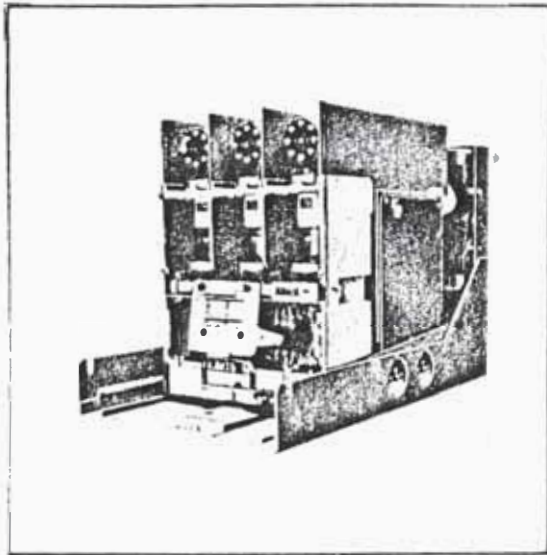
fijo sin fusibles



extraible sin fusibles



extraible con fusibles



extraible con fusibles

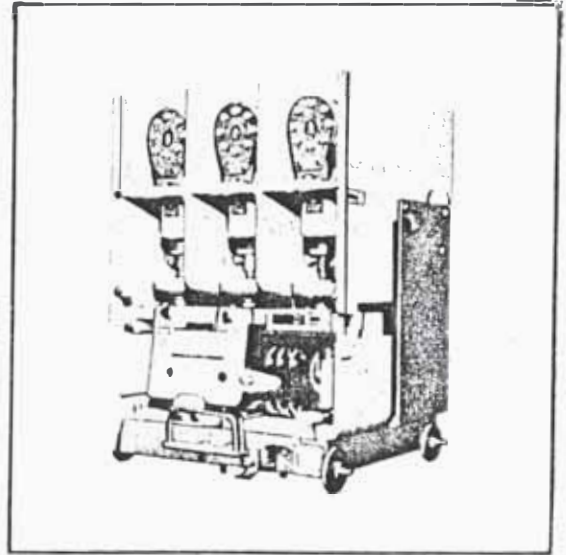


Fig. 8.- Tipos de Contactores Típicos

CAPITULO 4

DISEÑO DEL AUTOTRANSFORMADOR PARA ARRANCADORES A VOLTAJE REDUCIDO EN MEDIA TENSION

4.1 Alcances

El presente capítulo cubre los aspectos del diseño de los autotransformadores en corriente alterna de 50 y 60 Hz, usados para suministrar tensión reducida a los arrancadores de motores asíncronos en media tensión de potencias nominales hasta los 3,000 HP.

Los autotransformadores cubiertos por esta norma, son para las aplicaciones donde los bobinados permanecen en el circuito solamente durante el período de arranque.³

4.2 Características Generales

4.2.1 Clasificación del Servicio

Los autotransformadores se clasifican como apropiado para servicio pesado y servicio mediano de acuerdo a las siguientes definiciones:

- a) Servicio Pesado.- Este servicio incluye las aplicaciones que requieren arranques frecuentes o intermitentes, tal como ciertos molinos y otros accionamientos especiales, incluyendo aquellos que tienen

extremadas altas inercias.

b) Servicio Mediano. En este servicio se incluye la aplicación para motores que accionan cargas tal como Bombas, compresoras, etc.

4.3 Condiciones de los ciclos de servicio

Los siguientes valores para controladores de servicio pesado y servicio mediano se deben considerar en los siguientes ciclos de servicio y condiciones de carga:

4.3.1 Servicio Pesado

Conexión	1 minuto
Desconexión	1 minuto
Repetición	4 veces (5 ciclos en total)
Fuera de servicio	2 horas
Conexión	1 minuto
Desconexión	1 minuto
Repetición	4 veces (5 ciclos en total)
Derivación (TAP)	TAP más bajo
Carga	Motor con el rotor bloqueado o conectado a carga inductiva equivalente

4.3.2 Servicio Mediano - Arrancadores Manuales hasta 300 HP

Conexión	15 segundos
Desconexión	3 minutos 45 segundos
Repetición	3 veces (5 ciclos en total)

Fuera de servicio	2 horas
Conexión	15 segundos
Desconexión	3 minutos 45 segundos)
Repetición	3 veces (5 ciclos en total)
Derivación (TAP)	65%
Corriente en el TAP	300% de corriente a plena carga
Factor de potencia	≤ 50%

4.3.3 Servicio Mediano - Arrançadores Magnéticos para motores hasta 200 HP

Conexión	15 segundos
Desconexión	3 minutos 45 segundos
Repetición	14 veces (15 ciclos en total)
Fuera de servicio	2 horas
Conexión	15 segundos
Desconexión	3 minutos 45 segundos
Repetición	14 veces (15 ciclos en total)
Derivación (TAP)	65%
Corriente en el TAP	300% corriente a plena carga
Factor de potencia	≤ 50%

4.3.4 Servicio Mediano - Arrançadores Magnéticos para motores desde 200 HP hasta 3000 HP

Conexión	30 segundos
Desconexión	30 segundos
Repetición	2 veces (3 ciclos en total)

Fuera de servicio	1 hora
Conexión	30 segundos
Desconexión	30 segundos
Repetición	2 veces (3 ciclos en total)
Derivación (TAP)	65%
Corriente en el TAP	300% corriente a plena carga
Factor de Potencia	≤ 50%

4.4 Derivaciones de Arranque (TAPS)

Los autotransformadores tendrán derivaciones de arranque en concordancia con la tabla N°13.

Para servicios pesados, las condiciones de carga están gobernadas por la aplicación particular.

Para servicios medianos, la corriente del motor detenido a pleno voltaje se asume en 6 veces la corriente a plena carga normal, para propósitos de determinar la derivación de voltaje bajo condiciones de carga.³ La carga tomada de los TAPS deben contener carga inductiva que tengan un factor de potencia ≤ 0.5

TABLA N°13

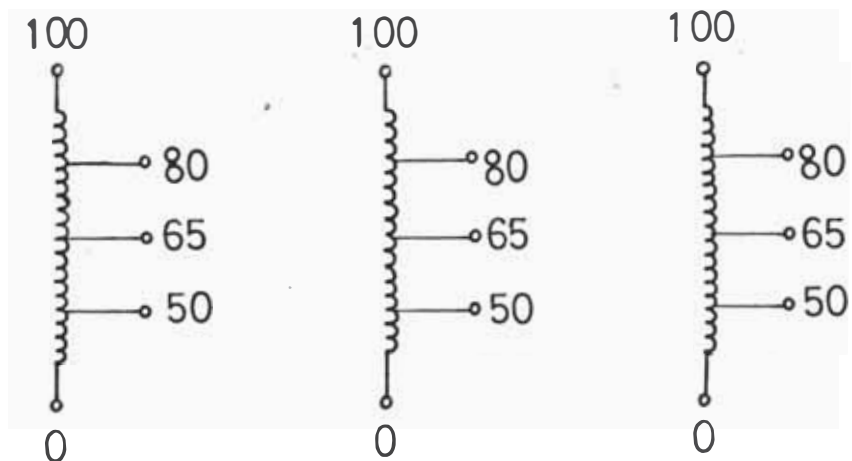
DERIVACIONES Y VOLTAJES EN TERMINALES DEL MOTOR

Clasificación del Servicio	HP nominal de motores	Derivadores de arranque, voltajes en terminales del motor (% aprox. del voltaje de línea)
Servicio Mediano	Hasta 50 HP	65-80
	Mayor de 50 HP	50-65-80
Servicio Pesado	Hasta 50 HP	65-80
	Mayor de 50 HP	50-65-80

4.5 Marcación de las Derivaciones

Las derivaciones y las bobinas se marcarán así:

- El final del bobinado al cual se conecta el punto Y o delta, que es el comienzo del bobinado, se marcará cero (0)
- Las derivaciones intermedias se marcarán con los porcentajes aproximados del voltaje de línea, que será entregado al motor bajo las condiciones de carga especificado.
- La conexión final, el cual se conecta a la línea se marcará 100.
- Por ejemplo, el autotransformador para un motor mayor de 50 HP, en servicio mediano se marcará: 0-50-65-80-100.



4.6 Particularidades de Fabricación

- a) Núcleo.- El autotransformador es del tipo núcleo ensamblado compuesto de columnas de sección circular en un solo plano.

Las columnas y estructuras de fijación del yugo se fabrican con materiales apropiados.

El circuito magnético tiene un entrehierro (para obtener un valor conveniente de inductancia de los arrollamientos, generalmente pequeña)⁸.

Se utilizan láminas de acero al silicio de grano orientado, laminado en frío de bajas pérdidas de histéresis y alta permeabilidad magnética.

- b) Arrollamientos.- Están formados por bobinas de cobre electrolítico, ensambladas teniendo en cuenta las expansiones y contracciones de operación, aisladas convenientemente para los niveles de voltaje nominal.
- c) Pruebas.- Deben soportar las pruebas de rigidez dieléctrica (impulso y frecuencia industrial) según los valores de tensión, Tablas N°7 y N°8.

Adicionalmente, se comprueban los voltajes de los TAPS de derivación.

CAPITULO 5

SELECCION DE LA PROTECCION DEL MOTOR

5.1 Cálculo de los Fusibles (Contactor + Fusible)

5.1.1 Generalidades

Al realizar la elección de los fusibles para protección de motores de media tensión, se tendrá en cuenta tanto la corriente de arranque como el período de duración de éste.¹⁰

Igualmente, debe tenerse en cuenta la frecuencia con que se realizan los arranques, en el caso de que dicha frecuencia sea tan elevada que impida un enfriamiento de los fusibles en los intervalos entre aquellos.

5.1.2 Pasos de Selección

Una práctica común usada en la protección de un circuito para motor es mediante la aplicación de un fusible limitador de corriente para protección de cortocircuitos y un contactor de alta tensión para las protecciones de sobrecarga.

La corriente nominal del fusible se selecciona como sigue:

- a) La corriente de arranque del motor no debe exceder las curvas permisibles tiempo-corriente del fusible. La condición normal de arranque del motor es con una corriente de arranque 6 veces de la corriente del motor a plena carga con un tiempo promedio de arranque en 10 segundos.
- b) La intersección de la curva tiempo-corriente fusión total del fusible y la curva de operación del contactor debe ser más larga que la corriente de ruptura mínima del fusible.
- c) La energía de paso (I^2t) de operación y el nivel limitador de corriente no debe exceder los esfuerzos de corto circuito del circuito o del dispositivo.

Ver Fig. 9 de curvas tiempo-corriente.

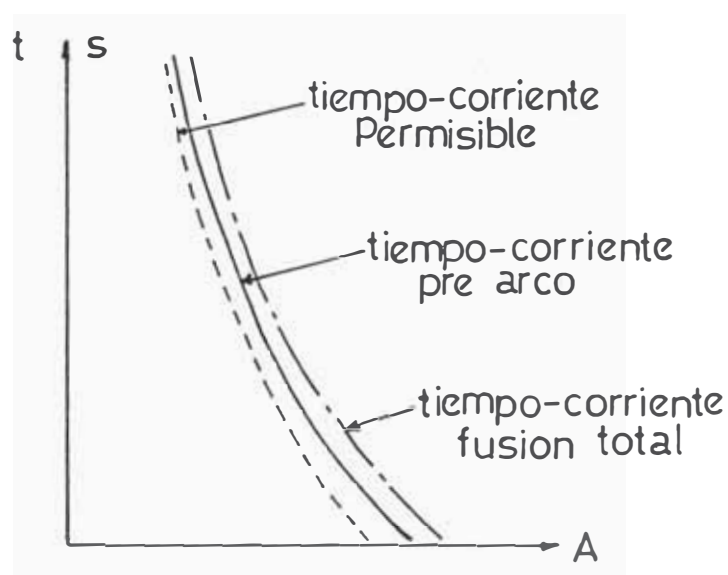


Fig. 9. Clases de curvas características tiempo-corriente

5.1.3 Características de los fusibles para la protección de motores en Media Tensión

Los fusibles para la protección de motores en media tensión son de potencia limitadores de corriente apropiados para proteger al motor y su cable alimentador contra corto circuitos.⁶

El efecto limitador de corriente se consigue únicamente en fusibles con agente extintor granulado, alta capacidad de ruptura. Durante la ruptura no se produce ningún fenómeno externo. Reducido espacio ocupado, poco peso. Los fusibles no requieren ningún mantenimiento.

Las características de los fusibles muestran la dependencia entre el tiempo de fusión y la corriente de corto circuito (Fig. 10, Curvas de fusión).

Como corriente de corto circuito se designa la corriente que aparecería en el lugar de montaje si el fusible se pusiese en corto.⁶

Capacidad de limitación de corriente.- El valor máximo de la corriente que puede pasar a través de un fusible depende de la intensidad nominal de este último y de la magnitud de la intensidad de corto circuito. En la figura N°11 se puede determinar, para cualquier intensidad nominal, el valor de cresta de la corriente de paso, sobre la cual el fusible limita una co-

riente alterna de corto circuito.

En este diagrama (Fig. 11) se han reflejado en las abscisas los valores efectivos de las corrientes alternas de corto circuito que pueden producirse en el punto donde han sido instalados. Por ejemplo, en el caso de una corriente alterna de corto circuito de 10 KA, con un cartucho de 50 A, la corriente de paso será únicamente de 5.5 KA (punto B) frente a una corriente de corto circuito de choque sin influencias de aproximadamente 27 KA (punto A) con una asimetría total.¹⁰

Esta limitación de la intensidad, garantiza una protección eficaz de la instalación contra posibles daños ocasionados por esfuerzos térmicos y dinámicos.

Características Eléctricas. Las características que a continuación se detallan en la Tabla N°14, responden a las definiciones de las normas IEC-282-1.

TABLA N°14

Tensión Nominal (kV)	Intensidad Nominal (A)	Intensidad Mín.Ruptura (A)	Poder de Ruptura (KA)	Longitud (mm)
3.6	250	2000	50	292
3.6 - 7.2	125	620	50	292
	160	1000	50	292
	200	1400	50	292
	250	2000	50	442
	50	200	50	292
3.6 - 7.2	63	240	50	292
	80	365	50	292
	100	480	50	292
	125	620	50	442
	160	1000	50	442
	200	1400	50	442

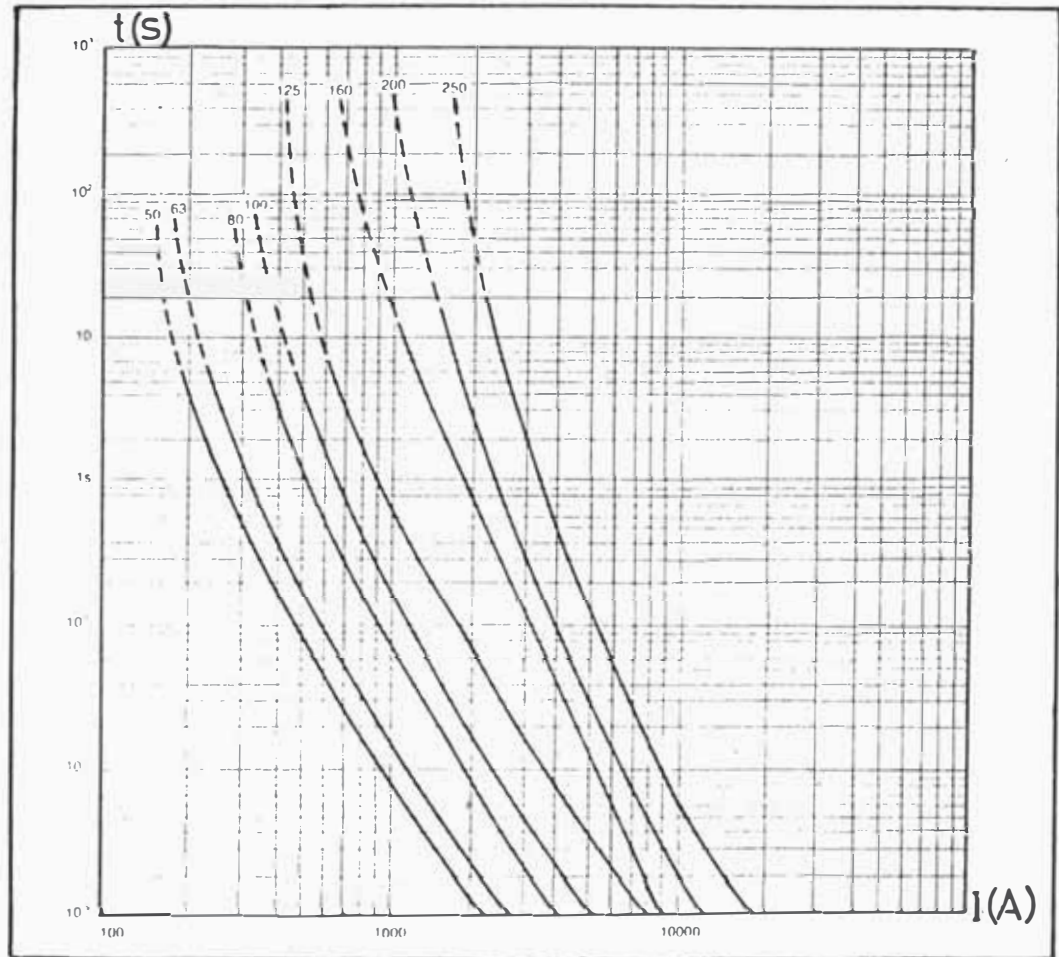


Fig. 10.- Curvas Típicas de Fusión.

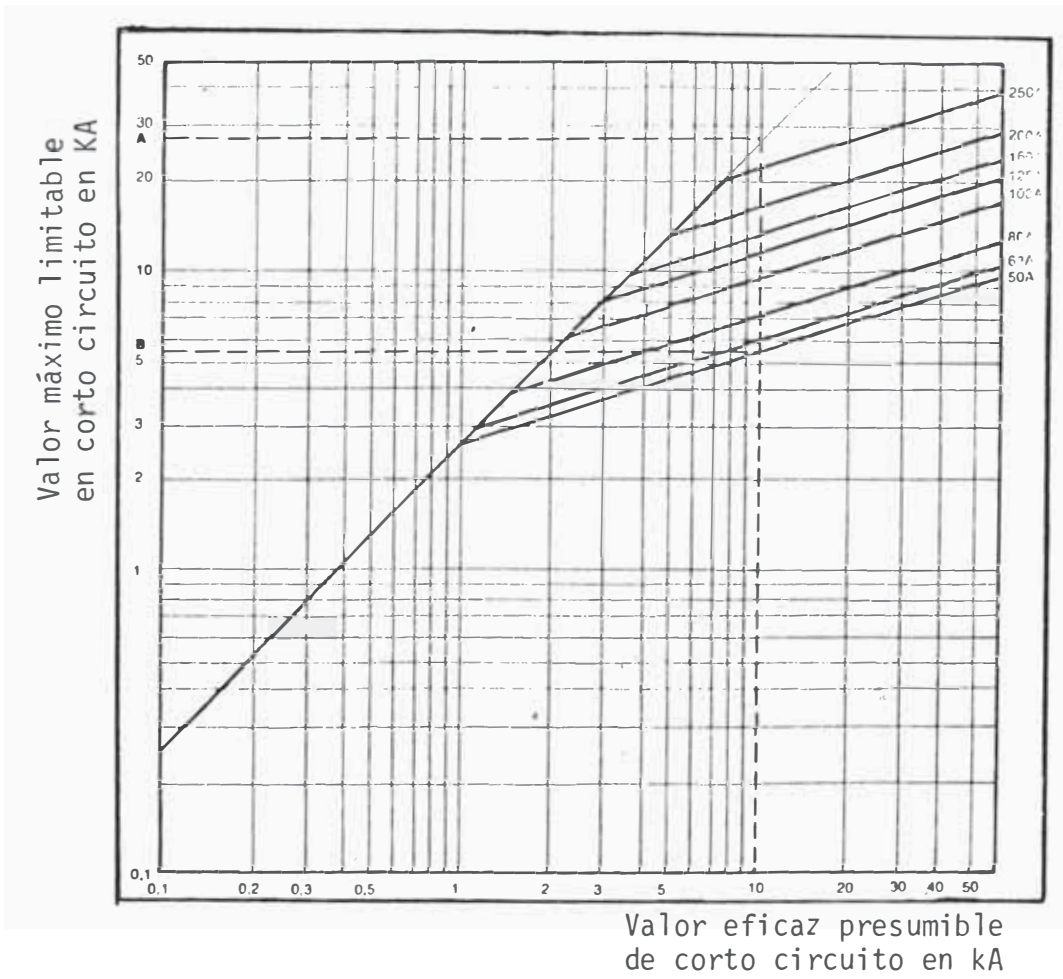


Fig. 11.- Curvas típicas de limitación de corriente.

5.1.4 Cálculo del Calibre

- El calibre nominal del corto-circuito fusible es función de 3 parámetros siguientes:

- . La corriente de arranque
- . La duración del arranque
- . La frecuencia de arranques

Estos parámetros permiten determinar el calibre del fusible, conociendo la potencia del motor en KW y la tensión nominal en kV.

- Con estas premisas, las normas aconsejan seleccionar el calibre del fusible entre:

$$1.5 I_N \text{ hasta } 2 I_N \quad (5.1)$$

donde se tiene en cuenta, el valor de la corriente de arranque en $6 I_N$, el tiempo promedio de arranque en 10 segundos, con una frecuencia de 6 arranques por hora ó 2 arranques sucesivos.¹⁰

5.2 Relés de Protección

5.2.1 Generalidades

Nuestro propósito en esta parte del tema, es examinar las diferentes soluciones que se pueden utilizar para resolver problemas de protección de motores en media tensión y comparar técnicamente estas soluciones con el fin de facilitar su elección.

Los receptores pueden ser el asiento de un gran número de incidentes mecánicos o eléctricos. Con el fin de evitar que dichos incidentes no los deterioren, así como al equipo automático por contactores que los manda, y que no perturben la red de alimentación, es preciso protegerlos. Ese es el cometido de los relés de protección, cuya elección se hará en función de la protección deseada.

Entre los incidentes más frecuentes que se pueden producir en un motor, citamos:⁸

a) Incidentes de origen mecánico:

- Bloqueo, sobrecarga momentánea o prolongada que conducen sistemáticamente a un aumento de la intensidad absorbida por el motor y por tanto a un calentamiento peligroso de los devanados.

Quando persiste una sobrecarga, el motor se deteriora y si la sección de la línea está calculada para la intensidad y el servicio del motor, los hilos se calientan, los aislantes se funden y existe entonces un riesgo de incendio.

b) Incidentes de origen eléctrico:

- Sobretensión, caída de tensión, desequilibrio de fases, falta de fase que provocan un aumento de la intensidad que atraviesa los devanados y el circuito de alimentación.

- Corto circuitos, cuya intensidad puede sobrepasar el poder de corte del contactor.

En conclusión, un aparato de protección debe en el momento de la sobrecarga o del cortocircuito del motor:

- . Proteger la línea
- . Proteger el órgano de maniobras (por ejemplo, el contactor) más allá de sus propios límites.
- . Permitir su arranque teniendo en cuenta las puntas de intensidad que resultan de la puesta en tensión.
- . Proteger eficazmente el motor prohibiendo su funcionamiento durante un tiempo demasiado largo bajo una intensidad superior a la nominal.

5.2.2 Tipos de Relés de Protección

- Históricamente los relés usados en la protección de motores de media tensión han sido los del tipo electro-mecánico, los que han sido a través de los años, aparatos no caros y muy confiables.

En los últimos años, sin embargo, se han introducido los relés estáticos o electrónicos, debido fundamentalmente a su rapidez de funcionamiento, a prueba de vibraciones y golpes, sin necesidad de mantenimiento costoso.

- En los relés de protección se formulan una gran cantidad de exigencias: Consumo propio reducido y buena relación de reposición, exactitud de los valores de

funcionamiento, fácil y visible posibilidad de ajuste de los valores de reacción y de tiempo. Indicación de los valores de funcionamiento mediante señales ópticas y agujas de arrastre.

Posibilidad de comprobación fácil, a ser posible sin interrupción de la alimentación de corriente.

- Los relés de protección estáticos funcionan alimentados con una fuente de tensión auxiliar, de modo que al sobrepasar o descender el valor preajustado de la magnitud que ellos vigilan, introducen a través de uno o varios relés auxiliares internamente ensamblados, las órdenes para disparo y/o señalización a través de juegos de contactos abiertos y cerrados del relé auxiliar incorporado.⁶

5.2.3 Relés de Protección para Motores de Media Tensión

- Las protecciones usuales para los motores de media tensión en los rangos de bajas y altas potencias, están identificados por los dispositivos y funciones normalizados apropiadamente con la asignación de un número definido para cada una de las varias funciones fundamentales del sistema de protección (ANSI C37.2).
- Una completa protección para motores de media tensión abarcan las siguientes funciones:

Número de Dispositivo	Función y Descripción
27	<p>Relé de Mínima Tensión.- Es un relé que funciona sobre un valor dado de bajo voltaje, pudiendo dar la señal de disparo en forma instantánea o temporizado según el nivel de protección deseada.</p>
46	<p>Relé de Corriente de fase Desbalanceada.- Funciona cuando las corrientes polifásicas son de secuencia negativa, o cuando las corrientes polifásicas son desbalanceadas.</p> <p>Esta función provee protección frente a la pérdida de una fase del suministro y frente a corrientes desbalanceadas que no pueden ser tomadas en cuenta por la protección térmica si el motor está en una condición de baja carga.</p>
48	<p>Relé de Secuencia incompleta.- Este relé generalmente retorna el equipo a la posición normal o desconectado y lo deja fuera de servicio si el arranque normal, operación o secuencia de parada no está apropiadamente completada. Esto sucede frecuentemente por subitas paradas en el arranque, o prolongadas aceleraciones.</p>
49	<p>Relé Térmico.- Es un relé que funciona cuando la temperatura de la armadura de la máquina u otras cargas que circulan los bobinados de la máquina excede un valor predeterminado.</p> <p>Normalmente son las sobrecargas.</p>
50	<p>Relé de Sobrecorriente instantáneo.- Es un relé que funciona instantáneamente sobre un valor excesivo de corriente, indicando así una falla en el equipo que está siendo protegido. Aplicación para las fallas de rotor bloqueado en pleno funcionamiento.</p>
51N	<p>Relé de Sobrecorriente Temporizado falla a tierra.- Es un relé de características definidas a tiempo inverso que funciona cuando la corriente residual de 3 transformadores de corriente en la línea que excede un valor predeterminado. Puesta a tierra de una línea de alimentación.</p>
64	<p>Relé de Protección de Tierra.- Es un relé que funciona cuando detecta una falla de aislamiento de una máquina u otro aparato a tierra. Es un sensor de tierra</p>

Número de Dispositivo	Función y Descripción
69	<u>Relé de Rearme Manual.</u> - Es generalmente un interruptor de operación manual, en una posición permite el cierre de un circuito o la puesta en operación de un equipo, y en la otra posición previene que el circuito o equipo sea operado.
49T *	<u>Relé de Temperatura.</u> - Relé que funciona con la señal suministrada por detectores de temperatura por variación de resistencia (ohmios), protegiendo los bobinados del estator.

* Un valioso complemento de los dispositivos de protección de grandes motores es la protección por termistores (sensores semiconductores) dependientes de la temperatura.

Con este dispositivo se protege el motor vigilando directamente la temperatura de los devanados con aprovechamiento total de la potencia del motor. Este sistema de protección se denomina, son das de termistancias CTP y generalmente viene suministrado por el fabricante del motor, embebidos en los devanados.

5.2.4 Sondass de Termistancias CTP

Este sistema de protección tiene en cuenta la temperatura real de los devanados del motor.⁸

Está constituido por:

- Sondass de termistancias de coeficiente de temperatura positivo (CTP), colocadas en los devanados del estator del motor y cuya resistencia varía en función de la temperatura.
- De un relé auxiliar de mando, sensible a la variación de resistencia de las sondass y por lo tanto, al calentamiento del bobinado del motor (Fig. 12)

Por esto, el motor está protegido contra un calenta-

miento, cualquiera que sea su origen:

Sobrecarga, defecto de ventilación, temperatura ambiente muy elevada y en algunas condiciones, bloqueo del motor.

- En el caso de bloqueo del motor, la elevación de temperatura del bobinado es bastante rápida, el calentamiento de las sondas sigue al de los devanados con un cierto retraso que depende del tamaño de las sondas y de la calidad de su montaje en el bobinado.

La velocidad de crecimiento de la temperatura del bobinado estator de un motor cuyo rotor está bloqueado depende de la densidad de corriente en los conductores del bobinado.

- Los motores actuales están eficazmente protegidos por este sistema de protección, siempre que las sondas estén correctamente montadas.
- Aplicaciones: Arranque difícil, arranque frecuentes, servicio de frenado, fallo de una fase, tensión baja y sobretensión, sobrecargas frecuentes de poca amplitud, refrigeración estorbada, alta temperatura ambiente, etc.
- Este sistema ofrece una protección más sensible al motor y no necesita ajuste.⁸

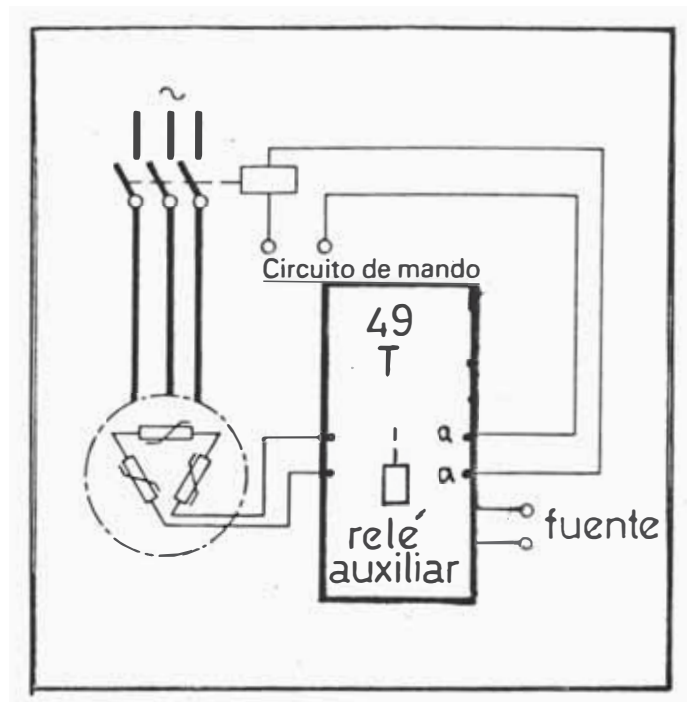


Fig. 12. Esquema típico de protección por sondas de termistancia.

5.2.5 Particularidades de Fabricación de los Relés

- La mayoría de relés se diseñan y fabrican según normas especialmente elaboradas, destacando los siguientes:

- . Tipo extraíble
- . Tienen incorporado una bornera de prueba
- . Indicador de operación visible
- . Capacidad de corriente de los contactos auxiliares no menor a 5A.
- . Consumo mínimo, inferior a 15 VA en operación de los relés auxiliares.
- . Rango de temperatura nominal: -5°C hasta $+40^{\circ}\text{C}$

- . Nivel de aislamiento: 2 kV, 60 Hz, 1 minuto
 - . Peso reducido: menor de 3 kg
- Todos los fabricantes de relés estáticos ofrecen en un solo dispositivo, la protección de varias funciones para el caso de motores en media tensión. Así se encuentran dispositivos con funciones:
- . 49/50/51
 - . 46/48/49/50
 - . 46/48/49/50/51N etc.

Esta particularidad permite disminuir los costos del tablero arrancador.¹⁵

5.3 Consideraciones Técnico-Económico de la Protección

5.3.1 Consideraciones Técnicas

5.3.1.1 Las normas de diseño para los arrancadores en media tensión, detalladas en el capítulo 2, consideran como dispositivos de protección obligatoria, un mínimo de 3 relés de sobrecorriente para el motor funcionando.²

Los relés de sobrecarga deben disponerse ya sea para desenergizar el arrancador o energizar un dispositivo de señalización o ambos.

Para controladores clase E1 sin fusibles para la protección de fallas, el disparo instantá-

neo de protección debe realizarse en cada línea del suministro de potencia para desenergizar el controlador cuando ocurre una falla.

En los controladores clase E2, los fusibles están destinados para la interrupción de las fallas

5.3.1.2 Los transformadores de control y los transformadores de tensión para los instrumentos, deben proveerse con fusibles tanto en el lado primario y en el secundario.

5.3.1.3 Las normas requieren que los dispositivos de interrupción de fallas usados en la protección del motor no deben recerrar automáticamente después de interrumpir un corto circuito. Igualmente, los otros dispositivos tal como relés de sobrecarga, relés de mínima tensión y otros usados en el automatismo, no deben reponerse automáticamente después de efectuado el disparo. Esta reposición se hará mediante una operación manual (función 69) para poder cerrar nuevamente el circuito del motor.

5.3.2 Consideraciones Económicas

La protección de todo sistema eléctrico en general y en su aplicación particular a motores asíncronos en media tensión, debe considerarse como una prima del se

guro que se gasta con el objeto de proteger al motor y sus dispositivos de daños, cuyas consecuencias serían graves, en caso de no limitarlas al mínimo. En este sentido el dinero adicional que se destine a la protección debe ser un porcentaje razonable del costo de las instalaciones y servicio que el motor accionará en su vida útil, en tal caso el grado de protección adicional a la estipulada técnicamente por normas, se escogerá tratando de cubrir todas las posibles causas de falla con el dinero destinado para la protección.¹⁴

Una adecuada selección técnica-económica para la protección, incidirá en la elaboración de un automatismo del arrancador mucho más completa y segura. Los riesgos de daños costosos y paradas productivas serán menores y la eficiencia de la instalación compensará rápidamente la inversión inicial de una protección minuciosa que supere lo mínimo aceptable por las normas para arrancadores en media tensión.

CAPITULO 6

DISEÑO DE LAS CELDAS DEL ARRANCADOR

Generalidades

El diseño de las celdas del arrancador está en función del tipo de arrancador (directo, autotransformador, etc.), lo cual determina la cantidad de paneles verticales, así como la disposición de las celdas para los equipos principales y auxiliares que conforma el arrancador.

Como equipos principales se han estudiado en los capítulos anteriores al contactor, el autotransformador y los relés de protección. En este capítulo detallaremos el equipamiento auxiliar necesario para el automatismo del arrancador y consecuentemente el diseño apropiado del tablero autosoportado con la disposición física del equipamiento en sus respectivas celdas o compartimientos.

6.1 Equipamiento Auxiliar

6.1.1 Interruptor Principal

Es el medio de aislación previsto por las normas, cuya función es aislar el circuito eléctrico del arrancador de la fuente de energía o alimentación.

Estos interruptores son accionados por impulso forzado (accionamiento neumático, de motor o magnético). En

el caso de interruptores para arrancadores son de accio
namiento por motor eléctrico que cargan los resortes y
a través del mando externo por botoneras cierran los
contactos del interruptor, una bobina de disparo accio
na un enclavamiento mecánico, abriendo el interruptor
cuando llega la orden de la botonera de apertura.⁴

Generalmente, son del tipo extraíble, utilizando el
aire como medio de interrupción del arco. Valores nor-
malizados de fabricación están en concordancia con las
capacidades de interrupción de la tabla N°5, siendo
los siguientes tamaños los normalizados:

$$\begin{array}{l} I_N = 630 \text{ A, } 1,250 \text{ A} \\ V_N = 3.6 \text{ kV, } 7.2 \text{ kV} \\ P_N = 250 \text{ MVA, } 350 \text{ MVA} \end{array}$$

6.1.2 Transformador de Tensión (Medida)

- Los transformadores de tensión para medida sirven para
transformar tensiones altas en valores medibles
sin ningún peligro, con poco consumo propio.
- Los transformadores de tensión están clasificados se
gún la clase de precisión y la aplicación que se de-
sea utilizar de acuerdo a la tabla N°15.⁶

TABLA N°15

APLICACION DE LOS TRANSFORMADORES DE TENSION PARA MEDIDA

Clase	Tensión Primaria	Error de Tensión (%)	Campo de aplicación
0.1	$0.8..1.2V_N$	± 0.1	Para mediciones de precisión y calibración
0.2	$0.8..1.2V_N$	± 0.2	Para mediciones exactas (KW-h)
0.5	$0.8..1.2V_N$	± 0.5	Para instrumentos exactos
1	$0.8..1.2V_N$	± 1.0	Para relés de tensión y aparato de medida
3	$1.0 V_N$	± 3.0	Para medidores de tensión

- Los transformadores de tensión trabajan prácticamente en vacío. Son del tipo encapsulado en resina sintética y tienen incorporado los fusibles de potencia limitadores de corriente en el lado de alta tensión. Los circuitos secundarios deben ser puestos a tierra.

6.1.3 Transformador de Control

- El transformador de control, es un transformador de potencia, monofásico, destinado para suministrar la energía necesaria al circuito de control.
- La relación de transformación está de acuerdo a la selección de la tensión para el circuito de control, así como la potencia según el estimado de cargas.
- En la práctica, la potencia nominal del transformador debe determinarse sumando la potencia consumida al

mantenimiento por todos los contactores susceptibles de cerrarse al mismo tiempo y la potencia absorbida en la llamada por el contactor de calibre más elevado, más las cargas de aparatos auxiliares, tal como pilotos de señalización, etc.⁸

6.1.4 Transformador de Corriente

- Son transformadores de medida, con el objeto de obtener corrientes secundarias proporcionales a las primarias, para propósitos de medición y protección.
- Los transformadores de corriente se clasifican según su precisión de medición y se utilizan según la Tabla N°16.

TABLA N°16

PRECISION Y APLICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Clase	Corriente Secundaria	Campo de Aplicación
0.1	1A, 5A	Para mediciones de precisión y de calibración
0.2	1A, 5A	Para mediciones exactas de potencia y contabilización
0.5	1A, 5A	Para contabilización e instrumentos exactos de medida
1	1A, 5A	Para mediciones de servicio
3	1A, 5A	Para medidores de intensidad
5P, 10P	1A, 5A	Para relés de protección

- Los transformadores de corriente operan casi en condiciones de corto circuito. Por este motivo, deben estar siempre cargados o en cortocircuito por el lado secundario. Con el secundario abierto pueden aparecer elevadas tensiones que son un peligro para el personal de servicio y el aislamiento del transformador.
- El arrollamiento secundario del transformador de corriente hay que ponerlo siempre a tierra, para evitar que el personal de servicio se vea amenazado por alta tensión en caso de producirse una perforación del aislamiento.⁶
- El bobinado primario se conecta en serie con el circuito principal y transporta la corriente de carga a ser medida.

El bobinado secundario normalmente consta de 2 bobinados independientes, uno de clase apropiado para la medición, y el otro de clase apropiado para protección, con lo que se utiliza un solo transformador por línea, tanto para medición, como para la protección.

- Normalmente, son del tipo encapsulado en resina sintética, apropiados para los niveles de tensión al cual se instalará el arrancador.

6.1.5 Transformador Homopolar

- Es un transformador de corriente tipo toroidal, apropiado para medición de corriente homopolar, causada por el desbalance de la corriente de línea cuando se produce una falla a tierra.
- Valores característicos de funcionamiento están dadas por los siguientes márgenes:

Corriente Primaria : $I_p = 10\% - 40\% I_N$

Corriente Secundaria: $I_s = 2-6 A$

6.1.6 Rectificador de onda completa

6.1.6.1 Alimentación en corriente Rectificada

Este dispositivo se utiliza para el mando de contactores de gran robustez mecánica, obteniendo un funcionamiento silencioso, así como alimentar los contactores de gran calibre permitiendo:

- . Aumentar considerablemente la presión sobre los polos (no existe como en corriente alterna la anulación de la corriente al pasar por cero)
- . Mantener el contactor cerrado si la red de alimentación es afectada de fuertes caídas de tensión.
- . Retrasar ligeramente la apertura del contacto

tor cuando existe una desaparición momentánea de la tensión de alimentación (la bobina está conectada a las bornas del rectificador)

- . No sobredimensionar el transformador de control, pues la corriente de llamada en corriente continua del circuito magnético de la bobina es menor que en corriente alterna.

6.1.6.2 Características del Rectificador

Es un rectificador estático de onda completa tipo electrónico en estado sólido, refrigerado por convección natural, y con una tensión constante de salida en corriente continua.

El voltaje de entrada debe ser mayor, sin sobrepasar el 20% del voltaje de salida, según lo señalado en 3.1.2 pto C. Esto con la finalidad de conseguir una tensión estable en la salida a plena carga.

6.1.7 Disposición de las Celdas

6.1.7.1 Celda para el Interruptor Principal

Constituido por compartimientos metálicos separados, donde se alojan:

- a) El interruptor principal extraíble.

- b) Compartimiento posterior para el ingreso de los cables de acometida, transformadores de tensión para medida, y barras principales.
- c) Compartimiento de baja tensión, mando del interruptor.

6.1.7.2 Celdas para los Contactores

Cada contactor se instala individualmente en sus respectivas celdas, con sus respectivas celdas, tamaño adecuado para el caso de contactores extraíbles.

6.1.7.3 Celda para el Autotransformador

Celda con su respectiva puerta, preferentemente ubicada en la parte baja del panel.

6.1.7.4 Celda de Baja Tensión

En esta celda se montarán los relés, instrumentos, botoneras de mando y demás aparatos de control y maniobra en baja tensión.

Debe estar separado por medio de barreras metálicas, de las celdas adyacentes y posteriores.

Los instrumentos, medidores, relés que no son montados en la puerta de la celda, se deben montar inmediatamente después de la

puerta abisagrada, accesibles para su mantenimiento y de fácil inspección visual.

6.1.7.5 Celda para salida de cables, transformadores de corriente y barras principales

Esta celda debe tener el espacio adecuado para la instalación de los cables de conexión a los motores. Los cables de salida podrán salir tanto por el piso como por el techo del tablero arrancador.

El acceso a esta celda será por la parte posterior del tablero.

6.2 Cálculo Barras o Cables

6.2.1 Elección de los Cables

En la elección de los cables hay que tener presente lo siguiente: nivel de tensión de servicio, carga de corriente, caída de tensión, resistencia al cortocircuito, condiciones mecánicas.

Parcialmente, distintos tipos de cables cumplen los mismos cometidos. En estos casos hay que decidir teniendo en cuenta el precio, la seguridad del servicio y diferencias externas en la estructura de los cables.⁶

Económicamente, la utilización de cables para el circuito de fuerza del tablero arrancador, resulta elevado en comparación con el uso de barras de cobre electrolítico. La diferencia de precios por metro lineal de la barra adecuada para la capacidad de corriente del tablero es mucho más barata que el metro lineal de cable para media tensión.

Este factor predominante, obliga casi siempre a la utilización de barras para el cableado de fuerza del tablero arrancador.

6.2.2 Barras Principales

Son de cobre electrolítico de alta conductividad, montadas en aisladores soportes de poliéster reforzado con fibra de vidrio u otro material equivalente y de-

ben fijarse para soportar los esfuerzos electrodinámicos producidos por una corriente simétrica de corto circuito.

Para el cálculo de las barras se debe tener en cuenta:

- a) La corriente nominal permanente y la temperatura admisible del tablero
- b) La sollicitación dinámica por corto circuito.

De los 2 valores se escoge la sección rectangular normalizada de barras de cobre (ver aplicación en el capítulo 7) para las barras principales.

6.2.3 Barra de Tierra

A lo largo de todo el tablero se instala la barra de tierra de cobre electrolítico, donde se instalan las conexiones de tierra de todos los equipos individuales que conforman el tablero (Tabla N°2).

En los extremos de la barra se instalan los terminales apropiados para instalar la tierra del tablero a la red de tierra del lugar de instalación.

La sección de la barra de tierra se toma normalmente como la mitad de la sección de las barras principales.

CAPITULO 7

APLICACION PARA EL DISEÑO DE UN ARRANCADOR DE UN MOTOR ASINCRONO DE 700 HP - 4.16 kV - 60 Hz USADO PARA BOMBEAR COMBUSTIBLE

7.1 Alcances

Este capítulo cubre los requerimientos de diseño, detalles, componentes principales y equipamiento de un tablero arrancador en media tensión.

El tablero arrancador se empleará para el arranque, protección y control de un motor asíncrono que acciona una bomba centrífuga de 700 HP, empleado en el bombeo de combustible.

7.2 Condiciones Climáticas y Ambientales

El tablero arrancador es para montaje al interior, en una sala cerrada, de las siguientes condiciones climáticas:

Altitud	50 m.s.n.m.
Temperatura ambiente	mínima: +12°C máxima: + 30°C promedio: +21°C
Humedad relativa	90% en 20°C

La atmósfera dentro y fuera de la sala donde se ubicará el tablero arrancador es limpia, no peligrosa.

7.3 Condiciones Nominales para el Diseño

El tablero arrancador es para arranque a tensión reducida, mediante un autotransformador, apropiado para operar en un sistema de:

Tensión nominal	4.16 kV
Frecuencia	60 Hz
Nº fases	3 fases
	neutro puesto a tierra

El arrancador tendrá botoneras de arranque y parada con provisión de borneras para comandar a distancia el motor.

Un circuito auxiliar para probar las lámparas de funcionamiento, en cualquier momento.

Un circuito auxiliar a fin de poder parar el motor en forma automática en situaciones de alta o baja presión de la bomba que acciona el motor. Esta se hará mediante una señal eléctrica proveniente del presostato instalado en la línea de bombeo.

El voltaje nominal del circuito de control será: 125 vcc rectificadas, mediante un rectificador de onda completa en estado sólido (Tabla N°12).

7.4 Cálculo de la Corriente Nominal del Motor

De acuerdo al apéndice N°3, el valor de corriente a plena carga del motor es:

$$I_N = 700 \text{ HP} \times 0.133 \frac{\text{Amp}}{\text{HP}}$$

$$I = 93 \text{ Amp}$$

7.5 Características del Tablero Arrancador

Teniendo en cuenta las condiciones nominales de diseño, el tablero tendrá las siguientes características, según las normas descritas:

Clase de protección (Apéndice N°1)	NEMA 1
Clase de controlador	E2
Tamaño del controlador (Tabla N°4)	H2
Capacidad de interrupción nominal (Tabla N°5)	250 MVA
Tensión de prueba a 60 Hz, 1 minuto (Tabla N°7)	11.36 kV eficaz
BIL (Tabla N°8)	60 kV pico
Tensión de prueba, baja tensión: 60 Hz, 1 minuto	1.25 kV eficaz

7.6 Construcción Mecánica

7.6.1 Estructura

Para un arrancador mediante autotransformador con interruptor principal como medio de aislación consideramos:

a) Cantidad de paneles verticales	3
Ancho de cada panel	900 mm
Altura de cada panel	2000 mm
Profundidad de cada panel	1600 mm

b) Espesor de plancha de acero al carbono SAE 1020
(Plancha comercial "SIDER PERU"), según Tabla N°1.

Bastidor principal	2 mm
Cubiertas laterales	2 mm
Puertas	2 mm
Barreras divisorias	2 mm

c) Acabado del tablero: para un NEMA 1 consideramos:

- . Protección contra corrosión, con un proceso de desengrase, desoxidado y fosfatizado
- . Pintura base a base de polvo de Zn
- . Pintura de acabado a base de resinas epóxicas.

7.6.2 Cálculo de las Barras Principales

a) Solicitud por Corriente Nominal.- Por capacidad de corriente nominal bastaría una barra de sección 15 x 2 mm por línea (transporta 140 Amp, según Apéndice N°4).

b) Solicitud Dinámica por Corto Circuito

- . Para la capacidad de interrupción de 250 MVA

$$I_{CC} = \frac{250 \text{ MVA}}{1.73 \times 4.16 \text{ kV}} = 35 \text{ kA}$$

- . Probemos con barra de Cu: 40 x 5 mm
- . Distancia entre apoyos : l = 70 cm
- . Distancia entre líneas (fases): a = 15 cm
- . Corriente máxima de corto circuito: I_S

$$I_S = \sqrt{2} I_{CC} \times c_1 \quad (7.1)$$

Donde: C_1 = factor de impulso

$C_1 = 1.8$ (valor usual circuito RL)

$$I_s = \sqrt{2} \times 35 \times 1.8$$

$$I_s = 90 \text{ KA}$$

. Fuerza máxima entre barras:

$$F_h = 2 \times 10^{-2} \cdot I_s^2 \times \frac{1}{a} \quad (7.2)$$

$$F_h = 2 \times 10^{-2} \times 90^2 \times \frac{70}{15} = 756 \text{ kg-f}$$

. Esfuerzo de flexión:
$$\sigma_h = \frac{F_h \times l}{12 \times W_x} \quad (7.3)$$

donde $W_x = 1.33$ (Apéndice N°4)

$$\sigma_h = \frac{756 \times 70}{12 \times 1.33} = 3,315 \text{ kg/cm}^2 \quad (1)$$

. Condiciones para el cobre por límites elásticos según DIN 40500/10:

$$\sigma_{0,2} = 2,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{0,2} = 3,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$0.8 \sigma'_{0,2} = 2,700 \text{ kg/cm}^2$$

. Debe cumplirse $0.8 \sigma'_{0,2} \leq \sigma_h \leq 2 \sigma_{0,2}$ (2)

. (2) es la sollicitación para el punto apoyo

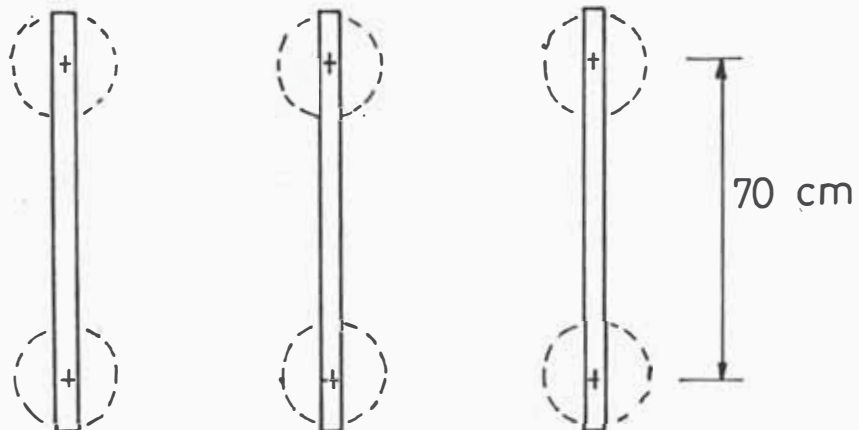
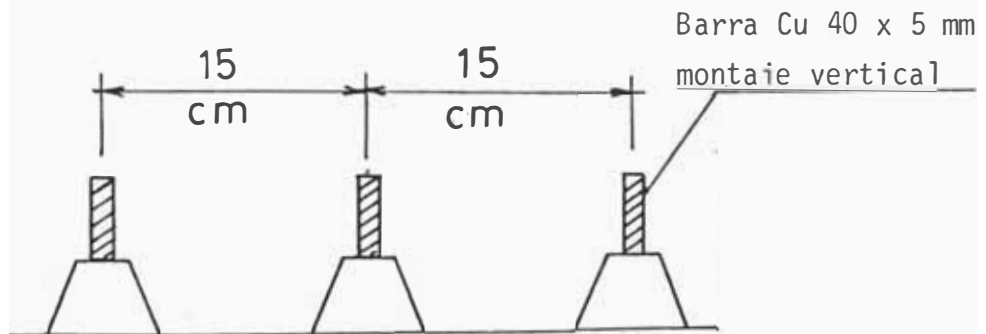
. Comparando (1) y (2) σ_h está de acuerdo pues:

$$2,700 < 3,315 < 4,000 \text{ (conforme)}$$

c) Elegimos para el Diseño:

Barra de Cu: 40 x 5 mm

- . El aislador debe soportar $F_h = 756 \text{ kg}$
- . Espaciamiento entre línea: 15 cm
(Superior al mínimo requerido en la Tabla N°3)
- . Distancia entre aisladores: 70 cm
- . Barras pintadas
- . Disposición montaje barras.-



7.6.3 Barra de Tierra

Para conexión de tierra, desde cada uno de los equipos e instrumentos hacia la barra de tierra, de acuerdo a la Tabla N°2, usar: Cable cobre N°6 AWG.

La dimensión de la barra de tierra según 6.2.3:

Barra de Cu 20 x 5 mm

7.6.4 Disposición Celdas y Medidas Exteriores

(Ver planos mecánicos)

7.7 Equipamiento Principal

7.7.1 Interruptor Principal (Q1)

- Tipo extraíble, interrupción del arco en el aire
- Con accionamiento a motor eléctrico
- Corriente nominal 630 A (según 6.1.1)
- Tensión de utilización 7.2 kV (según 6.1.1)
- Potencia ruptura 250 MVA
- Circuito control 125 Vcc
- Frecuencia 60 Hz

7.7.2 Contactor para el neutro (KM1)

- Ejecución extraíble
- Medio de interrupción del arco SF6
- Categoría de utilización (Tabla N°11) AC-3
- Corriente nominal (según 3.2.5) 400 A
- Tensión utilización (según 3.2.5) 7.2 kV
- Capacidad de interrupción a 4.16 kV 10 KA

- Circuito control 125 Vcc
- 3 posiciones de operación:
conectado, prueba y desconectado
- Provisto con interruptor límite de enclavamiento y juegos de contactos a, b.

7.7.3 Contactor de Arranque (KM2)

- Ejecución extraíble
- Medio de interrupción del arco SF6
- Categoría de utilización AC-3
- Corriente nominal 400 Amp
- Tensión de utilización 7.2 kV
- Capacidad de interrupción a 4.16 kV 10 KA
- Circuito control 125 Vcc
- 3 posiciones de operación:
conectado, prueba y desconectado
- Provisto con interruptor límite de enclavamiento y juegos de contactos a, b

7.7.4 Contactor de Marcha con Fusibles (KM3)

- Ejecución extraíble
- Medio de interrupción del arco SF6
- Categoría de utilización AC-3
- Corriente nominal 200 A
- Tensión de utilización 7.2 kV
- Capacidad de interrupción a 4.16 kV 10 KA
- Circuito control 125 Vcc
- 3 posiciones de operación:
conectado, prueba y desconectado

- Provisto con interruptor límite de enclavamiento y juegos de contactos a, b.

Fusibles: De acuerdo a 5.1.4 el calibre de los fusibles lo seleccionamos en $1.5 I_N$

$$I_{\text{fusible}} = 1.5 \times 93 \text{ Amp}$$

$$I_{\text{fusible}} = 139.5 \text{ Amp}$$

Escogemos el fusible normalizado según Tabla N°14, como sigue:

$$I_N = 160 \text{ Amp}$$

$$V_N = 7.2 \text{ kV}$$

$$\text{Poder ruptura} = 50 \text{ KA}$$

Tipo: De potencia limitador de corriente.

7.7.5 Autotransformador de Arranque (T3)

De acuerdo a la condición de servicio el autotransformador necesario es:

. Servicio mediano	(4.3:4)
. Potencia nominal	700 HP
. TAP de servicio	65%
. Tensión nominal	4.16 kV
. Derivaciones	50% - 65% - 80%
. Corriente en el TAP	300% I_N
	280 Amp
. Frecuencia	60 Hz

7.8 Equipamiento Auxiliar

7.8.1 Transformador de Tensión para Medida (T1)

Usaremos 2 transformadores monofásicos, con lo cual haremos la conexión al sistema trifásico (Delta abierto)

Cada transformador cumplirá:

- . Tipo encapsulado en resina sintética
- . Fusibles incorporados en lado primario
- . Relación de transformación 4160/125 V
- . Clase de precisión (Tabla N°15) 1
- . Potencia nominal 200 VA
- . Frecuencia 60 Hz

7.8.2 Transformador de Control (T2)

- . Monofásico, de potencia
- . Tipo encapsulado en resina sintética
- . Relación de transformación 4160/145V
- . Clase de precisión 3
- . Potencia nominal (estimada) 1 KVA
- . Frecuencia 60 Hz

7.8.3 Rectificador de Onda-completa

- . De estado sólido
- . Voltaje de entrada 145 VCA
- . Voltaje de salida 125 VCC
- . Potencia de salida constante 0.75 KW

7.8.4 Transformador de Corriente (T4)

Se usarán 3 transformadores de corriente, uno por cada línea de alimentación al motor

Cada transformador será de 2 bobinados secundarios, para medición y protección respectivamente, de las siguientes características:

- . Tipo encapsulado en resina sintética
- . Relación de transformación 100/5A-5A
- . Clase de precisión medición (Tabla N°16) 1
- . Clase de precisión protección (Tabla N°16) 5 P10
- . Nivel de tensión 4.16 kV
- . Frecuencia 60 Hz

7.8.5 Transformador Homopolar (T5)

Toroide, con diámetro interior mayor o igual a 100 mm.

- . Tipo encapsulado en resina sintética
- . Corriente primaria 10-35 Amp
- . Señal de corriente secundaria 2-6 Amp

7.9 Sistema de Protección

7.9.1 Relés de Protección

En esta parte del diseño se tendrá en cuenta las recomendaciones técnicas mínimas dispuestas por las normas, así mismo el aspecto económico y las recomendaciones del fabricante del motor.

Para la aplicación práctica del tema, vamos a considerar en el diseño, la protección completa del motor según las funciones y dispositivos detallados en el punto 5.2, incluye también la protección por sondas de temperatura que generalmente es incluida por el fabricante del motor.

La protección del arrancador consta de las siguientes funciones y N° de dispositivo:

a) Relé de Mínima Tensión (27)

- . Protección por caídas de tensión en línea de alimentación, temporizado.
- . Acciona al interruptor principal.

b) Relé de Fase Desbalanceada (46)

- . Protección por pérdida de una fase en la línea que va al motor
- . Saca fuera de servicio al arrancador.

c) Relé de Secuencia Incompleta (48)

- . Protección por paradas en el arranque o aceleraciones prolongadas.
- . Saca fuera de servicio al arrancador.

d) Relé Térmico (49)

- . Protección por sobrecorrientes debido a sobrecargas
- . Saca fuera de servicio al arrancador.

- e) Relé de Sobrecorriente Instantáneo (50)
 - . Protección por bloqueo del motor en funcionamiento
 - . Acciona el interruptor principal.

- f) Relé Sobrecorriente Temporizado a Tierra (51N)
 - . Protección por falla a tierra de una línea de alimentación al motor.
 - . Saca fuera de servicio al arrancador.

- g) Relé de protección de tierra (64)
 - . Sensa una falla de aislamiento del motor con respecto a tierra.
 - . Saca fuera de servicio al arrancador.

- h) Relé de Rearme Manual (69)
 - . Relé auxiliar de rearme manual, sobre el cual accionan todas las señales de falla, previsto por las normas (ver 5.3.1.3)

- i) Relé de Temperatura (49T)
 - . Relé en el cual llegarán las señales eléctricas de las sondas de termistancias instaladas en los devanados del motor.
 - . El ajuste de los valores de temperatura mínimo o máximo la determinará el fabricante del motor.
 - . Saca fuera de servicio al arrancador.

7.9.2 Valores Típicos de Funcionamiento de los Relés

Los valores típicos de funcionamiento de los relés de protección para motores asíncronos en media tensión son:

Función 46	: 0.2 - 0.8 I_N	0.5 - 10 s
Función 48	: 4 - 10 I_N	1 s
Función 49	: 0.85 - 1.15 I_N	10 - 100 s (curvas fabricante)
Función 50	: 2 - 6 I_N	0.1 s
Función 51N	: 10% - 30% I_N	0.1 - 0.3 s
Función 64	: 10% - 40% I_N	0.1 - 0.3 s
Función 27	: 0.8 V_N	0.6 - 6.0 s

El tiempo de arranque promedio es de 10 s.

7.9.3 Condiciones Generales para los Relés

Serán tipo extraíble, con borneras de prueba

Voltaje de operación auxiliar 125 VCC

Juegos de contactos a,b

7.10 Dispositivos de Medida y Mando

- Voltímetro 0-5,000 V, 4160/125 V
- Amperímetro 0-200 A, 100/5 A
- Conmutador voltimétrico
- Conmutador amperimétrico
- Botoneras de mando contactos a
- Botoneras de mando contactos b

- Lámparas señalización color rojo (contactor cerrado)
- Lámpara señalización color verde (contactor abierto)

7.11 Cableado de Control

Usar cable N°14AWG, color blanco y cable N°10 AWG rojo para circuitos de corriente.

7.12 Detalles del Tablero

(Ver esquemas Mecánicos)

7.13 Planos Eléctricos

(Ver esquemas Eléctricos).

CONCLUSIONES

1. La fabricación de arrancadores debe necesariamente, sujetarse a normas internacionales para su aceptación, frente a los mismos productos de importación, que sí cumplen las normas estrictamente.
2. Esta condición obliga a la industria nacional, en el área de la actividad electromécanica, a elaborar estos productos con el grado de calidad requerido, ciñéndose a los requerimientos de fabricación descritas en las normas.
3. El desarrollo de equipos electromecánicos en media tensión, en nuestro medio está en una etapa inicial, en especial los arrancadores, lo cual es un paso importante para el desarrollo tecnológico de esta área.
4. El sometimiento de nuestra industria a las exigencias de las normas internacionales, exige un adecuado control de calidad con el propósito de elaborar un producto competitivo tecnológicamente con productos del mercado internacional. La calidad es un factor primordial para el desarrollo y competitividad de la industria electromecánica y en especial la fabricación de tableros arrancadores en media tensión.

5. Paralelamente a la elaboración de productos competitivos técnicamente, estos deben ser razonablemente baratos, con lo que la aceptación local y del mercado exterior estaría asegurada.
6. Las normas definen características que deben cumplir los arrancadores, por lo tanto, las pruebas señaladas deben realizarse rigurosamente.
7. En nuestro país existe enormes dificultades para la realización de algunas pruebas, especialmente las denominadas "Prototipo", lo que sería un escollo para lograr competir plenamente con los productos de marcas reconocidas que se importan.
8. Las pruebas de "rutina" normalmente se pueden realizar en nuestro medio, por parte de fabricantes de esta actividad. Implementar laboratorios particulares para las pruebas de prototipo es casi imposible por las enormes inversiones.
9. El crecimiento futuro de la fabricación de arrancadores en media tensión, está sujeto a la creación de una institución nacional que esté equipado con los medios necesarios para la realización de las pruebas prescritas por las normas, el aporte de este tema contempla esta necesidad, que ayudará a toda la actividad electromecánica nacional.
10. Algunas pruebas de prototipo se realizan parcialmente en algunas empresas locales. Para la aceptación del tablero arrancador por parte del usuario, se recurre a la aceptación parcial de prueba, realizada a los equipos importados (contactores, in

terruptores, etc.), faltando las pruebas como tablero en conjunto.

11. Señalando estos inconvenientes de prueba, el diseño y fabricación del tablero es factible, su ejecución está siendo aceptada en el mercado nacional y la calidad lograda es competitiva técnicamente, lo cual crea un campo amplio de desarrollo nacional para la actividad electromecánica de arrancadores en media tensión.

BIBLIOGRAFIA

1. Underwriters Laboratories, ANSI/UL - 347, "High Voltage Industrial Control Equipment", 2^a Edición, USA, october 1978.
2. IEEE Transactions on Industry Applications, "Design Considerations in Medium Voltage Starters For Underwriters' Laboratories Standards", Vol 1A - 14, N°2, USA, March/April 1978.
3. ANSI/NEMA, "General Standard For Industrial Controllers And Assemblies" Pub. N°ICS 2, Part ICS 2 - 110, ICS 2 - 214, ICS 2 - 321, ICS 2 - 324, USA, September 1978.
4. International Electrotechnical Commision, IEC - 470, " High Voltage Alternating Current Contactors" 1^a Edición, Geneve-Suisse, 1974.
5. ANSI Standard C 37.2 "Device Function Numbers For Electrical Power System", USA.
6. Manual AEG, "Allgemeine Elektricitats Gesellschaft", Novena Edición, Berlin - Grunewald, 1967.
7. Lipkin, B.YU, "Instalaciones y Equipo Eléctrico para la Industria", Edit. Labor S.A., 1^a Edición, España, Febrero 1978.
8. Telemecanique Electrica, "Concepción de un Automatismo", Edit. Sever - Cuesta, Madrid, 1981.

9. Chilikin, M, "Accionamientos Eléctricos", Edit. Mir, Moscú, 1972.
10. Merlin Gerin, "Coupe - Circuit a Fusibles HT Pour L'Interieur, Protection Des Moteurs 3.6 a 36 KV", Cat. F 3.77, France, 1981.
11. Merlin Gerin, "Circuit - Breakers Solenarc Dsek 630 - 1250 A", Cat. 887000 , France, 1981.
12. Meidensha Electric, "High Voltage Vacuum Contactor", Cat. JA 111 - 1676 G, Japan, 1984.
13. Merlin Gerin, "Rollarc Contactor SF6", Cat.N°E886 885a - E886 883a, France, 1984.
14. CEE, "Motor Protective Relays Medium Voltage", Cat. ITM 7800, France.
15. BBC, "Reles de Protección" Boletin 7.0.2.0 - A (S), USA