

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



DISEÑO DE TABLEROS ELÉCTRICOS DE CONTROL Y FUERZA PARA ARRANQUE DE MÁQUINAS ROTATIVAS

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

ADOLFO ALEJANDRO CORDOVA PEÑA

**PROMOCIÓN
2002- I**

**LIMA – PERÚ
2010**

**DISEÑO DE TABLEROS ELÉCTRICOS DE
CONTROL Y FUERZA PARA ARRANQUE DE
MÁQUINAS ROTATIVAS**

Agradezco primeramente a mis padres, a mis hermanos y a todas las personas cercanas que han contribuido en mi crecimiento profesional.

SUMARIO

El presente informe de suficiencia analiza el Diseño de Tableros de Control Industrial en los diferentes tipos de motores y máquinas rotativas, va desde el estudio conceptual de las máquinas eléctricas en el capítulo I hasta el diseño de sus tableros de control preparados para una posible automatización.

En el capítulo II se ha realizado algunas transcripciones las más importantes del Código Nacional de Electricidad – Utilización para el dimensionamiento de los cables y la protección eléctrica. El tablero convencional de arranque directo, arranque estrella triángulo será analizado en el capítulo III y se le agregará algunos cambios en el esquema de control. El capítulo IV mostrará el control de arranque de un motor de anillos rozantes.

El capítulo V analizará el sistema contra incendios y en forma minuciosa el tablero de control de arranque de la bomba contra incendio.

En los capítulos VI y VII y se analizará esquemas de control y fuerza de variador de velocidad y arrancador estático. Cada capítulo muestra un contenido teórico y práctico desde un punto de vista de la experiencia en distintas aplicaciones en la industria.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN A LOS MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS	
1.1 La Máquina Síncrona Trifásica	2
1.1.1 Motor	6
1.1.2 Generador	7
1.2 La Máquina Asíncrona (De inducción) Trifásica, Monofásica	9
1.2.1 Motor	9
1.2.2 Generador	19
1.3 La máquina de Corriente Continua	20
1.3.1 Generador DC	20
1.3.2 Motor DC	22
CAPÍTULO II	
REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN	
2.1 Definición	24
2.2 Código Nacional de Electricidad - utilización	24
2.3 Normativas en los tableros de Control Eléctrico Industrial	25
2.4 Otras Normas Internacionales	28
CAPÍTULO III	
CONTROL PARA EL ARRANQUE DEL MOTOR DE JAULA DE ARDILLA	
3.1 Descripción	32
3.2 Clasificación	33
3.3 Condiciones de Operación	36
3.4 Esquemas de Mando y Fuerza	52
3.5 Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos	57
CAPÍTULO IV	
CONTROL ARRANQUE EN EL MOTOR ANILLOS ROZANTES	
4.1 Descripción	62

4.2	Clasificación	63
4.3	Condiciones de Operación	65
4.4	Esquemas de Mando y Fuerza	67
4.5	Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos	69
CAPÍTULO V		
CONTROL ARRANQUE BOMBAS CONTRA-INCENDIO		
5.1	Descripción Sistemas Bombas Contra Incendio	71
5.2	Normativa en Bombas Contra Incendio NFPA	73
5.3	Condiciones de Operación	77
5.4	Esquemas de Mando y Fuerza	78
5.5	Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos	79
CAPÍTULO VI		
DESCRIPCIÓN DE VARIADORES DE VELOCIDAD		
6.1	Descripción Variadores de Velocidad INVT	82
6.2	Aplicación del Inversor INVT en Media Tensión	85
6.3	Esquemas Eléctricos de Mando y Fuerza en Motores Eléctricos	98
6.4	Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos	97
CAPÍTULO VII		
ARRANCADORES ESTÁTICOS		
7.1	Descripción	99
7.2	Aplicaciones	99
7.3	Esquemas Eléctricos de Mando y Fuerza	103
7.4	Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		108
ANEXOS		109
BIBLIOGRAFÍA		114

PRÓLOGO

El propósito del informe es analizar el diseño de los tableros de control y arranque en motores eléctricos desde un punto de vista teórico práctico, donde se observará tableros convencionales con modificaciones en su esquema teniendo como objetivo dejar listo el control para una posterior automatización en el caso del arranque del motor de jaula de ardilla.

En el análisis de los tableros de bomba contra incendio tiene como objetivo definir la lógica de control de dicho sistema partiendo de la norma NFPA, la empresa donde se realiza este trabajo CORPORACIÓN LOGÍSTICA RAYO DOBLE se basa el control solamente en la norma.

El estudio de los variadores de velocidad y arrancadores tiene como objetivos mostrar las diferentes formas en que se puede plantear el arranque de un motor eléctrico, las nuevas tecnologías hacen más fácil el trabajo y define nuevos esquemas de mando. La empresa ENCOINGENIEROS SAC realiza trabajos basándose en innovación tecnológica con variadores de velocidad y arrancadores estáticos, control con PLCS.

Los tableros convencionales, las nuevas tecnologías y los PLCs tienen que coincidir y adecuarse a las necesidades de las diferentes empresas incidiendo en el costo de instalación de nuevos equipos más modernos y con gran ventaja de utilización.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LOS MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS

1.1 La Máquina Síncrona Trifásica

Una máquina eléctrica es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en otra energía, o bien, en energía eléctrica pero con una presentación distinta, pasando esta energía por una etapa de almacenamiento en un campo magnético.

Se clasifican en tres grandes grupos: generadores, motores y transformadores. Los generadores transforman energía mecánica en eléctrica, mientras que los motores transforman la energía eléctrica en mecánica haciendo girar un eje. El motor se puede clasificar en motor de corriente continua o motor de corriente alterna. Los transformadores y convertidores conservan la forma de la energía pero transforman sus características.

Una máquina eléctrica tiene un circuito magnético y dos circuitos eléctricos. Normalmente uno de los circuitos eléctricos se llama excitación, porque al ser recorrido por una corriente eléctrica produce las ampervueltas necesarias para crear el flujo establecido en el conjunto de la máquina.

Desde una visión mecánica, las máquinas eléctricas se pueden clasificar en rotativas y estáticas. Las máquinas rotativas están provistas de partes giratorias, como las dinamos, alternadores, motores. Las máquinas estáticas no disponen de partes móviles, como los transformadores.

En las máquinas rotativas hay una parte fija llamada estator y una parte móvil llamada rotor. Normalmente el rotor gira en el interior del estator. Al espacio de aire existente entre ambos se le denomina entrehierro. Los motores y generadores eléctricos son el ejemplo más simple de una máquina rotativa.

El informe se centrará principalmente en los motores eléctricos, donde presentaremos otras clasificaciones según se irá dando. Una de las diferentes clasificaciones generales de las máquinas eléctricas es como el cuadro que se muestra a continuación, donde está incluido el transformador, la dinamo y el motor de corriente continua, también hay otras clasificaciones que mostraremos a continuación.

Clasificación de los Motores Eléctricos

Un motor eléctrico es esencialmente una máquina que convierte energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, a través de medios electromagnéticos. Debido a que son muchos y variados los tipos de motores eléctricos, existen numerosas formas de catalogarlos. A continuación se muestran algunas de las formas más usuales:

- a) Por el número de fases en su alimentación [véase Tabla N° 1. 1]
- b) Por su alimentación eléctrica [véase Tabla N° 1. 2]
- c) Por su sentido de giro [véase Tabla N° 1.3]
- d) Por su flecha [véase Tabla N° 1.4]
- e) Por su ventilación [véase Tabla N° 1.5]
- f) Por su carcasa [véase Tabla N° 1.6]
- g) Por la forma de sujeción [véase Tabla N° 1.7]
- h) Clasificación Universal Maquinas Eléctricas [véase Tabla N° 1.8]

Tabla N° 1.1 Clasificación por el número de fases en su alimentación [9]

Tipo	Número de Fases	Rotor	Característica
Motores Eléctricos	Monofásico 01 Fase	Rotor Devanado	Tienen problemas para arrancar
		Repulsión	
		Jaula Ardilla	Tienen devanado de arranque
		Fase Partida	
		Fase Partida con condensador	Tienen devanado de trabajo
		Polo de sombra	
	Histéresis		
	Bifásico 02 fases	Rotor Devanado	Solo tienen devanado de régimen o trabajo
		Jaula Ardilla	No tienen devanado de arranque
	Trifásico 03 fases	Rotor Devanado	Solo tienen devanado de régimen o trabajo
Jaula Ardilla		No tienen devanado de arranque	

El número de fases en un motor eléctrico nos definirá el tipo de control a diseñar en motores monofásicos (01 fase) y en motores trifásicos (03 fases).

Tabla N° 1.2 Clasificación por su alimentación eléctrica [9]

Tipo	Fuente Energía	Característica
Motores Eléctricos	Corriente Alterna	La corriente varía con el tiempo
	Corriente Directa	La corriente no varía con el tiempo
	Universales	Son de velocidad variable

Tabla N° 1.3 Clasificación por su sentido de giro [9]

Tipo	Giro
Motores Eléctricos	Sentido Horario
	Sentido Anti-horario

Tabla N° 1.4 Clasificación por su flecha [9]

Tipo	Flecha
Motores Eléctricos	Flecha solida
	Flecha hueca

Tabla N° 1.5 Clasificación por su ventilación [9]

Tipo	Ventilación
Motores Eléctricos	Ventilados
	Auto-ventilados en el rotor

Tabla N° 1.6 Clasificación por su carcasa [9]

Tipo	Carcasa
Motores Eléctricos	Cerrada
	Abierta
	A prueba de goteo
	A prueba de explosión
	Sumergible

Tabla N° 1.7 Clasificación por su forma de sujeción [9]

Tipo	Enganche
Motores Eléctricos	Brida lateral
	Brida frontal

Tabla N° 1.8 Clasificación Universal Máquinas Eléctricas [9]

MÁQUINAS ELÉCTRICAS		
Máquinas de Corriente Alterna	El Transformador	Conceptos Previos
		Monofásico
		Trifásico
		Acoplamiento
	Síncronas	Conceptos Previos
		El Alternador
		Acoplamiento de la Máquina Síncrona
		Acoplamiento de Alternadores
		El Motor Síncrono
	Asíncronas	Conceptos Previos
		El Motor Trifásico
		El Motor Trifásico: Circuito Equivalente
		Reducción del rotor al estator.
		Par de Rotación en un Motor Asíncrono
		Par de Rotación de la M. Asíncrona
		Ensayo en Vacío y en Cortocircuito
		Arranque del Motor
	Motor Monofásico	
	Máquinas de Corriente Continua	La Dínamo El Motor de CC
Estructura de la Máquina de CC		
La Dínamo		
Reacción Inducido, Conmutación		
La Dínamo: Sistemas de Excitación		
El Motor: Par, F_{cem}		
El Motor: Sistemas de Excitación		

1.1.1 Motor

Una motor o máquina síncrona es una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna cuya velocidad de giro en régimen permanente está ligada con la frecuencia de la tensión en bornes y el número de pares de polos. A continuación explicaremos de forma más detallada la teoría de máquina síncrona.

Conceptos Previos Para Máquinas Rotativas de C. A.

A continuación demostraremos como se origina un campo magnético giratorio en las bobinas de las máquinas eléctricas de c. a. rotativas, tanto para el caso de una distribución sinusoidal del campo magnético en el entrehierro, Teorema de Ferraris, o una distribución uniforme del campo magnético en el entrehierro, Teorema de Leblanc. Estos campos magnéticos giratorios son los que dan lugar al par resistente en los generadores y al par motor en los motores.

Teorema de ferraris

“Un arrollamiento polifásico que tenga p pares de polos y este recorrido por corrientes polifásicas equilibradas de pulsación w produce p pares de polos ficticios que la deslizan, con velocidad angular w/p a lo largo del arrollamiento sin sufrir modificaciones”

Sistema trifásico

Consideremos un devanado trifásico recorrido por un sistema trifásico equilibrado de corrientes. En las máquinas de CA el campo magnético H en el entrehierro tiene una distribución sinusoidal, entonces vamos a hallar el valor del campo H en el punto P , tomando como origen de espacios un punto O sobre el eje de la bobina 1.

$$\text{Corrientes por cada fase} \begin{cases} i_1(t) = I\sqrt{2} \cos(\omega t) \\ i_2(t) = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ i_3(t) = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{cases} \quad (1.1)$$

$$\text{Campo magnético en P debido a cada fase} \begin{cases} h_1(\theta, t) = H_m \cos(\omega t) \cos(p\theta) \\ h_2(\theta, t) = H_m \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \cos(p\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ h_3(\theta, t) = H_m \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \cos(p\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\text{Campo magnético en P resultante} \begin{cases} h(\theta, t) = h_1(\theta, t) + h_2(\theta, t) + h_3(\theta, t) \\ h(\theta, t) = \frac{3}{2} H_m \cos(p\theta - \omega t) \end{cases} \quad (1.3)$$

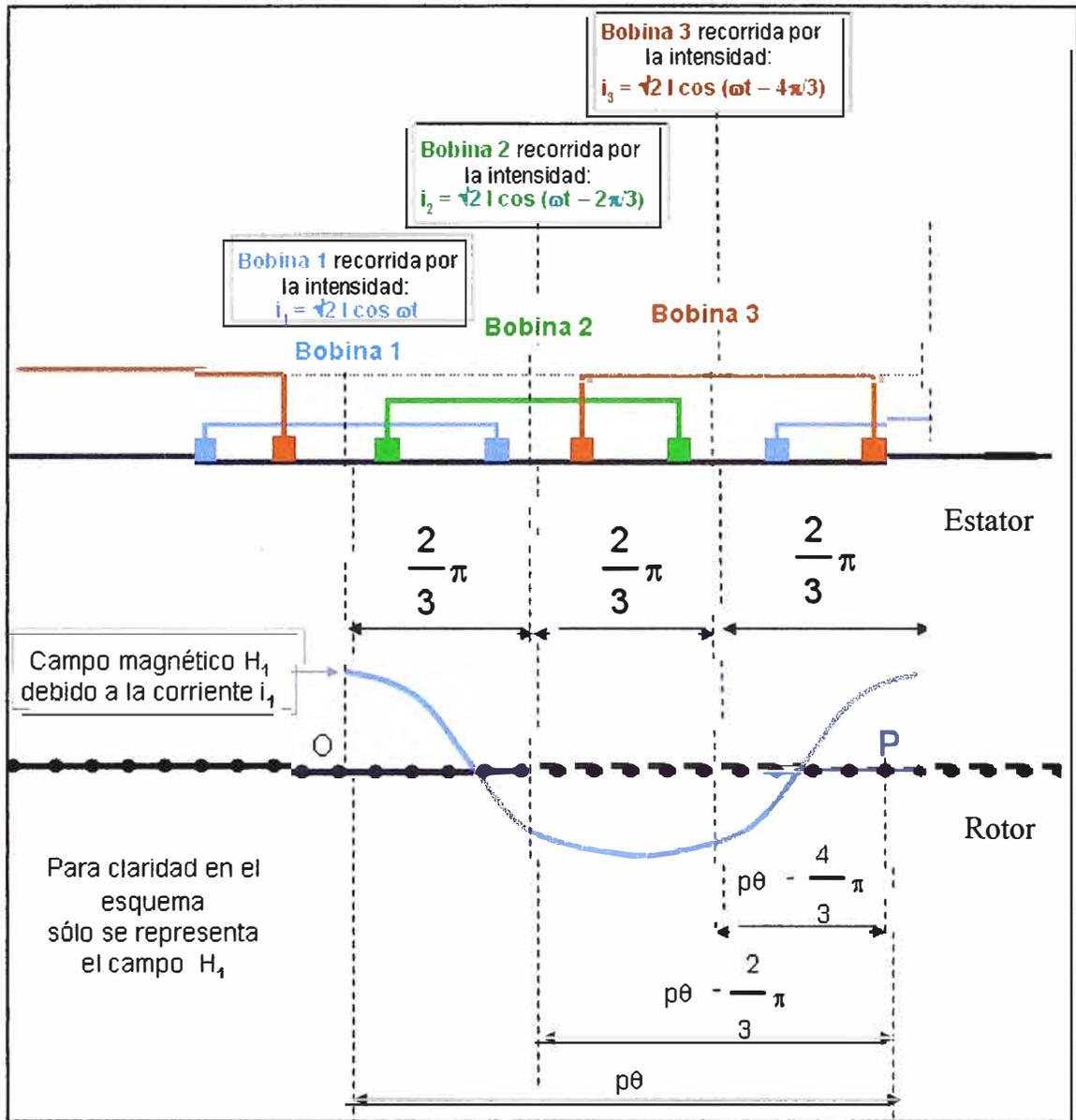


Fig. 1.1 Campos magnéticos en el estator y el rotor

En las ecuaciones anteriores nos dicen que el campo magnético h tiene un valor 0 en el instante inicial de $3/2Hm$ y tendrá el mismo valor en el punto P en el instante que $PQ = \omega t = 0$, es decir que en un tiempo tal que:

$$t = \frac{\theta}{\omega/p} \quad (1.4)$$

Luego su velocidad angular es ω/p .

1.1.2 Generador

Un generador es una máquina eléctrica capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante electromagnética. Los alternadores están fundados en el principio de que en un conductor sometido a un campo

magnético variable se crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y su valor del flujo que lo atraviesa.

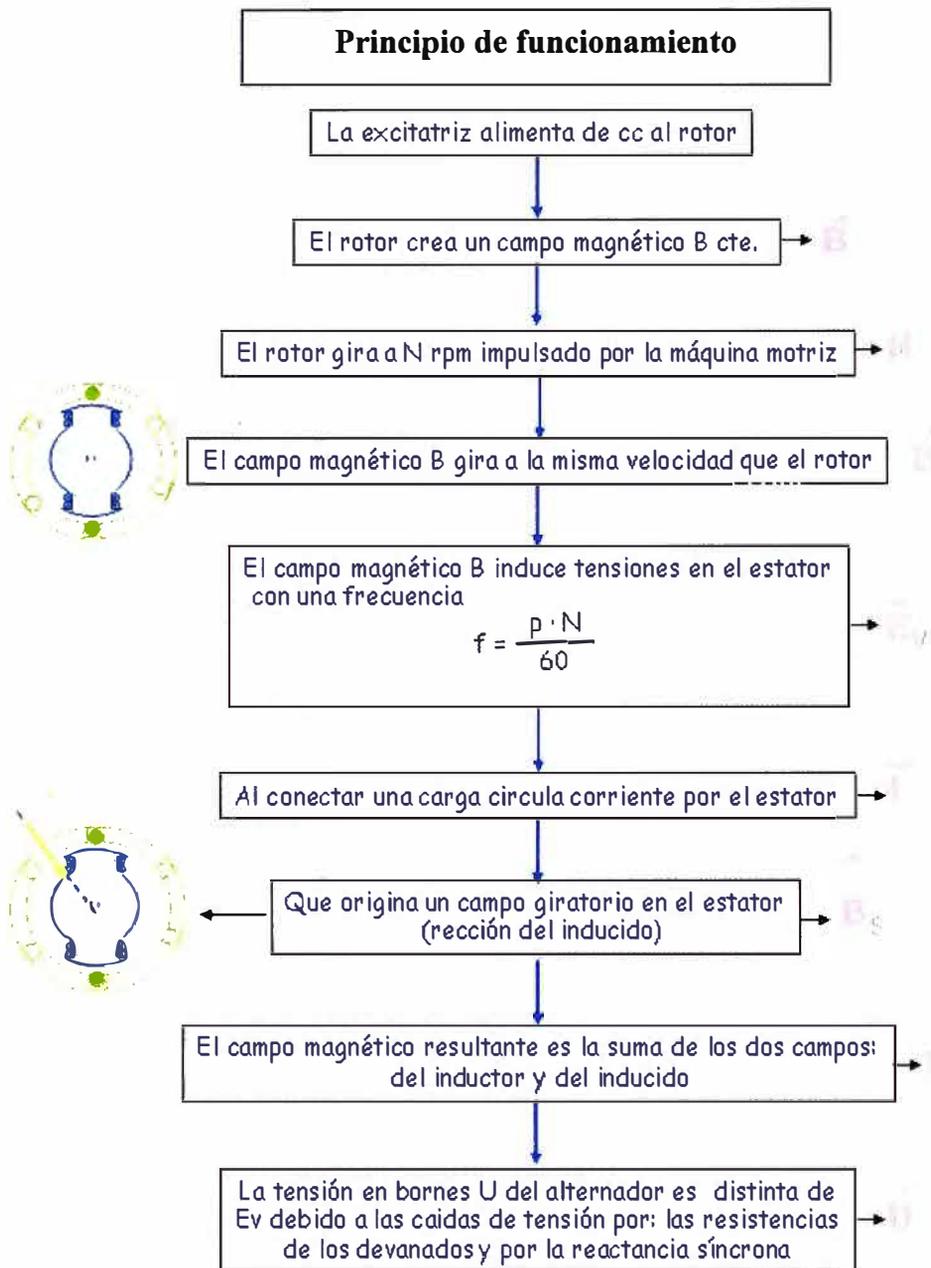


Fig. 1.2 Principio funcionamiento alternador trifásico

El Generador Elemental

Sabemos que se puede producir electricidad haciendo que un conductor atraviese un campo magnético. Este es el principio de producción de corriente de cualquier generador dinamo - eléctrico, desde el más pequeño hasta los gigantes que producen miles de kilovatios de potencia. Con el fin de comprender mejor el funcionamiento de los generadores prácticos, examinemos un generador elemental compuesto por un conductor y

un campo magnético para observar como puede producir electricidad aprovechable. Una espira girando a velocidad angular ω en el interior de un campo magnético uniforme como en el de la figura, genera una f.e.m. de valor:

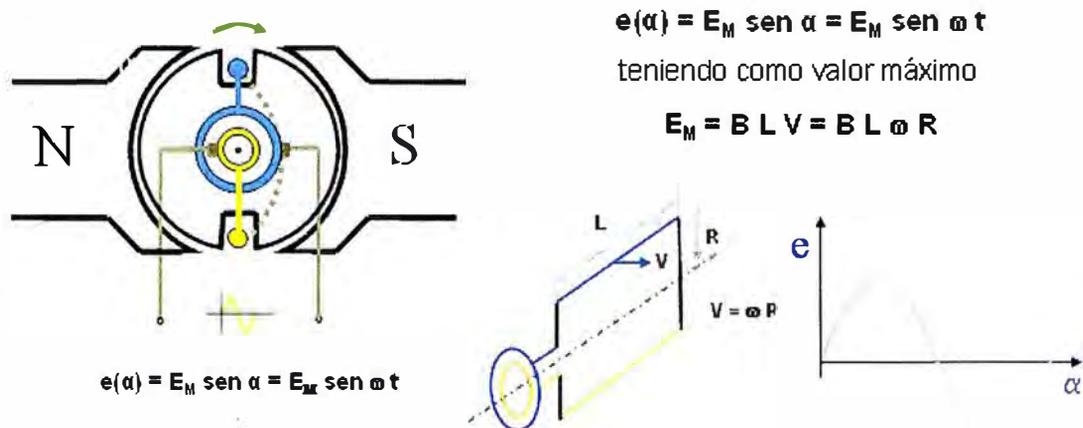


Fig. 1.3 Esquema explicativo generador síncrono

1.2 La Máquina Asíncrona (De inducción) Trifásica, Monofásica

1.2.1 Motor

Definiremos todos los conceptos y estudios de los Motores Eléctricos Trifásicos.

a) Símil del Motor Asíncrono y Síncrono

Si hacemos girar un imán en forma de U a la velocidad N_s alrededor de una aguja imantada, esta girará a una velocidad $N_1 = N_s \rightarrow$ motor síncrono.

Si hacemos girar un imán en forma de U a la velocidad N_s alrededor de una masa circular metálica, esta girará a una velocidad $N_2 < N_s \rightarrow$ motor asíncrono.

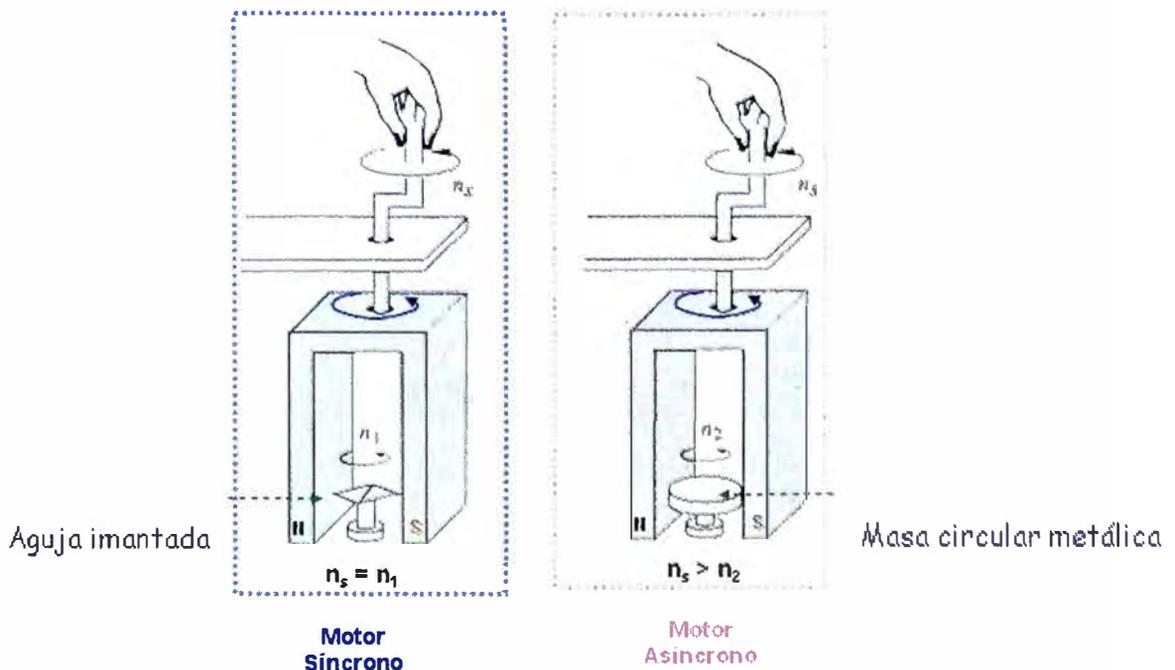


Fig. 1.4 Similitud entre el motor síncrono y el motor asíncrono

b) Principio de Funcionamiento

Para explicar el principio de funcionamiento de un motor asíncrono trifásico, nos vamos a servir del siguiente símil. Supongamos que tenemos un imán moviéndose a lo largo de una escalerilla conductora tal y como se indica en la figura adjunta. Este imán en su desplazamiento a velocidad v provoca una variación de flujo sobre los recintos cerrados que forman los peldaños de la escalera. Esta variación de flujo genera una f.e.m., definida por la ley de Faraday $e = -(\frac{d\phi}{dt})$, que a su vez hace que por dichos recintos circule una corriente. Esta corriente eléctrica provoca la aparición de una fuerza sobre la escalera definida por $F = I \times L \times B$ que hace que la escalera se desplace en el mismo sentido que lo hace el imán.

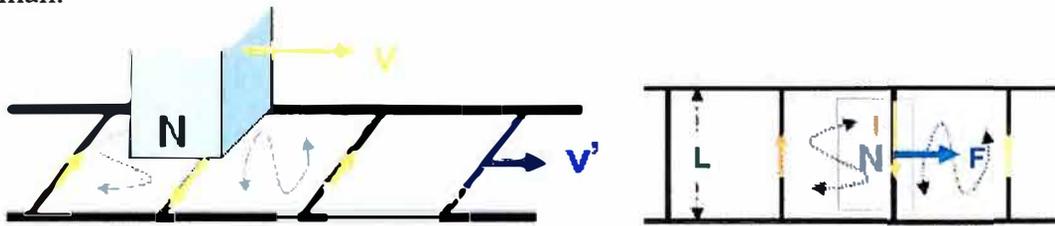


Fig. 1.5 Imán moviendo en una escalera conductora

La escalera nunca podrá desplazarse a la velocidad del imán, pues en el supuesto caso de que se desplazase a la misma velocidad que el imán, la variación de flujo sobre los recintos cerrados sería nula y por lo tanto la f.e.m. inducida también y por lo tanto la fuerza resultante también sería nula.

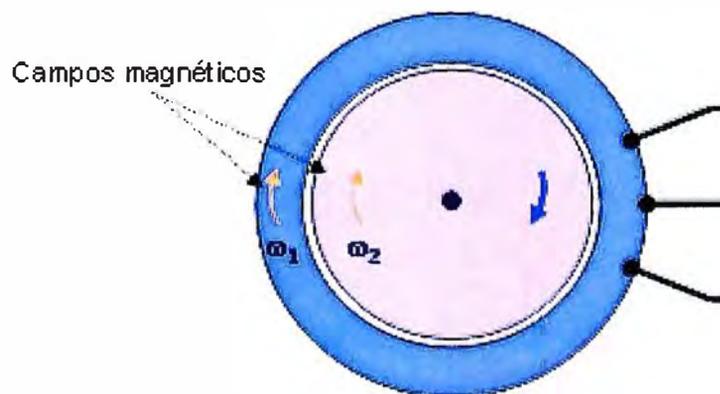


Fig. 1.6 Campos magnético motor asíncrono

En un motor asíncrono la escalera es el desarrollo lineal del rotor y el campo magnético que se desplaza es originado por un sistema trifásico de corrientes que circulan por el estator (Teorema de Ferraris).

c) Constitución de la Máquina Asíncrona Trifásica

La figura 1.7 muestra la carcasa y el estator del motor de jaula de ardilla.

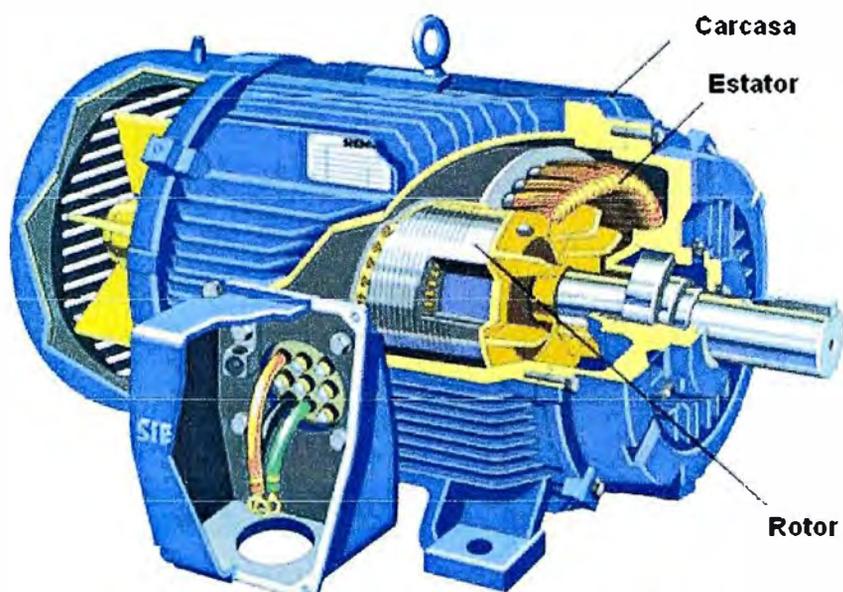


Fig. 1.7 Partes del motor de jaula de ardilla

En la siguiente animación podemos observar como el campo magnético giratorio del estator, creado por el sistema de corrientes trifásicas R S T, y que gira a la velocidad N_S corta los conductores del rotor, que gira a una velocidad $N_R < N_S$ (N_S flecha rosa, N_R punto verde)

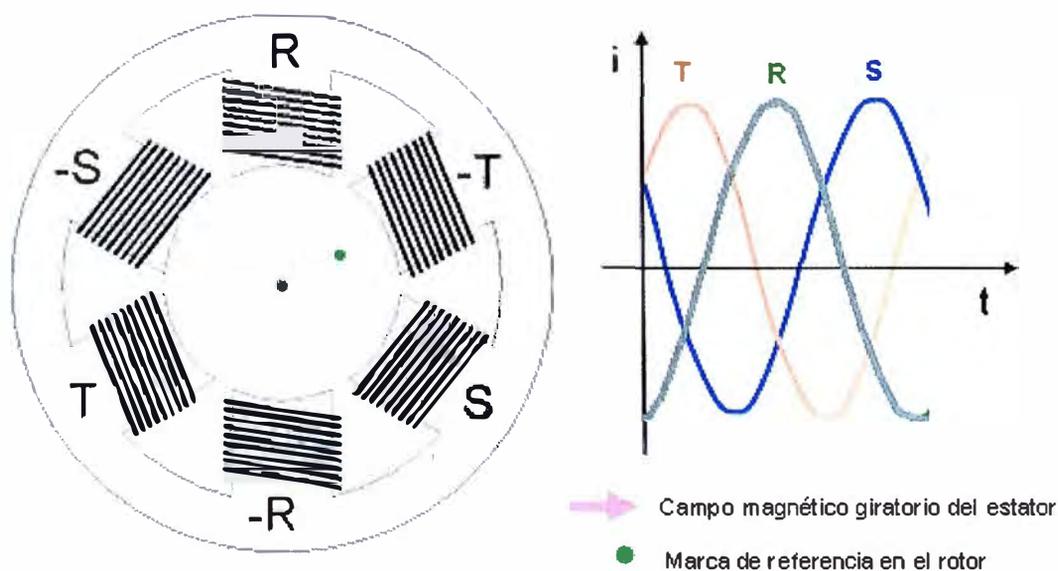


Fig. 1.8 Campo magnético giratorio del estator

En la figura 1.8 describimos la máquina eléctrica en su parte del estator y rotor bobinado y jaula de ardilla. Mostramos esquemas gráficos y textos explicativos. El estator con su devanado trifásico y su desfase de 120 grados así como la forma en esquema de los conductores en un rotor de jaula de ardilla.

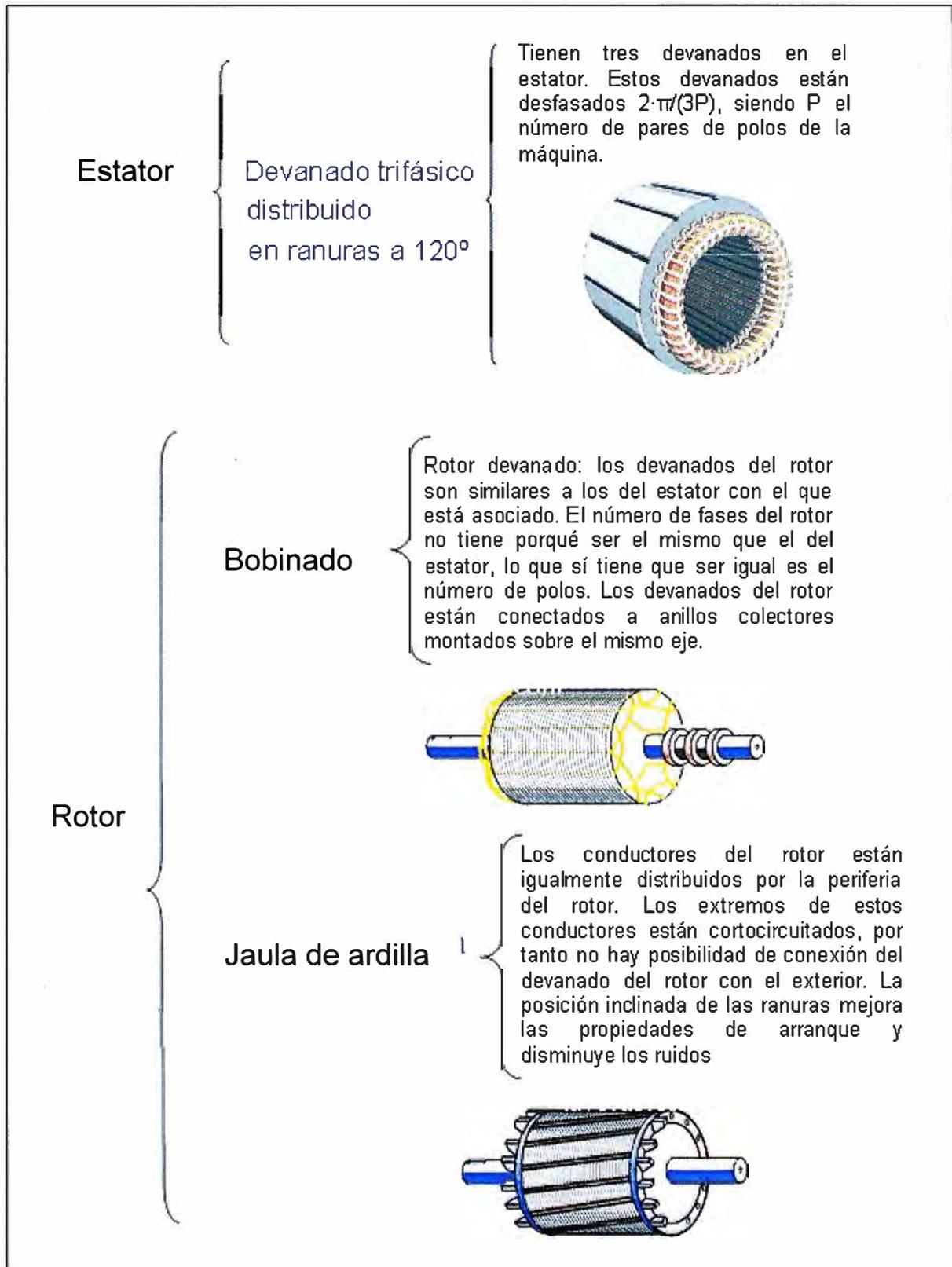


Fig. 1.9 Estator y rotor motor asíncrono

d) Motor con Rotor Bobinado

En el motor de rotor bobinado tal como se muestra en la figura 1.10 observamos lo siguiente.

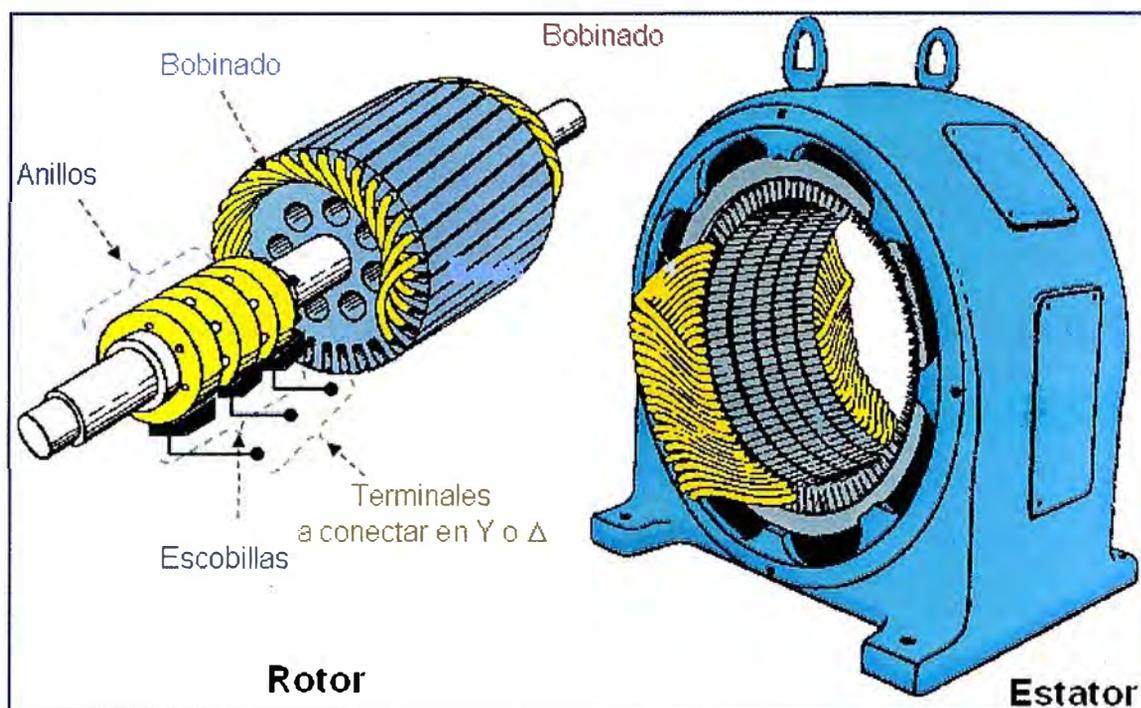


Fig. 1.10 Motor con rotor bobinado

e) **Motor con Rotor en Jaula de Ardilla**

Un motor AC de jaula de ardilla se refiere a un motor eléctrico que está equipado con un rotor de jaula de ardilla.

Se caracterizan por una estructura simple, poco ruido, baja vibración, peso ligero y alta fiabilidad. Los fabricantes profesionales de motores eléctricos, pueden proporcionar principalmente dos tipos de motores de jaula de ardilla: motores asincrónicos de corriente alterna y motores asincrónicos de corriente alterna y frecuencia variable.

A la luz de estos, los motores AC de jaula de ardilla son ampliamente utilizados en el mercado internacional, incluidos países como China, Estados Unidos, Italia, Brasil, Rusia, India y Sudán, y más. A continuación detallaremos acerca de nuestros motores AC de jaula de ardilla. La velocidad de rotación del campo magnético o velocidad de sincronismo está dada por:

$$\eta_{sinc} = \frac{60 \text{ frecuencia eléctrica}}{\# \text{ polos}} \quad (1.5)$$

En la figura 1.11 presentamos las fotografías de un motor de jaula de ardilla real mostrando cada una de sus partes, las tres primeras corresponden a un corte interior en el motor eléctrico, en las demás figuras muestran las partes del motor eléctrico en modo esquemático según la figura.

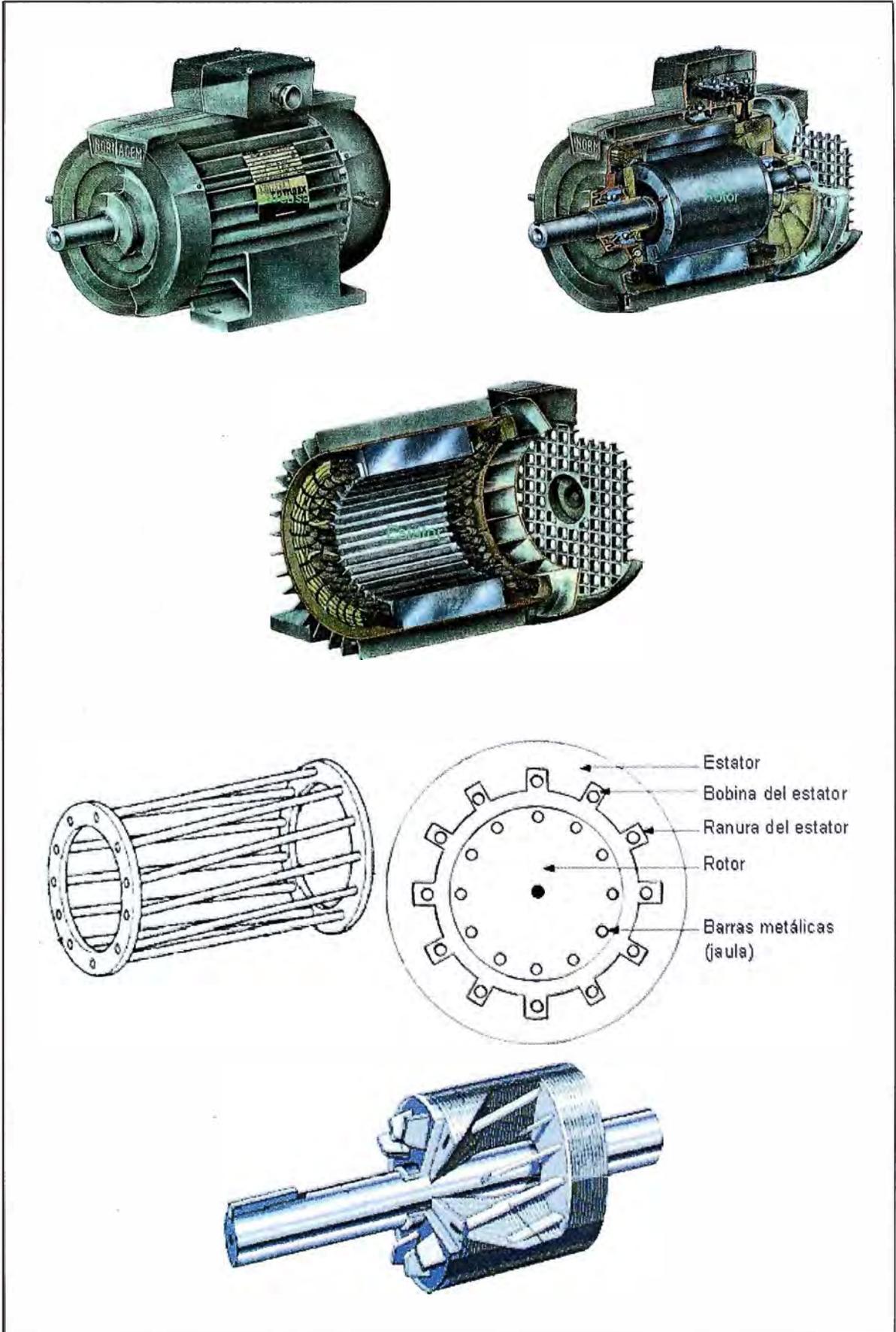


Fig. 1.11 Partes del Motor con rotor de jaula de ardilla

f) Motor con Rotor en Doble Jaula de Ardilla

El rotor en estos motores está constituido por dos jaulas, una externa, de menor sección, y material de alta resistividad, y otra interna de mayor sección y material de baja resistividad. Ambas jaulas están separadas entre si en cada ranura por medio de una delgada rendija que aumenta el flujo de dispersión en la jaula inferior. De este modo se consigue una jaula exterior de alta resistencia y baja reactancia y una jaula interior de baja resistencia y alta reactancia.

En el arranque (la reactancia predomina sobre la resistencia, pues f es grande) la corriente fluye en su mayor parte por la jaula exterior.

A la velocidad nominal (la resistencia predomina sobre la reactancia, pues f es muy pequeña) la corriente en su mayor parte por la jaula interior (menor resistencia).

Con todo esto se consigue que en el arranque la resistencia sea alta, lo que indica alto par de arranque y baja intensidad, y a la velocidad nominal, como la resistencia es baja, se tiene un buen rendimiento.

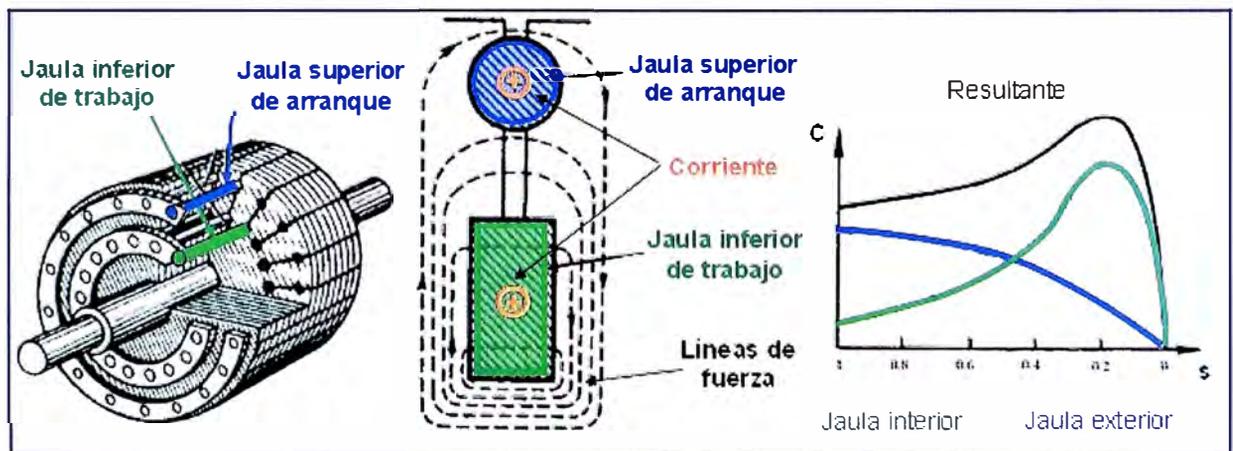


Fig. 1.12 Rotor en doble jaula de ardilla

g) Motor con Rotor de Ranuras Profundas

Los motores de ranura profunda tiene una jaula cuyos conductores tienen una forma tal que su parte inferior presenta pequeña resistencia y alta autoinducción y la parte superior presenta alta resistencia y baja autoinducción. Para ello las barras se construyen más estrechas cerca de la boca de la ranura que en el fondo. El comportamiento de estos motores por lo tanto es similar al de los motores de doble jaula en el arranque la corriente se concentra en la parte superior de los conductores y en marcha normal la corriente circula preferentemente por la parte inferior, consiguiéndose así un elevado par de torque.

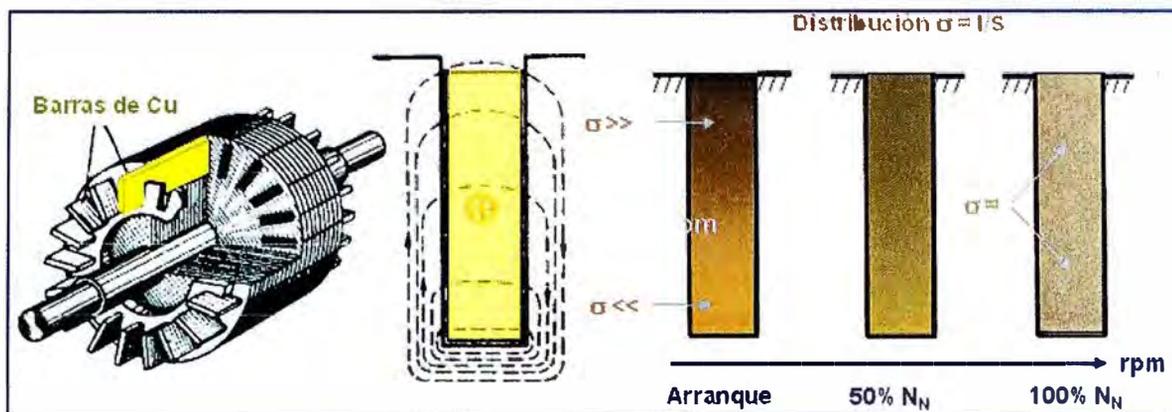


Fig. 1.13 Rotor con ranuras profundas

h) Par en los Motores de Jaula de Ardilla

Gráfica de la curva de torque en los distintos tipos de motores eléctricos.

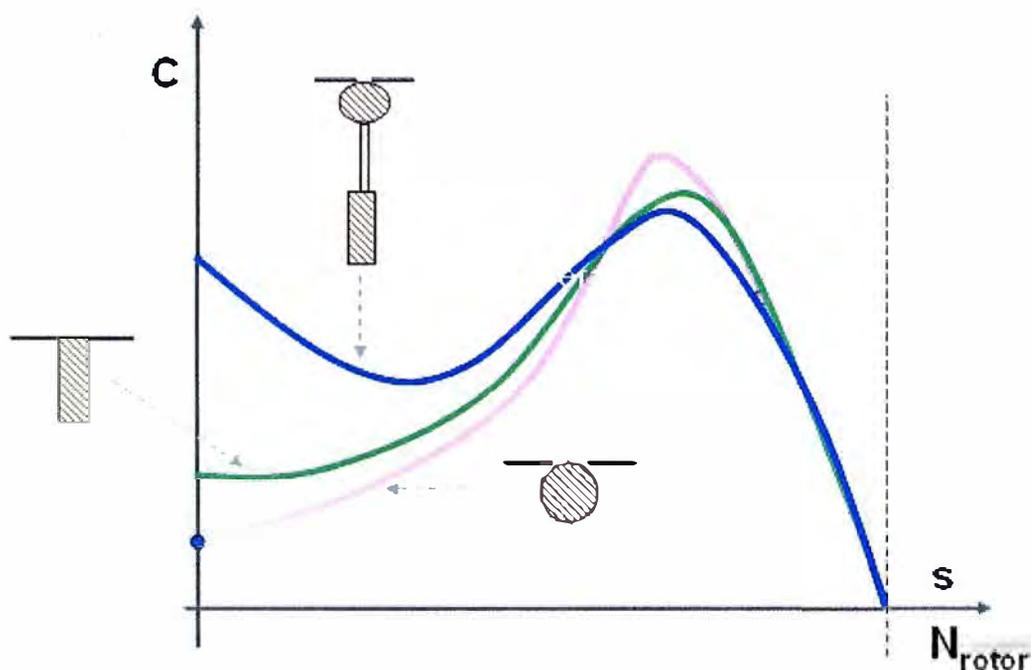


Fig. 1.14 Gráfica del torque en el motor de jaula de ardilla

Tabla N° 2. 10 Relación de corrientes de arranque y Corrientes nominales [9]

Motor jaula normal		Motor doble jaula		Motor con ranura profunda	
I _{arrq} /I _n	M _{arrq} /M _n	I _{arrq} /I _n	M _{arrq} /M _n	I _{arrq} /I _n	M _{arrq} /M _n
4-7	0.8- 1.2	3.3-5.5	1-2	4-4.8	1.2- 1.5

Fotografías de motores eléctricos y su estructura interna.

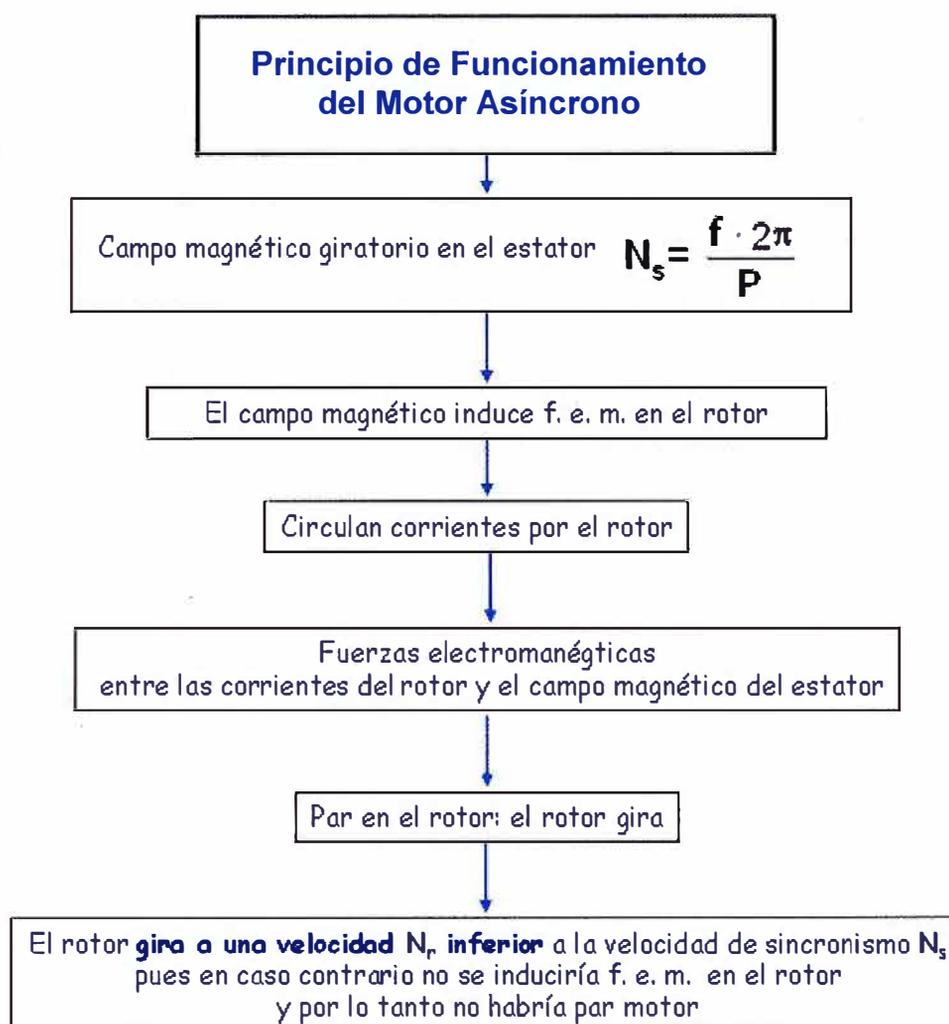


Fig. 1.16 Cuadro del principio de funcionamiento del motor asíncrono

i) Conexión de los Devanados y sentido de Giro del motor

Los motores tienen en sus bobinas la siguiente conexión en sus devanados.

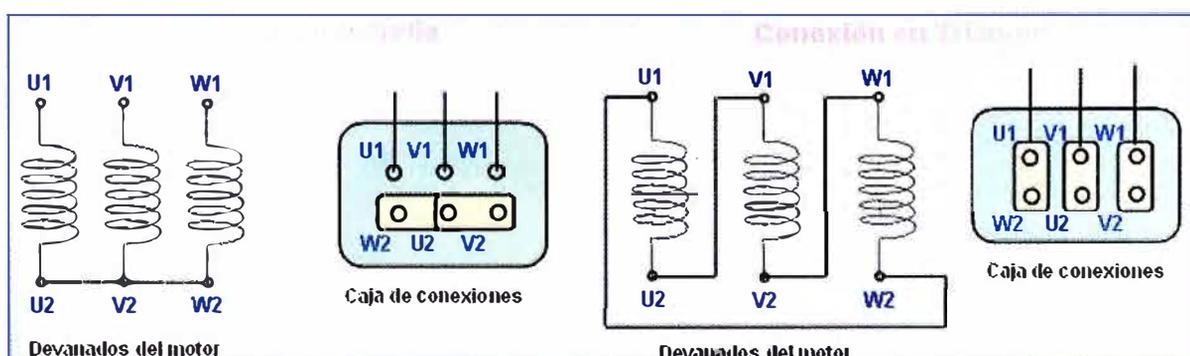


Fig. 1.17 Conexionado motor asíncrono jaula ardilla

Intercambiando las fases cambia el sentido de giro del campo magnético del estator y por lo tanto el sentido de giro del rotor.

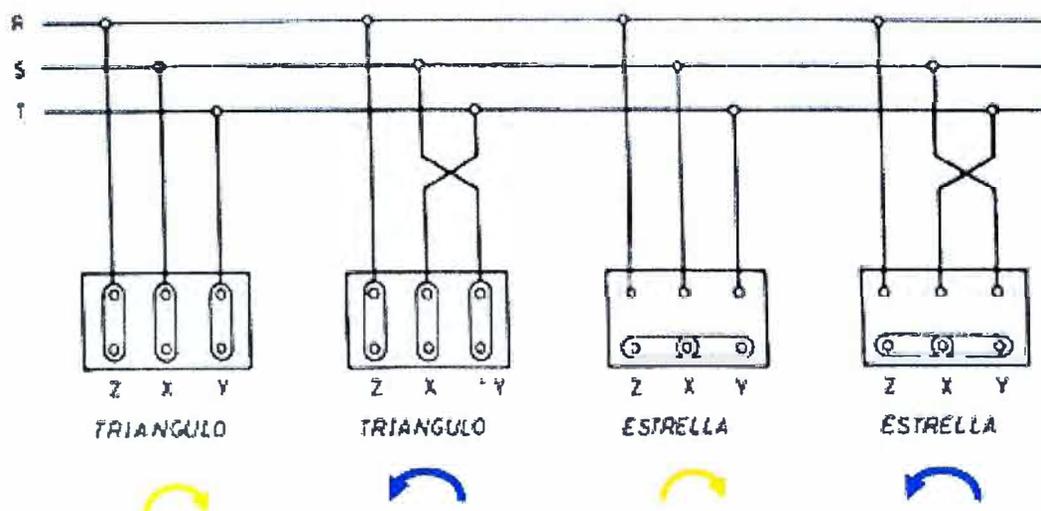


Fig. 1.18 Cambio de giro motor asíncrono

1.2.2 Generador

Corresponde a velocidades superiores a la del sincronismo, lo que comporta deslizamientos negativos. En este caso el par desarrollado por una máquina asíncrona se convierte en par frenado respecto al rotor.

Se puede disponer de un generador asíncrono trifásico disponiendo de un motor asíncrono trifásico acoplado, por ejemplo, un motor a explosión. Se conecta la máquina a una red trifásica y se arranca como motor arrastrando a motor de explosión llegando a una velocidad de régimen próxima a la del sincronismo. A continuación se arranca el motor de explosión y una vez que, debido al motor de explosión el sistema supere la velocidad de sincronismo, la máquina asíncrona se convertirá en generador, cediendo potencia activa al sistema trifásico al que esta conectada.

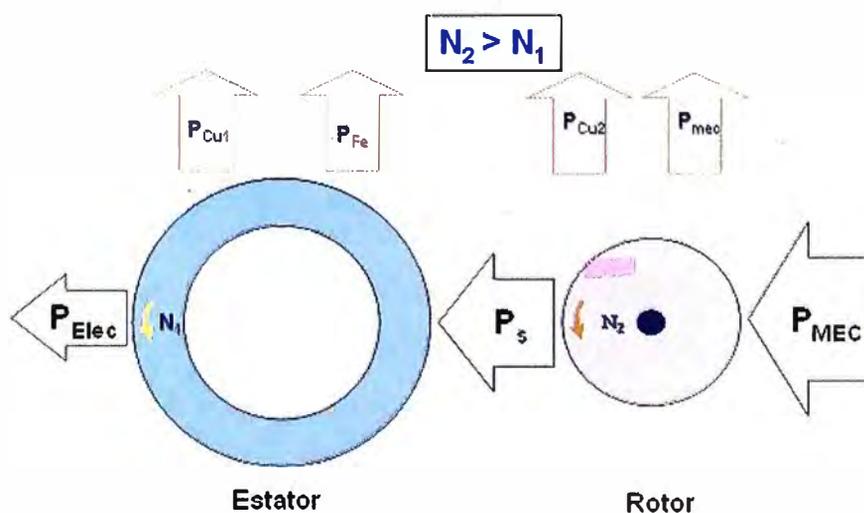


Fig. 1.19 Flujo Esquemático de potencias en Generador asíncrono

Este funcionamiento tiene las siguientes particularidades:

- Proporciona tanta más potencia cuanto mayor es la velocidad a la que es llevada.
- Su flujo, al contrario que en la máquina asíncrona, se debe a una corriente alterna. No puede producir por sí misma potencia reactiva (magnetizante) necesaria para la creación de flujo, debe tomarla de la red que alimenta. Por tanto en principio, no puede generar de forma independiente, sino acoplada en una red eléctrica existente de la que toma la potencia magnetizante.
- Cualquiera que sea su velocidad de hipersincronismo, la frecuencia a la que suministra la potencia eléctrica es igual a la de la red a la que está acoplada.

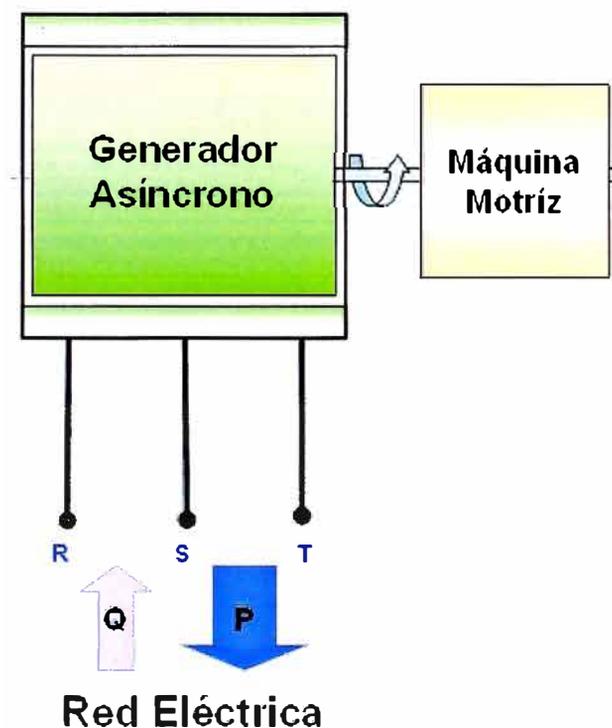


Fig. 1.20 Esquema suministro energía

1.3 La máquina de Corriente Continua

Los dispositivos rotatorios de conversión de energía electromagnética son conocidos como máquinas rotatorias, y estas a su vez están clasificadas como máquinas de corriente continua si sus salidas son de corriente continua o si la energía de entrada de las máquinas proviene de una fuente de corriente continua.

1.3.1 Generador DC

A continuación mostraremos un esquema de cómo es el funcionamiento del generador de corriente continua en una máquina eléctrica DC.

Tanto la Figura 1.21 y 1.22 muestra un esquema de bloques tanto en el consumo de corriente en un motor DC como en la generación de corriente continua en un generador DC. Los esquemas son explicativos y claros en su concepto teórico.

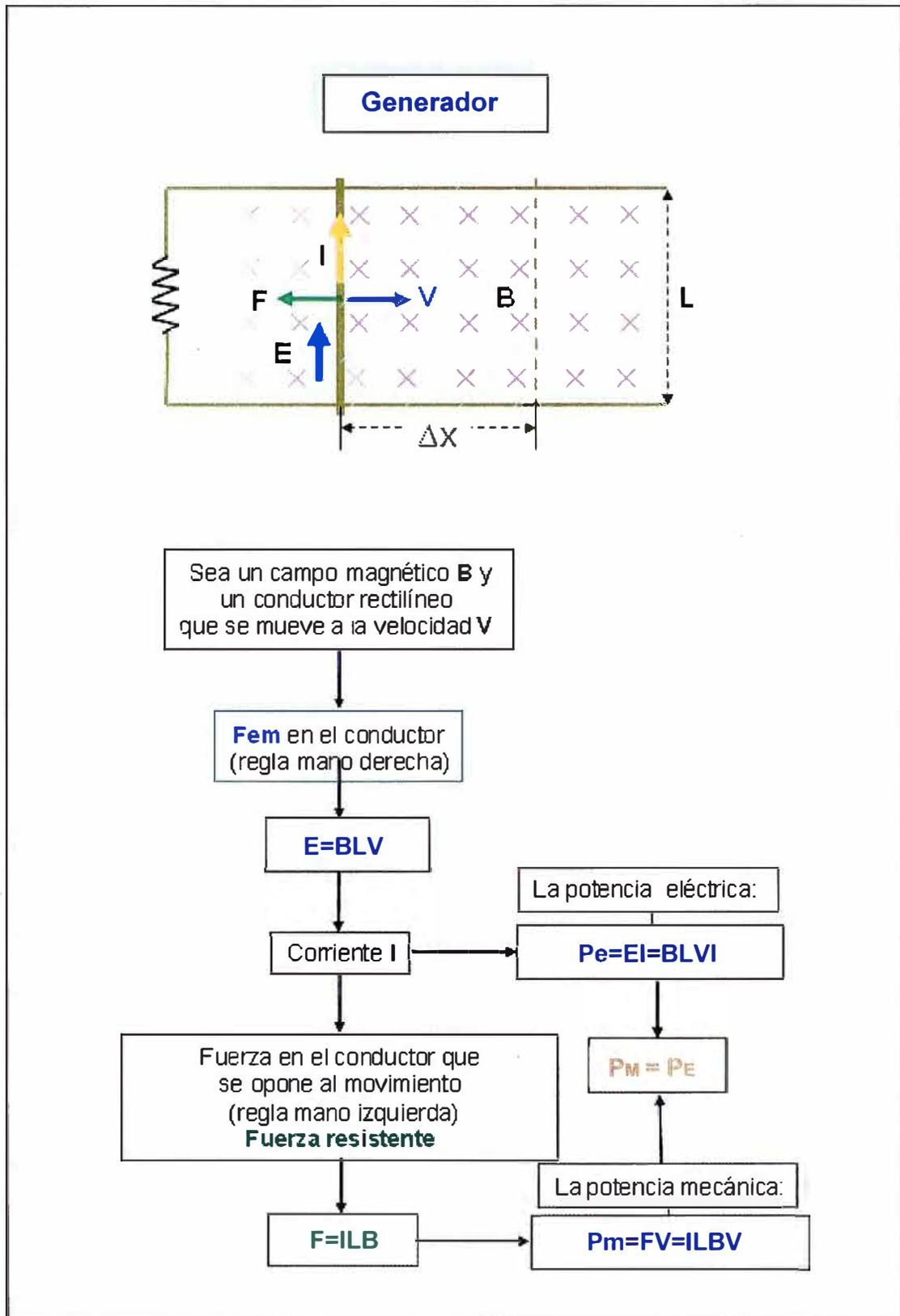


Fig. 1.21 Estudio Energético del Generador Elemental DC

1.3.2 Motor DC

A continuación mostraremos un esquema de cómo es el funcionamiento del motor de corriente continua en una máquina eléctrica DC.

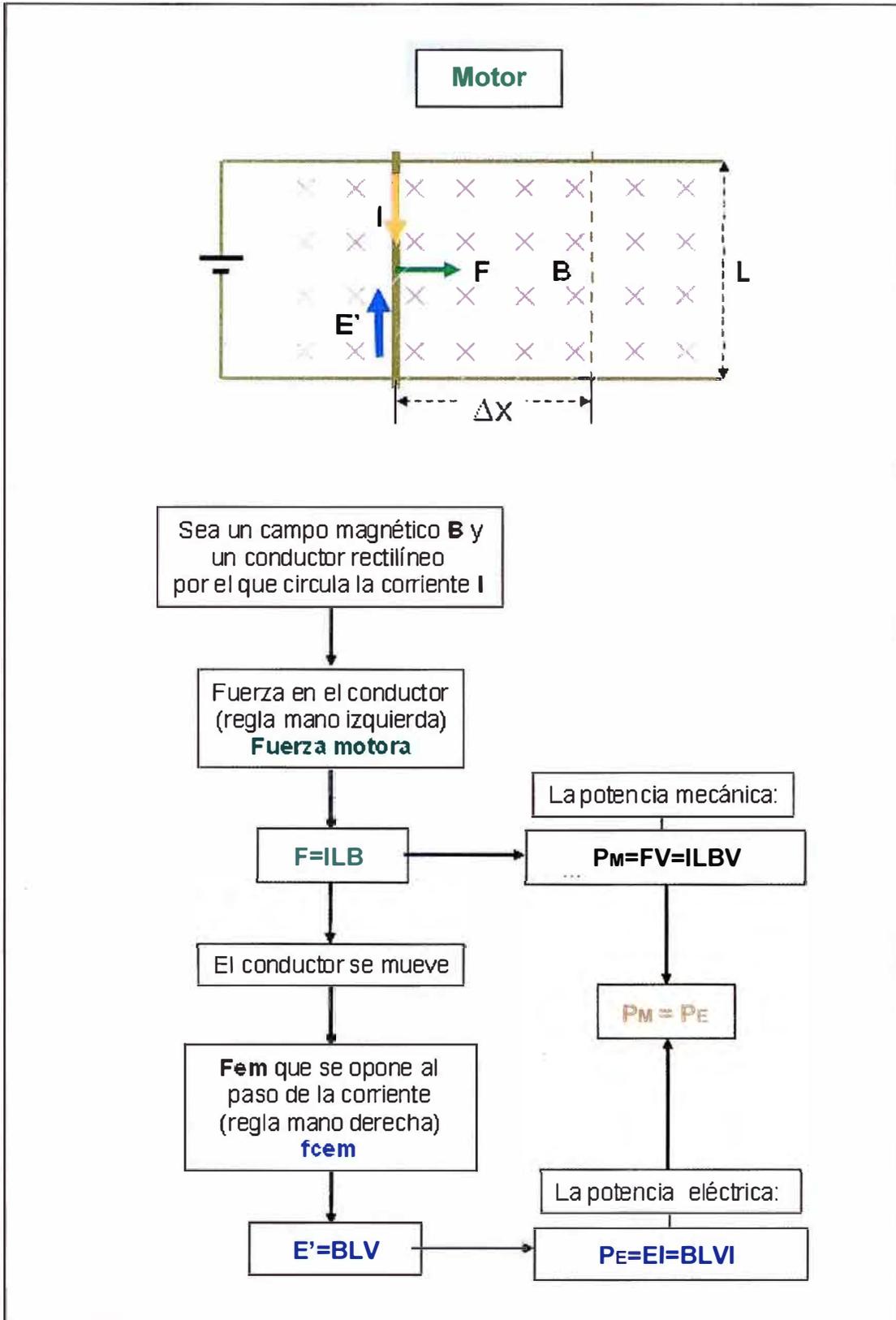


Fig. 1.22 Estudio Energético del Motor Elemental DC

Modos de Funcionamiento de la máquina DC

Para describir los modos de funcionamiento de una máquina de c. c. se utiliza la representación en cuatro cuadrantes representada en la figura 2.47. En el eje de abscisas se representa el par electromagnético C que también sirve para representar la corriente del inducido I ($C = K F I$). En el eje de ordenadas se representa la velocidad N , que también sirve para representar la fem/fcem E ($E = K N F$) y también, aproximadamente, la tensión U ($U = E \pm R_i I$)

$$P_{\text{mecánica}} = C\omega \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{(positiva} \Rightarrow \text{ suministra energía mecánica por el eje)} \\ \text{(negativa} \Rightarrow \text{ absorbe energía mecánica por el eje)} \end{array} \right.$$

$$P_{\text{eléctrica}} = UI \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{(positiva} \Rightarrow \text{ absorbe energía de la red)} \\ \text{(negativa} \Rightarrow \text{ suministra energía a la red)} \end{array} \right.$$

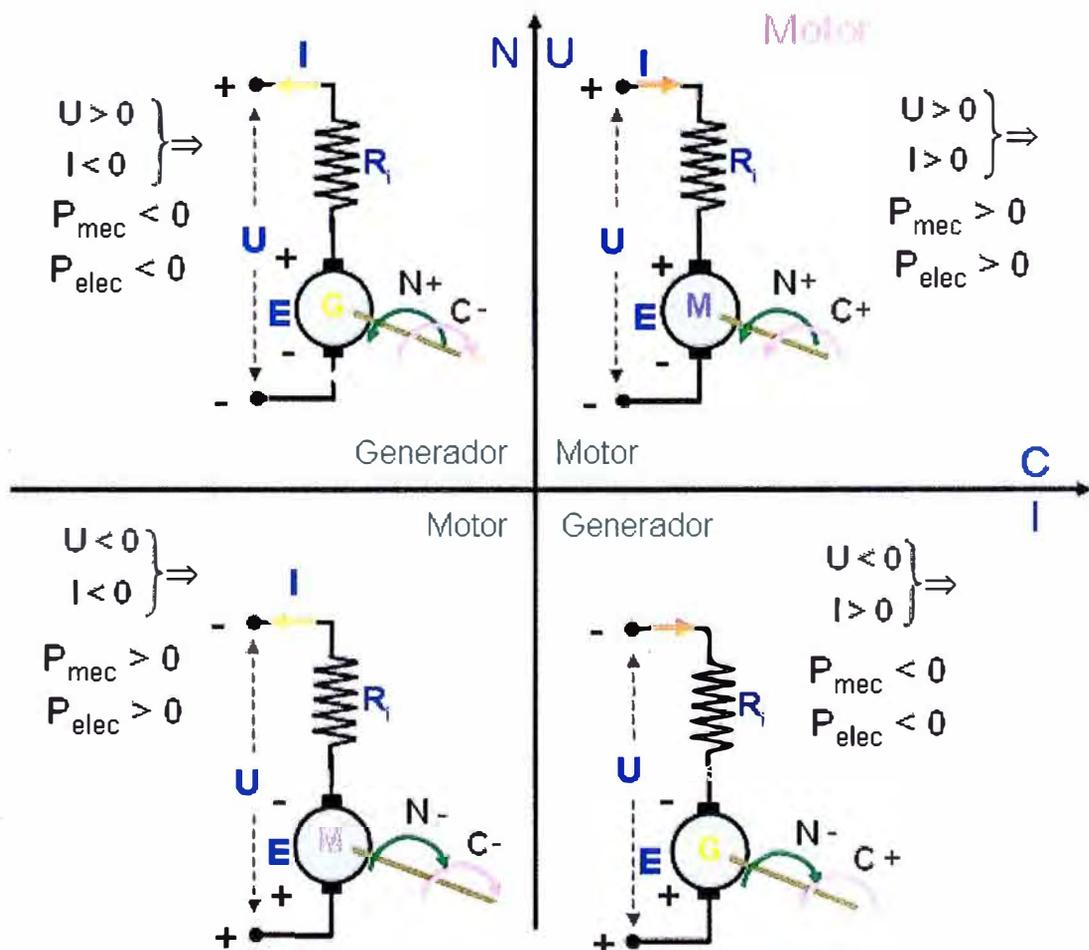


Fig. 2.47 Funcionamientos de la máquina DC

CAPÍTULO II

REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN

2.1 Definición

Como referencia principal en el presente informe detallaremos algunos alcances de la norma “CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD – UTILIZACIÓN”, y definiremos algunos conceptos básicos y el marco legal.

El Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión es una reglamentación de obligado cumplimiento que prescribe las condiciones de montaje, explotación y mantenimiento de instalaciones de baja tensión en el ámbito del estado peruano, lo conocemos como el “Código Nacional Electricidad – Utilización” donde nos centraremos principalmente en la parte de Instalación de Motores Eléctricos haciendo un análisis y utilizándolo como referencia en todo el informe respectivo.

2.2 Código Nacional de Electricidad - utilización

El Ministerio de Energía y Minas a través de la Dirección General de Electricidad presenta la nueva edición del CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD UTILIZACIÓN, con el propósito de poner a su disposición una norma de alcance nacional. Se ha considerado de suma importancia la revisión y actualización del Código Nacional de Electricidad - Utilización, puesto que era necesario actualizar dicha normativa acorde a las disposiciones legales vigentes, cambios tecnológicos desarrollados, nueva estructura del subsector electricidad y la nueva edición del Código Nacional de Electricidad – Suministro.

En tal sentido el Código Nacional de Electricidad queda estructurado según lo aprobado como sigue:

- Código Nacional de Electricidad – Suministro
- Código Nacional de Electricidad - Utilización

El Código Nacional de Electricidad - Suministro fue aprobado el 27 de julio del 2001 mediante R.M. N° 366-2001-EM/VME y entró en vigencia el 01 de julio del 2002.

El Código Nacional de Electricidad – Utilización fue aprobado el 2006.01.30 mediante R.M. N° 037-2006-MEM/DM y entrará en vigencia el 2006.07.01.

El Código Nacional de Electricidad – Utilización fue pre publicado en la pagina web del Ministerio de Energía y Minas, producto de la cual se recibió aportes importantes para la elaboración de la norma e incentivar su utilización permanente. Se ha previsto además que, deberá ser actualizado en un periodo no mayor de cuatro años.

El Código Nacional de Electricidad - Utilización, llamado en adelante Código, tiene como objetivo establecer las reglas preventivas para salvaguardar las condiciones de seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal, y de la propiedad, frente a los peligros derivados del uso de la electricidad; así como la preservación del ambiente y la protección del Patrimonio Cultural de la Nación.

El Código también contempla las medidas de prevención contra choques eléctricos e incendios, así como las medidas apropiadas para la instalación, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas. El Código no está destinado a ser un compendio de especificaciones para proyectos, ni un manual de instrucciones.

2.3 Normativas en los tableros de Control Eléctrico Industrial

Las normas para la instalación Tableros Eléctricos Industriales en motores esta dada en la “Sección 160 Motores y generadores del Código nacional de Electricidad – Utilización” y a continuación detallaremos algunos alcances sobre la norma y lo tendremos en todo el informa detallado sobre su ubicación exacta dentro del CNE-Utilización.

Sección 160 - motores y generadores

Se resumirá lo que se considera lo mas importante de la sección 160.

Regla 160-000: Esta regla es muy importante por ser la que identifica al equipo eléctrico de un edificio, estructura o instalaciones a los que se aplican los requerimientos de la Sección 160. Indica también que se aplican las reglas generales del Código, por ejemplo, de las Secciones 010 a la 090 y la 150, pero los requerimientos de la Sección 160 pueden enmendar o añadir a estas reglas o a otras cuando sea necesario.

Regla 160-104 Sustento: Los conductores de alimentación de un motor tienen tres requerimientos básicos:

- 1) Primero, que el conductor tenga suficiente capacidad de corriente para manejar la corriente del motor,
- 2) Segundo que el valor de aislamiento del conductor sea conveniente para el valor de la temperatura del motor y del ambiente y

3) Tercero, que en algún grado, los conductores evacuen el calor del motor.

Regla 160-104 Propósito: Se requiere que siempre se escoja la capacidad de corriente del conductor usando un valor de aislamiento de 75° C, pero puede ser que se necesite que el valor real del aislamiento sea más alto, dependiendo de la temperatura ambiente o de los requerimientos de la Tabla N° 2.1. En algunos casos, el conductor debe tener una longitud mínima y sus terminaciones deben tener una distancia mínima desde el motor.

Tabla N° 2.1 Aislamiento de conductores que alimentan motores a la mínima temperatura

Cubiertas del motor	Clase de aislamiento			
	A	B	F	H
Todas excepto totalmente cerrado no ventilado	75°C	75°C	90°C	110°C
Totalmente cerrado no ventilado	75°C	90°C	110°C	110°C

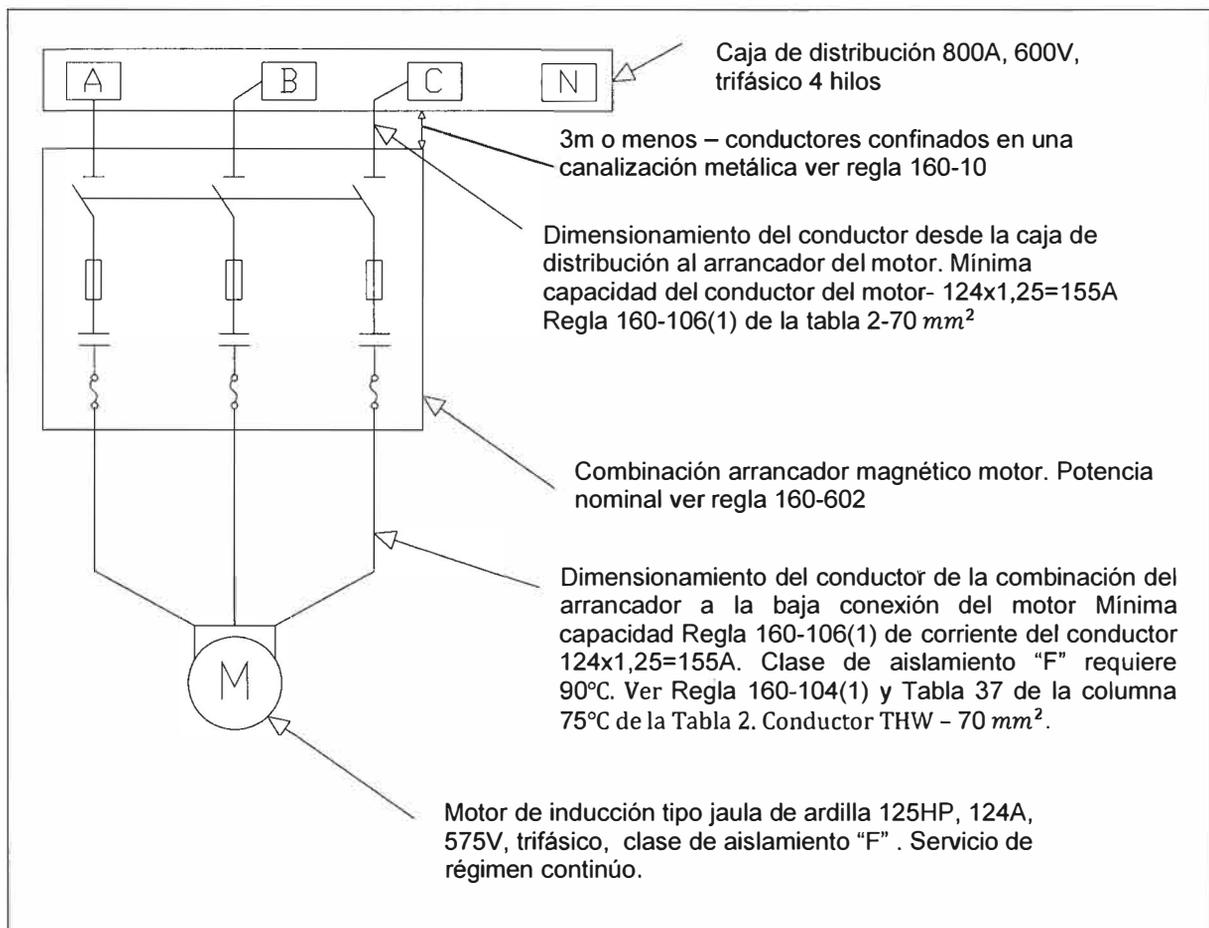


Fig. 2.1 Conductores que Ingresan a una Caja de Conexión de Motor

Regla 160-108 Sustento: Los conductores que alimentan a un grupo de dos o más motores no necesitan tener sus capacidades de corriente basadas en el 125% de todas las corrientes a plena carga, porque se asume que no todos arrancan o funcionan al mismo tiempo.

Regla 160-108 Propósito. (Véase la Fig. 2.2): Se requiere que la capacidad de corriente del conductor que alimenta a más de un motor sea suficiente para llevar por lo menos las corrientes a plena carga de todos los motores. Se requiere que cuando todos los motores en el grupo sean usados en un régimen de servicio continuo, la capacidad de corriente del conductor que alimenta al grupo no sea menor de 1,25 veces el valor más alto de corriente a plena carga de los motores del grupo, además de las corrientes en plena carga del resto de motores del grupo. Cuando todos los motores del grupo son usados en servicio no continuo, se requiere que la capacidad del conductor que alimenta al grupo no sea menor que la suma de todas las capacidades individuales de corriente del conductor calculadas para todos los motores del grupo para determinar la capacidad de corriente de los conductores que alimentan al motor individual. Cuando el grupo de motores tiene algunos motores en servicio continuo y algunos en servicio no continuo, la capacidad de corriente del conductor que alimenta al grupo de motores se calcula añadiendo:

- (1) 1,25 veces la corriente a plena carga del mayor de los motores en el grupo en un régimen de servicio continuo; y
- (2) Las corrientes plenas del resto de los motores en el grupo de un régimen de servicio continuo y
- (3) La capacidad de corriente total calculada del conductor para todos los motores en el grupo del régimen de servicio no continuo.

Cuando los circuitos de control están enclavados para evitar que todos los motores del grupo operen al mismo tiempo, se permite que la capacidad de corriente del conductor que alimenta al grupo de motores se determine desde el grupo de motores con la mayor capacidad nominal, que están operando al mismo tiempo.

Los factores de demanda usados para reducir la capacidad del conductor que alimenta más de un motor que se da en la Subregla (3), pueden ser aplicados si se obtiene un permiso especial.

En la figura 1.2 se muestra el dimensionamiento de 5 motores conectados en paralelo, el esquema unifilar con la ubicación respectiva de los dispositivos de corriente, los contactos que pueden ser contactores con un tablero control o puede ser un arrancador y una protección de sobrecarga.

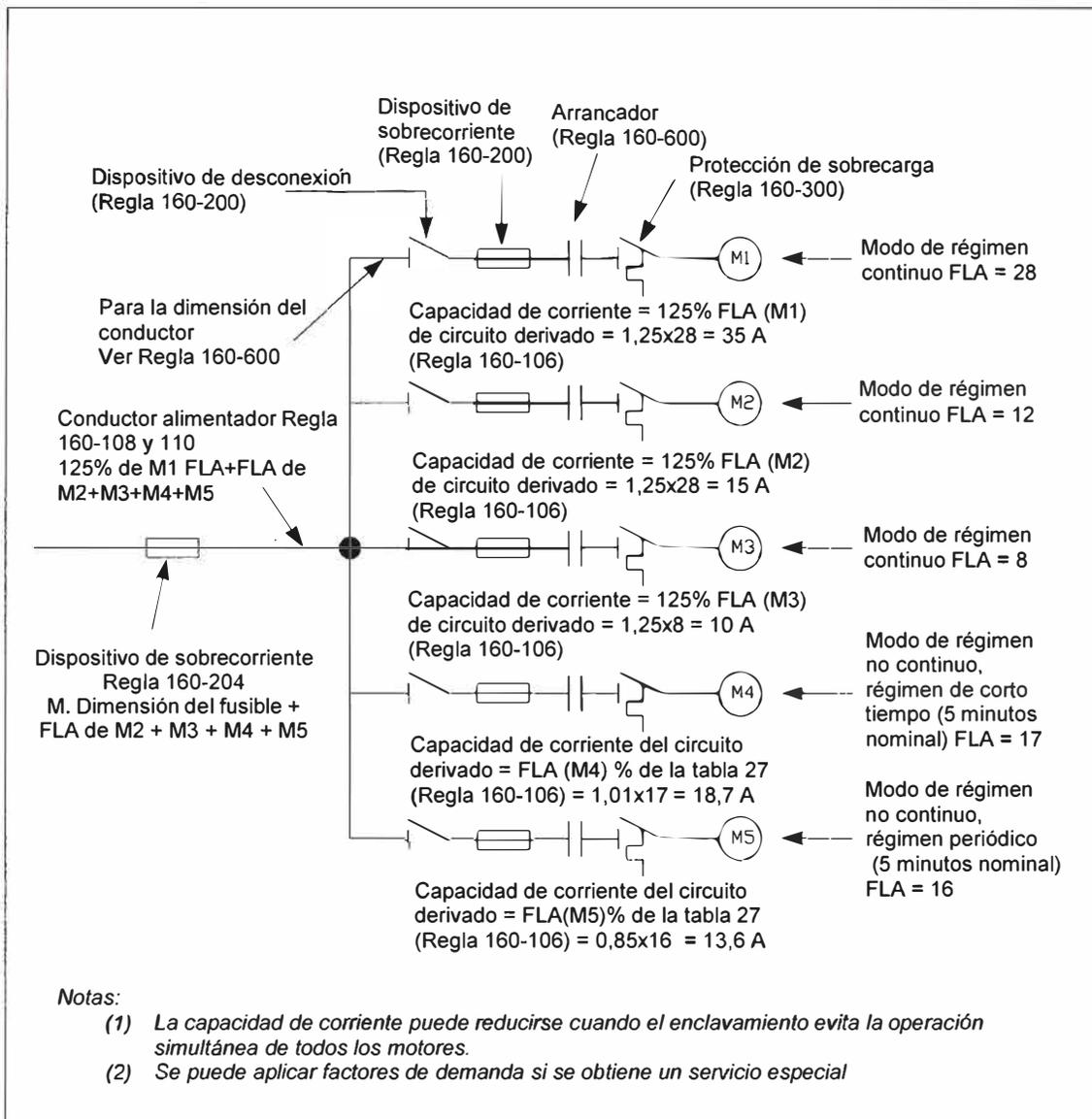


Fig. 2.2 Conductores – Dos o más Motores

2.4 Otras Normas Internacionales

Descripción acerca de las normas internacionales existentes.

a) IEC Comisión Electrotécnica Internacional

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o *IEC*, por sus siglas del idioma inglés *International Electrotechnical Commission*) es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. Numerosas normas se desarrollan conjuntamente con la ISO (normas ISO/IEC).

La CEI, fundada en 1904 durante el Congreso Eléctrico Internacional de San Luis (EEUU), y, tenía su sede en Londres hasta que en 1948 se trasladó a Ginebra. Integrada por los organismos nacionales de normalización, en las áreas indicadas, de los países

miembros, en el 2003 pertenecían a la CEI más de 60 países.

A la CEI se le debe el desarrollo y difusión de los estándares para algunas unidades de medida, particularmente el gauss, hercio y weber; así como la primera propuesta de un sistema de unidades estándar, el sistema Giorgi, que con el tiempo se convertiría en el sistema internacional de unidades.

En 1938, el organismo publicó el primer diccionario internacional (*International Electrotechnical Vocabulary*) con el propósito de unificar la terminología eléctrica, esfuerzo que se ha mantenido durante el transcurso del tiempo, siendo el Vocabulario Electrotécnico Internacional un importante referente para las empresas del sector.

Misión IEC-La misión de la IEC es promover entre sus miembros la cooperación internacional en todas las áreas de la normalización Electrotécnica. Para lograr lo anterior, han sido formulados los siguientes objetivos:

- Conocer las necesidades del mercado mundial eficientemente.
- Promover el uso de sus normas y esquemas de aseguramiento de la conformidad a nivel mundial.
- Asegurar e implementar la calidad de producto y servicios mediante sus normas.
- Establecer las condiciones de intemperabilidad de sistemas complejos. Incrementar la eficiencia de los procesos industriales.
- Contribuir a la implementación del concepto de salud y seguridad humana.
- Contribuir a la protección del ambiente. Miembros-La participación activa como miembro de la IEC, brinda a los países inscriptos la posibilidad de influir en el desarrollo de la normalización internacional, representando los intereses de todos los sectores nacionales involucrados y conseguir que sean tomados en consideración. Asimismo, constituyen una oportunidad para mantenerse actualizados en la tecnología de punta en el ámbito mundial. Existen tres formas de participación ante la IEC: como miembro pleno, miembro asociado o como miembro pre-asociado.

A la fecha la IEC cuenta con 57 miembros, cada uno de ellos representando a un país, y que en conjunto constituyen el 95% de la energía eléctrica del mundo. Este organismo normaliza la amplia esfera de la electrotécnica, desde el área de potencia eléctrica hasta las áreas de electrónica, comunicaciones, conversión de la energía nuclear y la transformación de la energía solar en energía eléctrica.

b) ANSI Instituto Nacional Estadounidense de Estándares

El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI, por sus siglas en inglés:

American National Standards Institute) es una organización sin ánimo de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos. ANSI es miembro de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y de la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC). La organización también coordina estándares del país estadounidense con estándares internacionales, de tal modo que los productos de dicho país puedan usarse en todo el mundo. Por ejemplo, los estándares aseguran que la fabricación de objetos cotidianos, como pueden ser las cámaras fotográficas, se realice de tal forma que dichos objetos puedan usar complementos fabricados en cualquier parte del mundo por empresas ajenas al fabricante original. De éste modo, y siguiendo con el ejemplo de la cámara fotográfica, la gente puede comprar carretes para la misma independientemente del país donde se encuentre y el proveedor del mismo. Por otro lado, el sistema de exposición fotográfico *ASA* se convirtió en la base para el sistema ISO de *velocidad de película* (en inglés: film speed), el cual es ampliamente utilizado actualmente en todo el mundo. Esta organización aprueba estándares que se obtienen como fruto del desarrollo de tentativas de estándares por parte de otras organizaciones, agencias gubernamentales, compañías y otras entidades. Estos estándares aseguran que las características y las prestaciones de los productos son consistentes, es decir, que la gente use dichos productos en los mismos términos y que esta categoría de productos se vea afectada por las mismas pruebas de validez y calidad.

ANSI acredita a organizaciones que realizan certificaciones de productos o de personal de acuerdo con los requisitos definidos en los estándares internacionales. Los programas de acreditación ANSI se rigen de acuerdo a directrices internacionales en cuanto a la verificación gubernamental y a la revisión de las validaciones.

Historia: En 1918, cinco sociedades dedicadas al mundo de la ingeniería y tres agencias gubernamentales fundaron el *Comité Estadounidense de Estándares para la Ingeniería* (en inglés AESC: American Engineering Standards Committee). Este comité se convirtió más tarde en el año 1928 en la *Asociación de Estándares Estadounidense* (en inglés ASA: American Standards Association). En 1966, ASA sufrió una reorganización para convertirse en el *Instituto de Estándares de los Estados Unidos de América* (en inglés USASI: the United States of America Standards Institute). El nombre tal cual lo conocemos actualmente fue adoptado en 1969. La sede de la organización está ubicada en Washington D.C. Connotaciones de la palabra ANSI - En Microsoft Windows, la palabra

ANSI hace referencia a las páginas de código ANSI de Windows. La mayoría de estos códigos tienen la misión de arreglar la anchura aunque existen algunas anchuras variables para lenguajes ideográficos. Algunos de estos códigos se acercan bastante a las series ISO_8859-1 provocando que muchos asuman de una forma equivocada que son idénticos.

El Arte ASCII, el cual es coloreado o animado a partir de unos códigos de control denominados secuencias X3.64 que se reciben en un terminal ANSI, está relacionado comúnmente con el arte ANSI. Este fue muy popular en los foros a lo largo de los 1980s y los 1990s.

c) DIN Instituto Alemán de Normalización

Es el acrónimo de *Deutsches Institut für Normung* (en español, Instituto Alemán de Normalización). El *Deutsches Institut für Normung e.V.* (su marca empresarial es DIN), con sede en Berlín, es el organismo nacional de normalización de Alemania. Elabora, en cooperación con el comercio, la industria, la ciencia, los consumidores e instituciones públicas, estándares técnicos (normas) para la racionalización y el aseguramiento de la calidad. El DIN representa los intereses alemanes en las organizaciones internacionales de normalización (ISO, CEI, etc.).

El DIN fue establecido el 22 de diciembre de 1917 como *Normenausschuss der deutschen Industrie* (NADI). El acrónimo DIN también ha sido interpretado como *Deutsche Industrie Norm* y *Das Ist Norm*.

A través de la metodología empleada en la elaboración de las normas se pretende garantizar que sus contenidos correspondan con el estado de la ciencia.

La editorial Beuth-Verlag, relacionada con el DIN, se encarga de la venta y distribución de las normas editadas por el DIN y de las normas de otros organismos de normalización, tanto nacionales como extranjeros.

Una norma DIN de uso habitual es la DIN 476, que define los formatos (o tamaños) de papel y que ha sido adoptada por la mayoría de los organismos nacionales de normalización de Europa.

CAPÍTULO III CONTROL PARA EL ARRANQUE DEL MOTOR DE JAULA DE ARDILLA

3.1 Descripción

Un motor con rotor de jaula de ardilla es usado comúnmente como un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos con barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas).

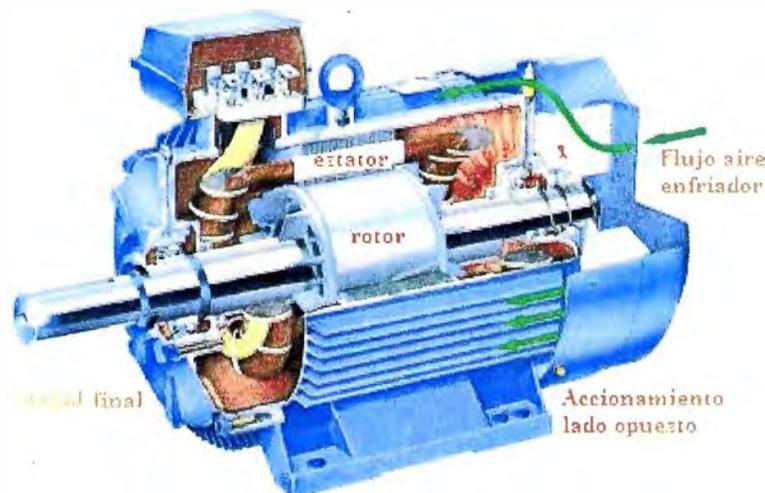


Fig. 3.1 Motor de jaula de Ardilla



Fig. 3.2 Partes de un rotor

3.2 Clasificación

Su clasificación existe de acuerdo a la norma NEMA donde se clasifican en letras y también de acuerdo a su geometría como indicaremos a continuación.

a) Clasificación según construcción física

Los conductores del rotor están igualmente distribuidos por la periferia del rotor. Los extremos de estos conductores están cortocircuitados por tanto no hay posibilidad de de conexión del devanado del rotor con el exterior. La posición inclinada de las ranuras mejora las propiedades de arranque y disminuye los ruidos.

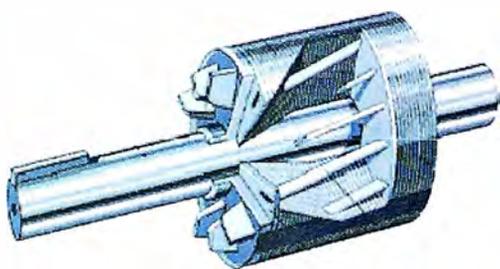


Fig. 3.3 Rotor Jaula Ardilla Simple

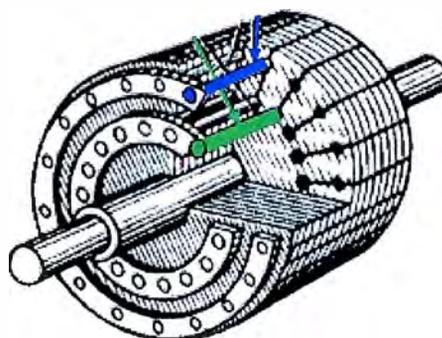


Fig. 3.4 Rotor en Doble Jaula de Ardilla



Fig. 3.5 Rotor de Ranuras Profundas

b) Clasificación de acuerdo a las letras NEMA

Para distinguir entre diversos tipos disponibles, la National Eléctrica Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla se fabrica de acuerdo con determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una letra. Las propiedades de la construcción eléctrica y mecánica del rotor, en las cinco clases NEMA de motores de inducción de jaula de ardilla, se resume en la siguiente tabla:

Tabla N° 3.1 Clasificación en letras NEMA [13]

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces el nominal)	Corriente de Arranque	Regulación de Velocidad (%)	Nombre de clase Del motor
A	1.5 –1.75	5-7	2-4	Normal
B	1.4–1.6	4.5-5	3-5	De propósito general
C	2–2.5	3.5-5	4-5	De doble jaula alto par
D	2.5 – 3.0	3-8	5-8, 8-13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2-4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque

* Los voltajes citados son para el voltaje nominal de arranque

a) **Clasificación de acuerdo con el enfriamiento y el ambiente de trabajo**

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla, y en general todos los motores eléctricos, se pueden clasificar también de acuerdo con el ambiente en que funcionan y al tipo de método de enfriamiento.

La temperatura ambiente juega un papel importante en la capacidad y selección del tamaño de armazón para una máquina, parte importante del motivo es que la temperatura ambiente influye en la elevación permisible de temperatura por sobre los 40° C normales.

Por ejemplo una máquina que trabaje a una temperatura ambiente de 75° C empleando aislamiento clase B tiene un aumento permisible de temperatura de tan solo 55° C. Si trabajara a su temperatura ambiente normal de 40 ° C se podría permitir un aumento de temperatura de 90° C, sin dañar su aislamiento. También se hizo notar que la hermeticidad de la máquina afecta a su capacidad.

Una máquina con una armazón totalmente abierta con un ventilador interno en su eje, permite un fácil paso de aire succionado y arrojado. Esta caja origina una temperatura final de trabajo en los devanados, menor en comparación que la de una máquina totalmente cerrada que evita el intercambio de aire con el exterior. Esto da como resultado que existe una clasificación de los motores por el tipo de carcasa.

Tipos de envoltentes o carcazas

La NEMA reconoce los siguientes:

- a) Carcasa a prueba de agua. Envoltente totalmente cerrada para impedir que entre agua aplicada en forma de un chorro o manguera, al recipiente de aceite y con

medios de drenar agua al interior. El medio para esto último puede ser una válvula de retención o un agujero machuelado en la parte más inferior del armazón, para conectar un tipo de drenado.

- b) Carcaza a prueba de ignición de polvos. Envolvente totalmente cerrada diseñada y fabricada para evitar que entren cantidades de polvo que puedan encender o afectar desempeño o capacidad.
- c) Carcaza a prueba de explosión. Envolvente totalmente cerrada diseñada y construida para resistir una explosión de un determinado gas o vapor que pueda estar dentro de un motor, y también para evitar la ignición de determinado gas o vapor que lo rodee, debido a chispas o llamaradas en su interior.
- d) Carcaza totalmente cerrada envolvente que evita el intercambio de aire entre el interior y el exterior de ella pero que no es lo suficiente mente cerrada para poderla considerar hermética al aire.
- e) Carcaza protegida al temporal. Envolvente abierta cuyos conductos de ventilación están diseñados para reducir al mínimo la entrada de lluvia o nieve y partículas suspendidas en el aire, y el acceso de estas en las partes eléctricas.
- f) Carcaza protegida. Envolvente abierta en la cual todas las aberturas conducen directamente a partes vivas o giratorias, exceptuando los ejes lisos del motor, tienen tamaño limitado mediante el diseño de partes estructurales o parrillas coladeras o metal desplegado etc. Para evitar el contacto accidental con las parte vivas
- g) Carcaza a prueba de salpicaduras. Envolvente abierta en la que las aberturas de ventilación están fabricadas de tal modo que si caen partículas de sólidos o gotas de líquidos a cualquier ángulo no mayor de 100° con la vertical no puedan entrar en forma directa o por choque de flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.
- h) Carcaza a prueba de goteo envolvente abierta en que las aberturas de ventilación se construye de tal modo que si caen partículas sólidas o gotas de líquido a cualquier ángulo no mayor de 15° con la vertical no pueda entrar ya sea en forma directa o por choque y flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.
- i) Carcaza abierta envolvente que tiene agujeros de ventilación que permiten el flujo de aire externo de enfriamiento sobre y alrededor de los devanados de la máquina. Los Devanados de la máquina son de diferentes tipos y no dependen necesariamente si son motores síncronos o asíncronos.

El costo y el tamaño de los motores totalmente cerrados es mayor que el de los motores abiertos, de la misma potencia y ciclo de trabajo y elevación sobre la temperatura ambiente.

3.3 Condiciones de Operación

Existen algunas condiciones que deben considerarse al seleccionar, diseñar, instalar o dar mantenimiento al equipo de control del motor eléctrico. El control del motor era un problema sencillo cuando se usaba una flecha maestra común, a la que se le conectaban varias máquinas, por que el motor tenía que arrancar y parar sólo unas cuantas veces al día. Sin embargo, con la transmisión individual el motor ha llegado a ser casi una parte integrante de la máquina y es necesario diseñar el controlador para ajustarse a sus necesidades.

Control del motor es un término genérico que significa muchas cosas, desde un simple interruptor de paso hasta un complejo sistema con componentes tales como contactores, controles de tiempo e interruptores así como sistemas modernos donde se implementan PLCs (Controlador Lógico Programable). Sin embargo, la función común es la misma en cualquier caso: esto es, controlar alguna operación del motor eléctrico. Por lo tanto, al seleccionar e instalar equipo de control para un motor se debe considerar una gran cantidad de diversos factores a fin de que pueda funcionar correctamente junto a la máquina para la que se diseña.

Algunos de los factores a considerarse respecto al controlador, al seleccionarlo e instalarlo, pueden enumerarse como sigue:

- a) Arranque: El motor se puede arrancar conectándolo directamente a través de la línea. Sin embargo, la máquina impulsada se puede dañar si se arranca con ese esfuerzo giratorio repentino. El arranque debe hacerse lenta y gradualmente, no sólo para proteger la máquina, sino porque la oleada de corriente de la línea durante el arranque puede ser demasiado grande. La frecuencia del arranque de los motores también comprende el empleo del controlador.
- b) Paro: Los controladores permiten el funcionamiento hasta la detención de los motores y también imprimen una acción de freno cuando se debe detener la máquina rápidamente. La parada rápida es una función para casos de emergencia.
- c) Inversión de la rotación: Se necesitan controladores para cambiar automáticamente la dirección de la rotación de las máquinas mediante el mando de un operador en una estación de control. La acción de inversión de los controladores es un proceso continuo

en muchas aplicaciones industriales. Esta puede hacerse por medio de estaciones de botones, un interruptor de tambor o un módulo inversor de giro.

- d) Marcha: Las velocidades y características de operación deseadas, son función y propósito directos de los controladores. Éstos protegen a los motores, operadores, máquinas y materiales, mientras funcionan.
- e) Control de velocidad: Algunos controladores pueden mantener velocidades muy precisas para propósitos de procesos industriales, pero se necesitan de otro tipo para cambiar las velocidades de los motores por pasos o gradualmente.
- f) Seguridad del operador: Muchas salvaguardas mecánicas han dado origen a métodos eléctricos. Los dispositivos piloto de control eléctrico afectan directamente a los controladores al proteger a los operadores de la máquina contra condiciones inseguras.
- g) Protección contra daños: Una parte de la función de una máquina automática es la de protegerse a sí misma contra daños, así como a los materiales manufacturados o elaborados. Por ejemplo, se impiden los atascamientos de los transportadores. Las máquinas se pueden hacer funcionar en reversa, detenerse, trabajar a velocidad lenta o lo que sea necesario para realizar la labor de protección.
- h) Mantenimiento de los dispositivos de arranque: Una vez instalados y ajustados adecuadamente, los arrancadores para motor mantendrán el tiempo de arranque, voltajes, corriente y troqué confiables, en beneficio de la máquina impulsada y el sistema de energía. Los fusibles, cortacircuitos e interruptores de desconexión de tamaño apropiado para el arranque, constituyen buenas prácticas de instalación que se rigen por los códigos eléctricos.

Para un diseño de un Tablero de Control industrial es necesario tener en cuenta el arranque de un motor donde es necesario que el par del motor sea superior al par resistente de la carga, de esta manera se produce una aceleración que hace girar el motor a una velocidad cada vez mayor, obteniéndose el régimen permanente cuando se igualan el par motor resistente. Los métodos de arranque descritos en la figura 3.6

- Arranque Directo
- Arranque mediante inserción de resistencias en el rotor
- Arranque resistencias en el estator
- Arranque Estrella-Triangulo
- Arranque mediante autotransformador
- Arranque con arrancadores estáticos

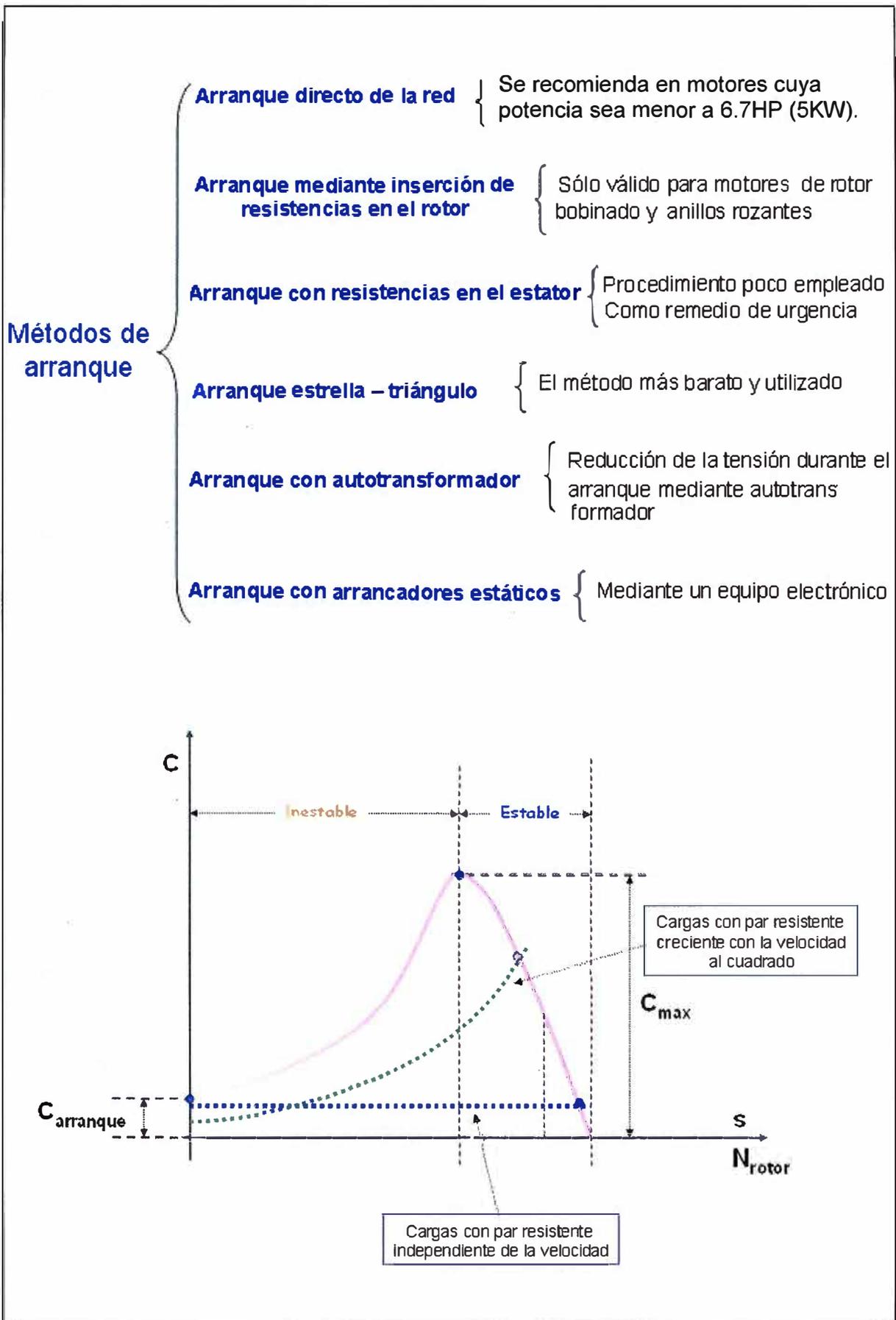


Fig. 3.6 Gráfica Torque vs Velocidad rotor y métodos de arranque

Descripción de un Tablero de Control Eléctrico Industrial

Un tablero eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico o un control de arranque de un motor en un proceso industrial.



Fig. 3.7 Tablero Industrial Motor

La fabricación o ensamblaje de un tablero eléctrico debe cumplir criterios de diseño y normativas que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado, garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones en las cuales se encuentran ubicados. Los equipos de protección y de control, así como los instrumentos de medición, se instalan por lo general en tableros eléctricos, teniendo una referencia de conexión estos pueden ser.

- a) Diagrama Unifilar
- b) Diagrama de Control
- c) Diagrama de interconexión

Consideraciones previas

Unidades de mando y señalización

La comunicación entre hombre y máquina agrupa todas las funciones que necesita el operador para controlar y vigilar el funcionamiento de un proceso. El operador debe estar capacitado para que pueda percibir y comprender los sucesos y responder de una manera eficaz, a la solución de una determinado imprevisto.

Pilotos y Pulsadores

- Los pulsadores se usan en mandos generales de arranque y de parada, también en mandos de circuito de seguridad (paro de emergencia).
- Pueden ser metálicos cromados para ambientes de servicio intensivo.
- Totalmente plástico, para ambientes agresivos.

Están disponibles según la norma NEMA de 16, 22 y de 30 mm (Normas NEMA)

Nota: la norma IEC 60204-1 establece el código de colores para los visualizadores y los pilotos por ejemplo:

- Piloto Rojo: Emergencia – condición peligrosa que requiere una acción inmediata (presión fuera de los límites, sobrecorriente, rotura de acoplamiento, etc)
- Piloto Amarillo: Anormal – condición anormal que puede llevar a una situación peligrosa (presión fuera de los límites, activación de un protección, etc.)
- Piloto Blanco: Neutro – Información general (presencia de tensión en la red, etc.)
- Pulsador Rojo: Emergencia – Acción en caso de peligro (paro, emergencia, etc.)
- Pulsador Amarillo: Anormal- acción en caso de condiciones anormales (poner de nuevo en marcha un ciclo automático interrumpido, etc.)

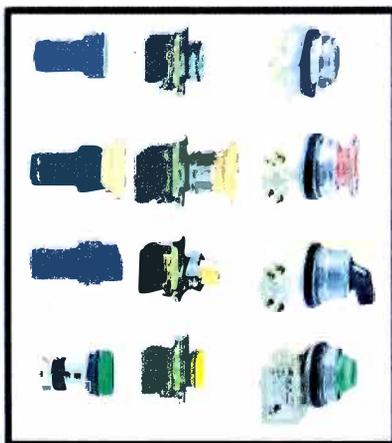


Fig. 3.8 Tipo de pilotos



Fig. 3.9 Tipos de pulsadores

Balizas y columnas luminosas

Elementos de visualización óptica, nos indica el estado de un determinado proceso.

- ❖ Baliza: consta de un único elemento luminoso
- ❖ Columnas: varios elementos luminosos, a veces con avisador acústico

Norma IEC 60204-1

La norma IEC 60204-1 establece los códigos de colores correspondientes a los mensajes que deben ser indicados.

Señalización luminosa

- Rojo: urgencia (acción inmediata requerida)
- Amarillo/Naranja: anomalía (chequeo y/o intervención requerida)
- Verde: funcionamiento normal (opcional)
- Azul: acción obligatoria (acción del operador requerida)
- Blanco: chequeo (opcional)

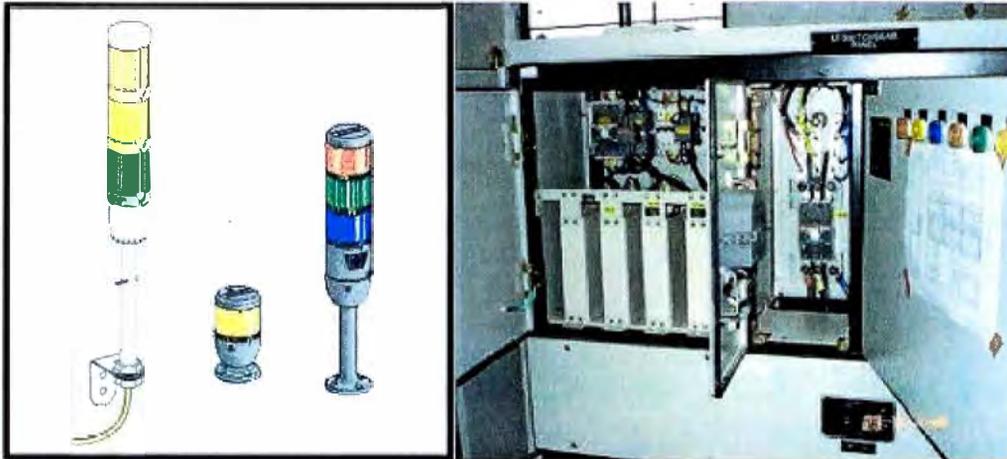


Fig. 3.10 Elementos de Visualización Óptica

Partes y piezas de un tablero eléctrico

Elementos Físicos:

- Láminas ó chapas de hierro ó acero:
- Envolvente
- Soporte
- Compartimentos
- Caja de Control
- Cubículos
- Barras de Aluminio o de Cobre
- Barra colectora o principal
- Barra Secundaria o de distribución
- Barra de Neutro
- Barra de Tierra

Tornillería:

- Unión de Chapas Exteriores
- Fijación de Barras
- Fijación de Aisladores

- Fijación de Soportes.
- Fijación de Equipos.

Otros elementos:

- Aisladores de Fibra o baquelita
- Soportes de de Barras y Aisladores
- Cerraduras y Accionamientos
- Cableado

Componentes y Aparatos Eléctricos:

Baja Tension

- Interruptores Miniaturas
- Interruptores de Caja Moldeada y de Potencia
- Contactores y Relés de Sobrecarga
- Luces Pilotos y Señalización
- Equipos de Medición

Media y Alta Tension:

- Interruptores de Potencia
- Seccionadores de fuerza y de tierra
- Arrancadores en Media Tension
- Relés de Medición y Protección

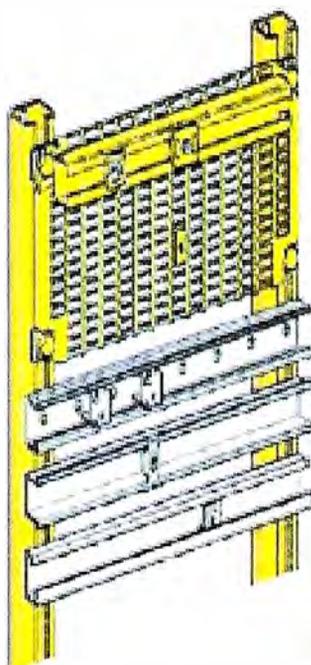


Fig. 3.11 Placa perforada Telequick de telemecanique

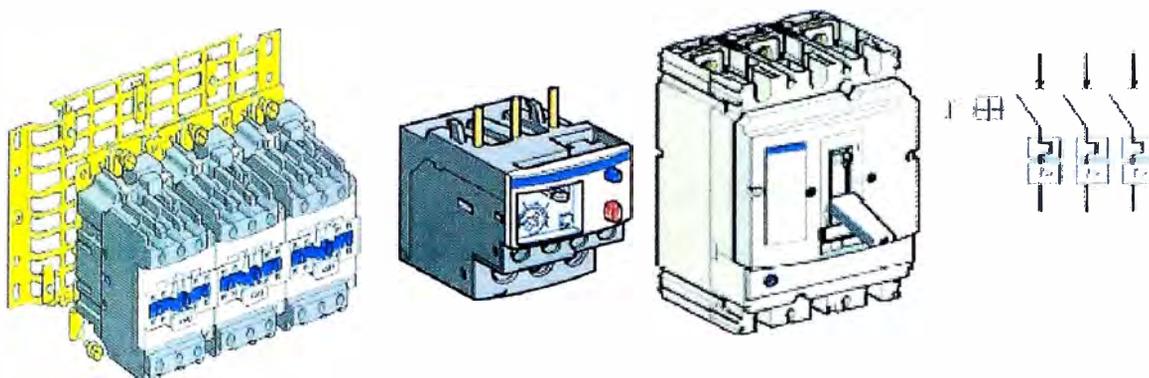


Fig. 3.12 Elementos eléctricos de un tablero

Normas aplicables en la fabricación de tableros eléctricos

- Normativa Interna de la Planta
- Norma - Código Nacional de Electricidad
- Normativa Intevep
- National Electric Code (NEC)
- ANSI Standards: American National Standards Institute
- OSHA: Occupational Safety and Health Administration
- IEC: International Electric Codes
- NEMA
- UL Laboratory

ANSI/NFPA 70B: Electrical Equipment Maintenance.

Clasificación de los tableros según su función ó aplicación

- Tablero Residencial ó Centro de Carga (TR)
- Centro de Distribución de Potencia (CDP)
- Centro de Fuerza (CDF)
- Centro de Control de Motores (CCM)
- Tableros de Distribución (TD)
- Tableros de Alumbrado (TA)
- Consolas y Pupitres de Mando (CPM)
- Celdas de Seccionamiento (CSEC)
- Subestaciones (S/E)

Tipos de tableros eléctricos

De acuerdo con la ubicación en la instalación, los tableros reciben las designaciones siguientes:

- a) Caja o gabinete individual de medidor: es aquel al que acomete el circuito de alimentación y que contiene el medidor de energía desde donde parte el circuito principal.
- b) Esta caja o gabinete puede contener además, medios de maniobra, protección y control pertenecientes al circuito de alimentación.
- c) Tablero Principal de distribución: Es aquel que se conecta a la línea principal y que contiene el interruptor principal y del cual se derivan el (los) circuito (s) secundarios.
- d) Tablero o gabinete colectivo de medidores: Es aquel al que acomete el circuito de alimentación y que contiene los medidores de energía y los circuitos principales. Este tablero puede contener a los dispositivos de maniobra, protección y control pertenecientes al circuito de alimentación y a los interruptores principales pertenecientes a la instalación del inmueble, desde donde parten los circuitos seccionales. En este caso, los cubiles o gabinetes que albergan a los interruptores principales se comportan como tableros principales.
- e) Tablero secundario de distribución: se conecta al tablero principal, comprenden una basta categoría.



Fig. 3.13 Tableros de distribución

Ubicación de los tableros

- a) Lugar de instalación y grado de protección ip

Los tableros se instalaran en lugares secos, ambiente normal, de fácil acceso y alejados de otras instalaciones, tales como las de agua, gas, teléfono. Etc. Para lugares húmedos, mojados, a la intemperie o polvorientos, los tableros deberán construirse con el grado de protección IP adecuando al ambiente.

b) Pasillos y espacios libres de circulación.

Delante de la superficie frontal del tablero, habrá un espacio libre suficiente para facilitar la realización de trabajos y operaciones, el cual no será menor que 1 metro. Para el caso en que los tableros necesiten acceso posterior, deberá dejarse detrás del mismo un espacio posterior no menor a 0,7 metros. En los casos en que el tablero tenga puerta posterior, deberá dejarse una distancia, con puerta abierta, de 0,5 m. Se deberá respetar la condición más desfavorable.

d) Iluminación de la sala

Del recinto donde se ubicaran los tableros, deberá disponer de iluminación artificial adecuada, para operar en forma segura y efectiva los dispositivos de maniobra, y leer los instrumentos con facilidad.

Grado de Protección IP

Contra cuerpos solidos I.P.			Contra los liquidos I.P.		
0		Sin Proteccion	0		Sin Proteccion
1		Protegidos contra cuerpos solidos superiores a 50mm	1		Protegidos contra caidas verticales de gotas de agua
2		Protegidos contra cuerpos solidos superiores a 12.5mm	2		Protegidos contra caidas de agua hasta 15° de la vertical
3		Protegidos contra cuerpos solidos superiores a 2.5mm	3		Protegidos contra aguas de lluvia hasta 60° de la vertical
4		Protegidos contra cuerpos solidos superiores a 1mm	4		Protegidos contra proyecciones de agua en todas las direcciones
5		Protegido contra el polvo	5		Protegido contra lanzamiento de agua en todas direcciones
6		Totamente protegido contra el polvo	6		Protegido contra lanzamientos de agua similar a los golpes de mar
			7		Protegido contra la inmersion
			8		Protegido contra efectos prolongados de inmersion bajo presion

Fig. 3.14 Grado de protección IP

El Grado de protección IP hace referencia al estándar estadounidense ANSI/IEC 60529-2004 Degrees of Protection utilizado con mucha frecuencia en los datos técnicos de equipamiento eléctrico y/o electrónico (en general de uso industrial como sensores, medidores, controladores, etc). Especifica un efectivo sistema para clasificar los diferentes grados de protección aportados a los mismos por los contenedores que resguardan los componentes que constituyen el equipo.

Este estándar ha sido desarrollado para calificar de una manera alfa-numérica a equipamientos en función del nivel de protección que sus materiales contenedores le proporcionan contra la entrada de materiales extraños. Mediante la asignación de diferentes códigos numéricos, el grado de protección del equipamiento puede ser identificado de manera rápida y con facilidad.

Grado de protección contra las influencias del medio ambiente

Grados de protección según NEMA (COVENIN/IEC)

NEMA 1: Uso Interior, protección contra equipos cerrados. (IP-20, IP-30)

NEMA 2: Uso Interior, protección contra equipos cerrados y una cantidad limitada de gotas de agua. (IP-21, IP-31)

NEMA 3 (3R), (3S): Uso exterior, intemperie, protección contra contacto con equipos cerrados, contra polvo soplado por viento, lluvia, lluvia con nieve y resistencia contra la corrosión (IP-54)

NEMA 4 (4X): Uso interior y exterior, intemperie, protección contra contacto con equipos cerrados, contra polvo soplado por viento, lluvia, chorros fuertes de agua. No prevista protección contra congelamiento interno (IP-66)

NEMA 5: Uso Interior, protección contra equipos cerrados, partículas de polvo flotando en el aire. , mugre y gotas de líquidos no corrosivos.

NEMA 6 (6P): Uso Interior ó Exterior, protección contra equipos cerrados, contra inmersión limitada (prolongada) en agua y contra acumulación de hielo.

NEMA 7: Uso interior, clasificados como Clase I. A prueba de explosión, debe ser capaces de resistir la mezcla de gas y aire explosiva

NEMA 8: Uso exterior, clasificados como Clase I. A prueba de explosión, contactos aislados en aceite.

NEMA 9: Uso exterior, clasificados como Clase II. A prueba de explosión, debe ser capaces de resistir la mezcla de gas y aire explosiva. Además debe evitar la penetración de polvo.

NEMA 10: Exterior, explosión, minas.

NEMA 11: Interior, protección contra líquidos corrosivos.

NEMA 12: Interior, líquido no corrosivo, ambiente industrial. Protección contra goteo y polvo.(IP-52)

NEMA 12K: Idem a la anterior con Knock-Outs.

Nema 13: polvo, agua rociada y refrigerantes no corrosivos.

Tableros en media tensión

Consideraciones generales para el diseño de tableros hay que tener en cuenta una serie de consideraciones y normativas, garantizando hacia la continuidad y protección del tablero así como la de los operadores. en el diseño de tableros hay que tener en cuenta el costo de la misma y la inversión que esta generaría para ello se desarrolla una metodología. a continuación se menciona las variables y consideraciones generales que hay que tener en cuenta:

- a) Potencia a manejar (robustez)
 - ❖ Tensión nominal
 - ❖ Corriente nominal
 - Capacidad de Cortocircuito
- b) Sistema de Control de los Aparatos
- c) Inversión vs. Instalación a maniobrar y proteger
- d) Política de Mantenimiento
 - ❖ Correctivo
 - ❖ Preventivo
- e) Seguridad de Instalaciones y Operarios
- f) Facilidad de Expansión

Tipos de ensayos en tableros

Certificados por laboratorios externos:

- a) Ensayos dieléctricos
 - ❖ Frecuencia Industrial
 - ❖ Nivel Básico de Aislamiento o Impulso Eléctrico
- b) Ensayos térmicos
 - ❖ Aumento de temperatura
- c) Ensayos de Cortocircuito
 - ❖ Poder de corte

- ❖ Poder de cierre
- d) Grado de protección
- e) Maniobras mecánicas

Normas: Características y seguridad de personal. IEC-298

- Las características del tablero en las condiciones normales de explotación el ambiente.
- Severidad la seguridad de las personas en función de las exigencias particulares de utilización
- Disponibilidad de la energía eléctrica
- Habilidades y competencia del personal
- IEC 298: Aparatos en envoltura metálica para corriente alterna de tensiones nominales superiores a 1kV y inferiores o iguales a 52 kV.
- A través de las pruebas de tipo y de rutina que el fabricante garantiza su material a las condiciones de explotación
- Soporta la corriente nominal
- La corriente de falla
- El dieléctrico
- Los esfuerzos mecánicos
- El funcionamiento
- La IEC 298 permite por la aplicación de todas o parte de sus recomendaciones de definir el “nivel” de seguridad correspondiente.
- Condiciones específicas de explotación
- Concepción : arquitectura y medio de aislamiento
- Aislamiento
- Puesta a tierra
- Accesibilidad de los compartimentos MT
- Defecto interno

Elementos de protección

Existen diversos modos de protección así como una diversidad de dispositivos, veamos en la figura 3.15 una fotografía de los dos equipos mas utilizados en el armado de tablero de control.

Interruptores termomagnéticos y diferenciales

INTERRUPTORES DE PROTECCIÓN PARA MONTAJE EN RIEL DIN (DE ACUERDO A NORMAS IEC)



Fig. 3.15 Interruptores eléctricos

a) Interruptor termomagnético:

Es un limitador de corriente (dispositivo electromecánico) que impide sobrepasar la carga contratada. Cuando se origina un exceso de carga, el calor generado abre el dispositivo dejando el suministro de energía suspendido. Protege además las instalaciones del cliente de sobrecargas o cortocircuitos

La protección contra cortocircuitos y sobrecargas dependerán de la corriente nominal del interruptor, según el modelo comprado.

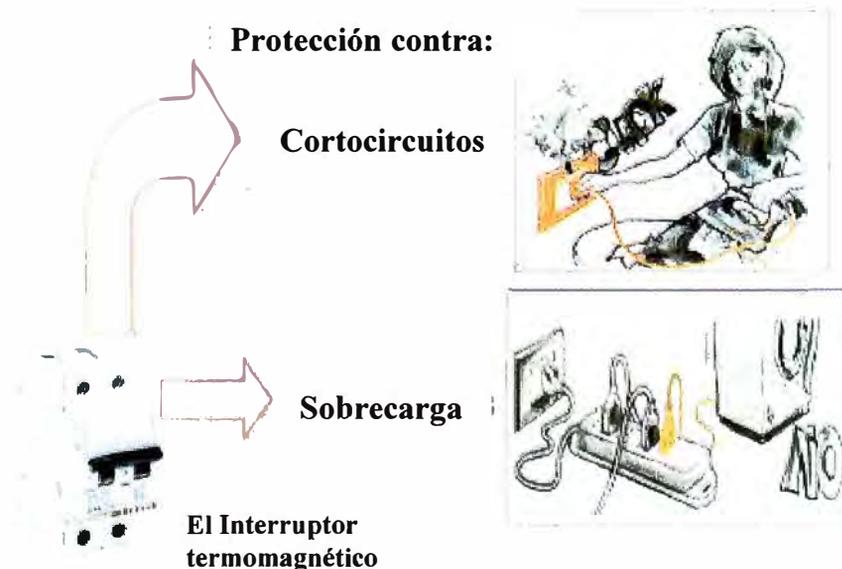


Fig. 3.16 Protección interruptor termomagnético

b) Interruptor diferencial

Un interruptor diferencial exponencial, también llamado disyuntor por corriente diferencial o residual, es un dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones eléctricas con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por fallas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos.

Interruptor diferencial = protección contra contactos accidentales

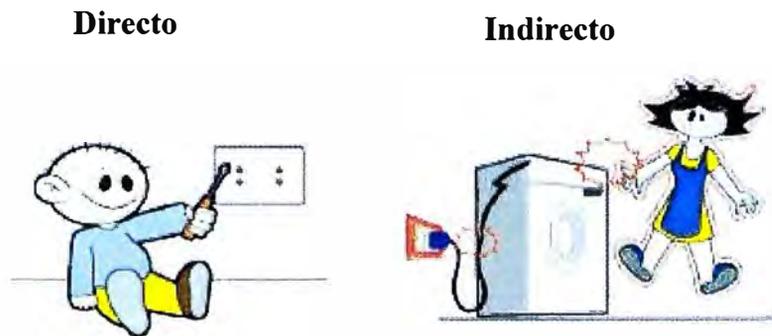


Fig. 3.17 Protección interruptor diferencial

c) Importancia de los interruptores



Fig. 3.18 Diferencia entre interruptor magnético y diferencial

d) Tendencias de protección en tableros

La protección en los tableros de control eléctrico sea industrial o domestico, tiene la misma idea para cada país o continente, así mismo los equipos de protección son diseñados

en función a las normas de seguridad vigentes mundialmente.

Existen dos tendencias más importantes actualmente, en las formas constructivas de los tableros.

<ul style="list-style-type: none"> • Tendencia Europea: Cajas a empotrar y tableros aislantes (resina) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Tendencia Americana: Cajas de empotrar y tableros de metal, con puesta a tierra 	

Fig. 3.19 Tendencias en protección a los tableros eléctrico

Se usa comúnmente los tableros metálicos para aplicaciones de baja, mediana, y alta potencia. Sin embargo los tableros tipos resinas se usan generalmente en aplicaciones de baja potencia.

Conexión a tierra y tierras físicas

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen nuestros equipos en caso de una corriente transitoria peligrosa. El objetivo de un sistema de puesta a tierra es:

- El de brindar seguridad a las personas.
- Proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección.
- Establecer la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.

Algunos de los métodos que se pueden utilizar para realizar la medición de la resistencia a tierra son los siguientes: método de los dos puntos, método del 62%, método de caída de potencial, método de los cuatro puntos, etc.



Fig. 3.20 Varilla para la conexión de puesta a tierra

3.4 Esquemas de Mando y Fuerza

Los arranques de un motor de jaula de ardilla mostrado en la figura 3.22, 3.23 y 3.24 corresponde al mas utilizado en la industria, el cableado de fuerza de un motor trifásico lo describiremos a continuación en sus distintas formas.

Conexiones y terminales de un Motor trifásico

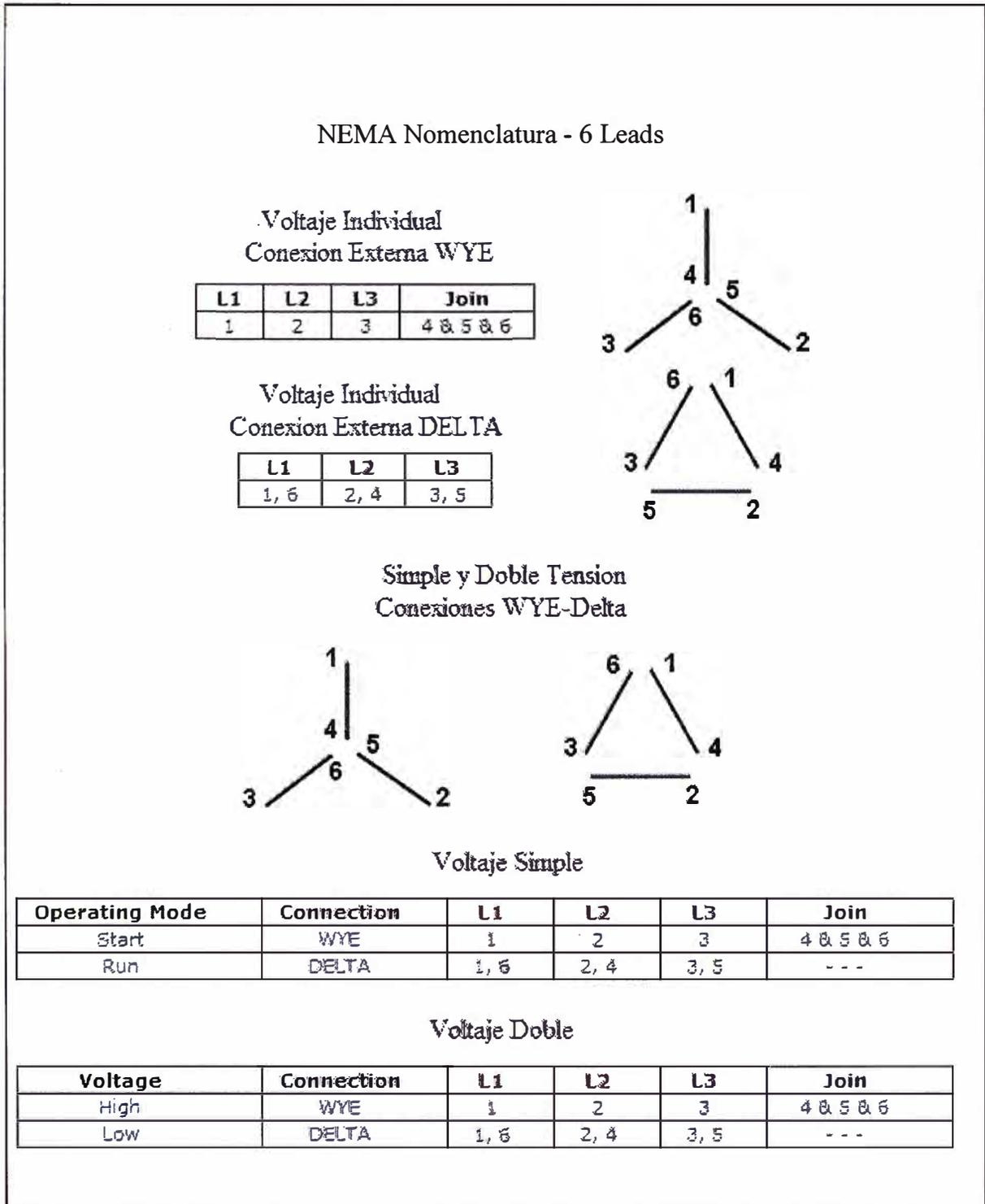


Fig. 3.21 Conexiones estrella y triángulo en motor asíncrono

Los esquemas de conexión que a continuación se describen, comprenden planos de circuitos principales y de mando de utilización frecuente. Su descripción es neutral y no da información alguna sobre la disposición de los aparatos en armarios o tableros.

Para la elaboración del plano se tomaron en cuenta lo siguiente:

- Protección contra corto circuitos
- Protección contra sobrecargas en el motor
- Contactores principales y relés auxiliares
- Se emplean símbolos según la norma DIN

En los cuadros siguientes se muestra los dos tableros mas utilizados en la industria:

a) Arranque Directo

Se dice que un motor arranca en forma directa cuando a sus bornes se aplica directamente la tensión nominal a la que debe trabajar. La intensidad de corriente durante la fase de arranque puede tomar valores entre 6 a 8 veces mayores que la corriente nominal del motor. Su principal ventaja es el elevado par de arranque: 1,5 veces el nominal. Siempre que sea posible conviene arrancar los motores a plena tensión por el gran torque de arranque que se obtiene, pero si se tuvieran muchos motores de media y gran potencia que paran y arrancan en forma intermitente, se tendrá un gran problema de perturbaciones en la red eléctrica. En el esquema que presentamos observamos la forma de control en el motor en los modos manual-Automático y controles desde el PLC, así como sus diferentes variantes con respecto a la de un tablero convencional.

b) Arranque Estrella-Triangulo

El arranque estrella-triángulo es el procedimiento más empleado para el arranque a tensión reducida debido a que su construcción es simple, su precio es reducido y tiene una buena confiabilidad. El procedimiento para reducir la tensión en el arranque consiste en conmutar las conexiones de los arrollamientos en los motores trifásicos previstos para trabajar conectados en triángulo en la red trifásica. Los bobinados inicialmente se conectan en estrella, o sea que reciben la tensión de fase, y luego se conectan en triángulo a la tensión de línea; es decir que la tensión durante el arranque se reduce 1,73 veces.

En el esquema que presentamos observamos la forma de control en el motor en los modos manual-Automático y controles desde el PLC, así como sus diferentes variantes con respecto a la de un tablero convencional.

CIRCUITO DE CONTROL ARRANQUE DIRECTO MOTOR DE JAULA DE ARDILLA

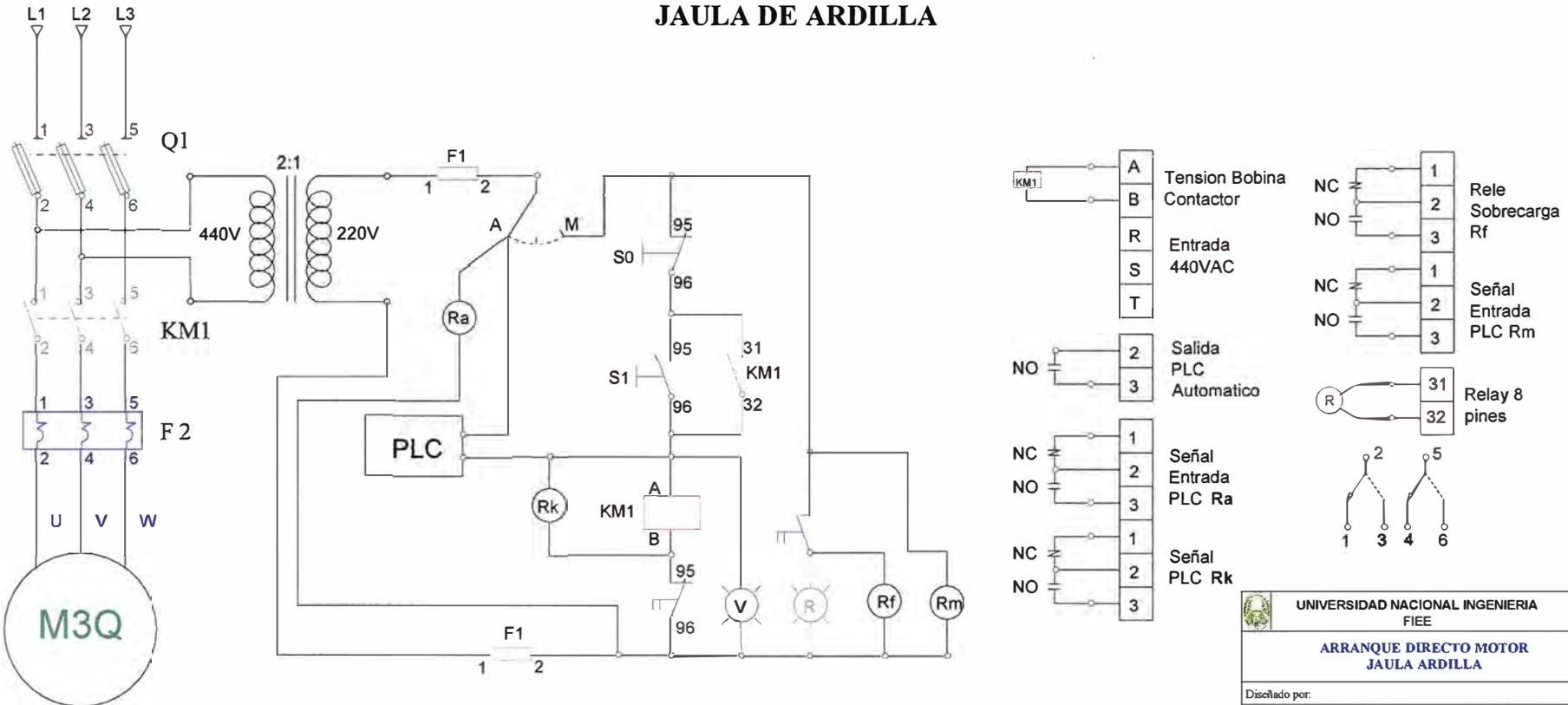


Fig. 3.22 Esquema de un Arranque Directo Modos manual-cero-automático

UNIVERSIDAD NACIONAL INGENIERIA FIEE		
ARRANQUE DIRECTO MOTOR JAULA ARDILLA		
Diseñado por:		
Revisado por:	Escala: S/E	Fecha: Octubre 2010
Dibujo:	D:	

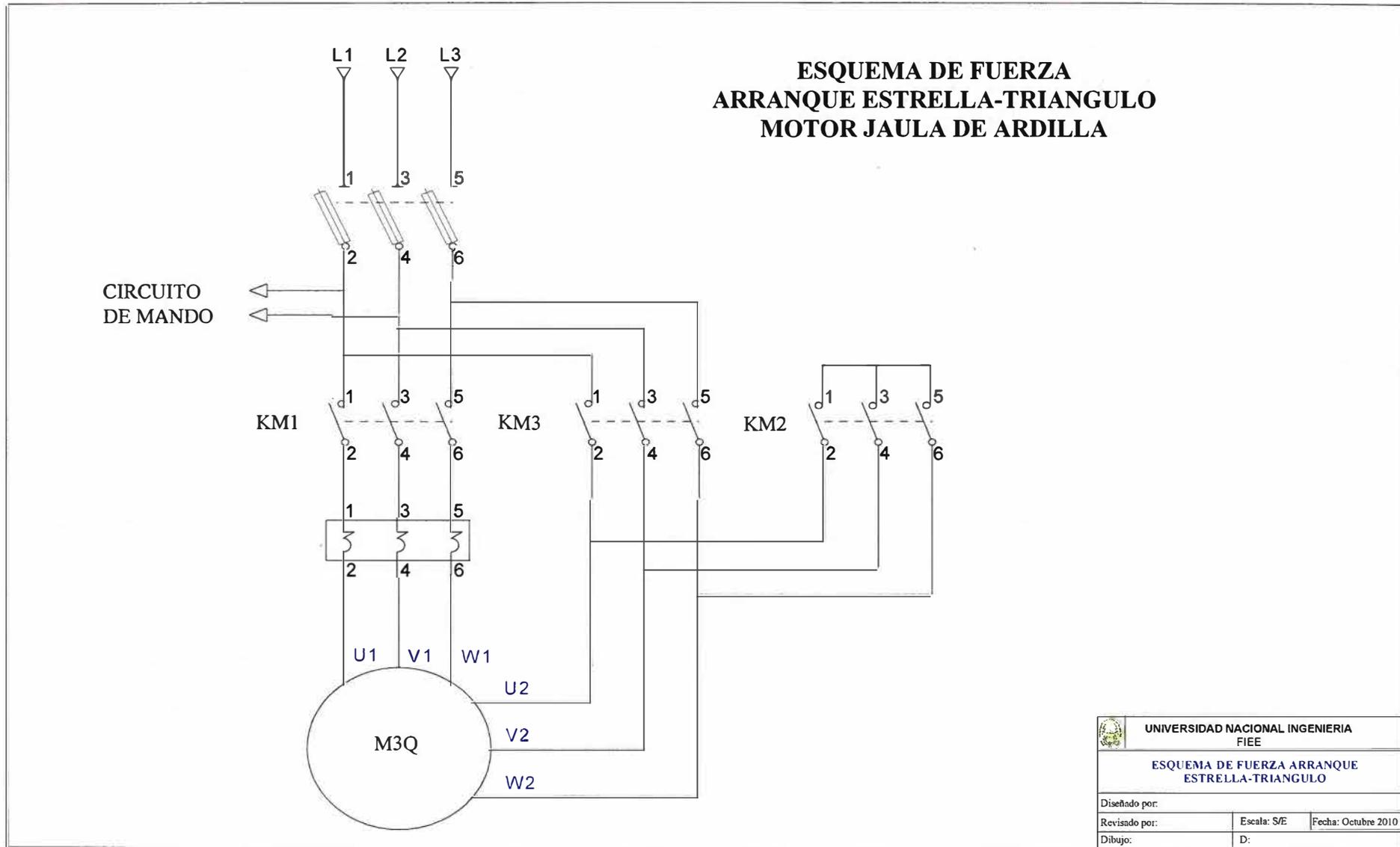
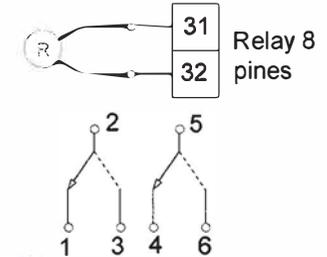
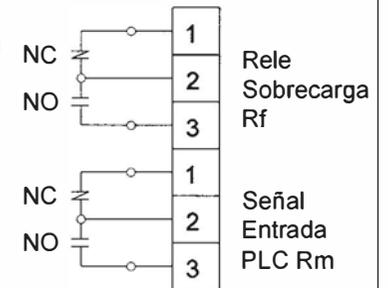
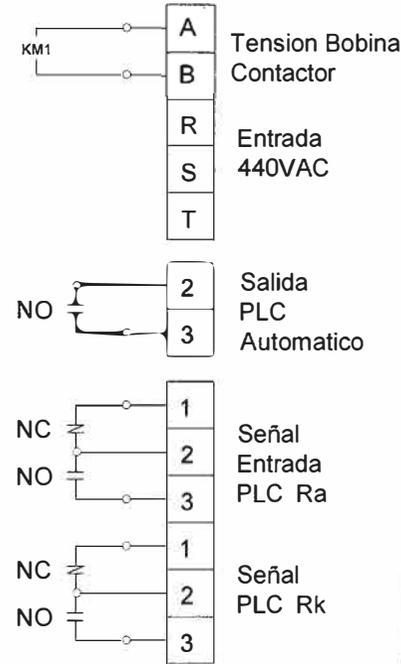
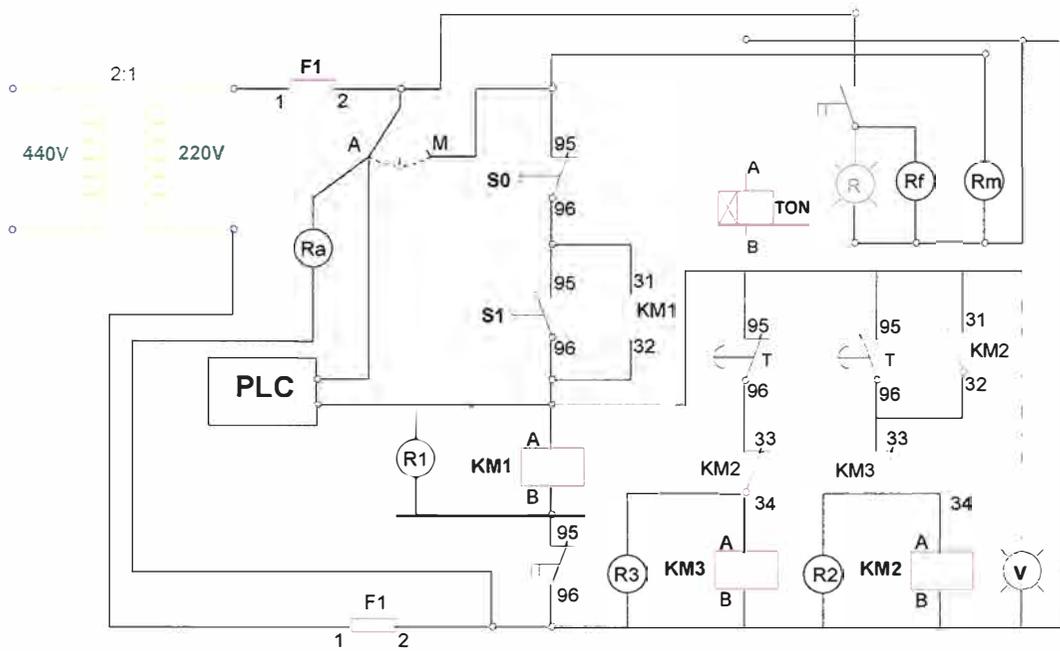


Fig. 3.23 Esquema Arranque Motor Estrella- Triangulo Esquema de fuerza

ESQUEMA DE MANDO ARRANQUE ESTRELLA-TRIANGULO MOTOR DE JAULA DE ARDILLA

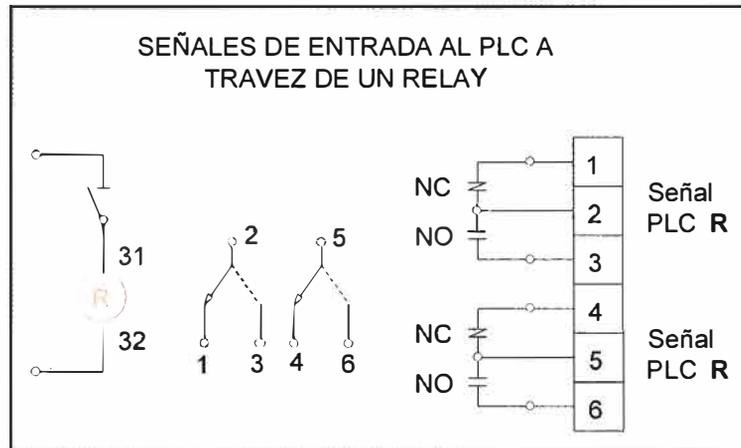


UNIVERSIDAD NACIONAL INGENIERIA FIEE		
ESQUEMA DE MANDO ARRANQUE ESTRELLA-TRIANGULO		
Diseñado por:	Escala: S/E	Fecha: Octubre 2010
Revisado por:	Dibujó:	D:

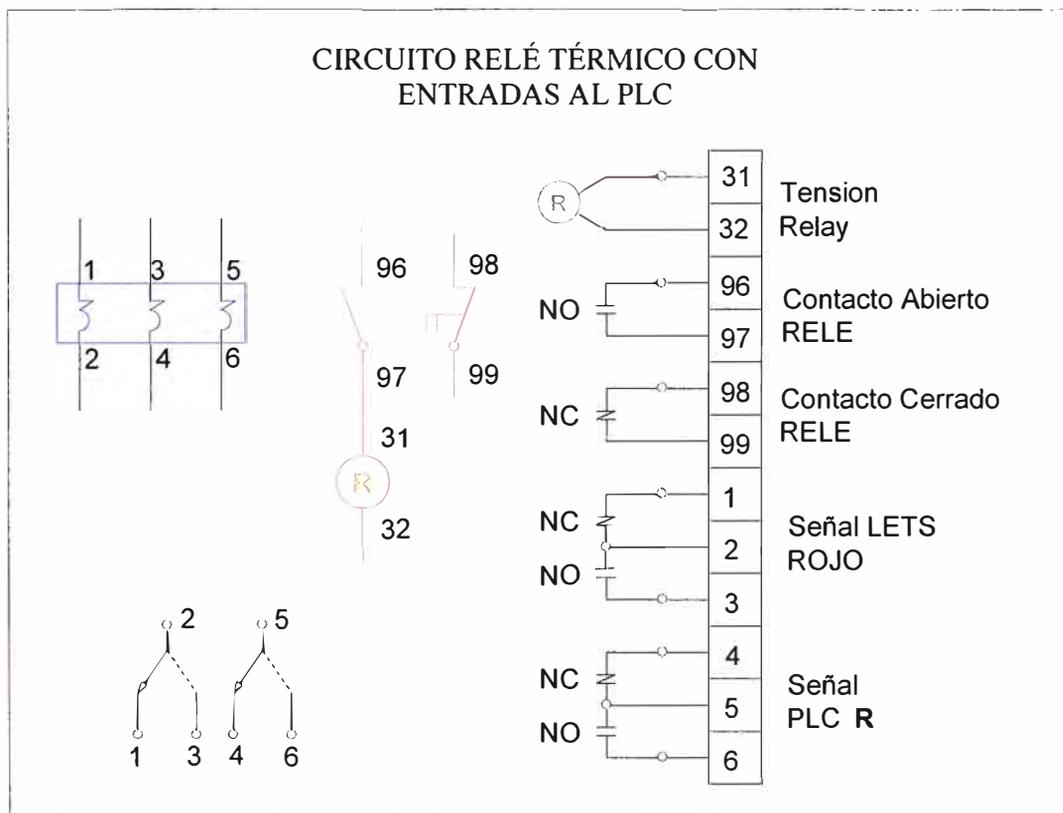
Fig. 3.24 Esquema mando Estrella-Triangulo

3.5 Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos

A continuación se muestra esquemas de mando de partes de un tablero de control donde se explica en que consiste la automatización de un tablero de control en función a señales ON, OFF desde el modo más simple hasta aplicaciones complejas.



El relé R mostrado en la figura 3.25 de 8 pines, cuyos contactos se accionan pueden utilizarse para enviar señales a un PLC como unos o ceros. Físicamente los contactos al abrirse y cerrarse ON/OFF envían un mensaje a un controlador, y será utilizado para automatizar un tablero de control.



La Figura 3.28 muestra los modos de control en un tablero Manual-cero-automático, y a su vez la forma de enviar el estado al PLC, como una forma ideal el relay en el esquema seria de 8 pines, y sus contactos son los que enviarían la señal respectiva.

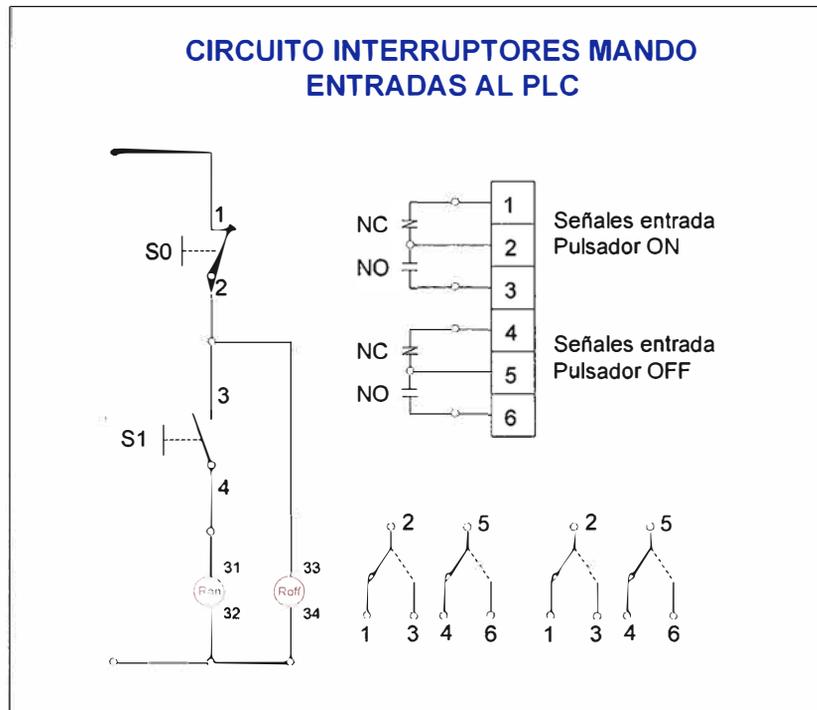


Fig. 3.29 Señales interruptores mando al PLC

La Figura 3.29 muestra de un modo ideal la forma en que se puede llevar el estado de los interruptores de mando ON-OFF a un PLC como señales de entrada a través de un relé de 8 pines.

En las 5 figuras anteriores se ha mostrado entradas a un PLC desde un tablero, pero si se requiere salidas de un PLC a un tablero de control lo podemos hacer siguiendo el criterio según el grafico mostrado.

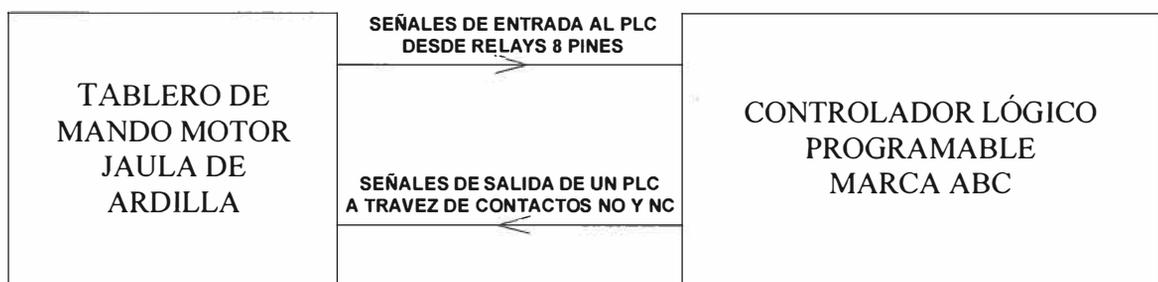


Fig. 3.30 Esquema de direcciones de Señales Tablero-PLC

En la Figura 3.30 se observa que desde un tablero de mando se envía señales al PLC, y desde el PLC se puede enviar señales al tablero.

Esto se dará de acuerdo al cableado y la ubicación del contacto de salida de un PLC que sería para los modos Automático.

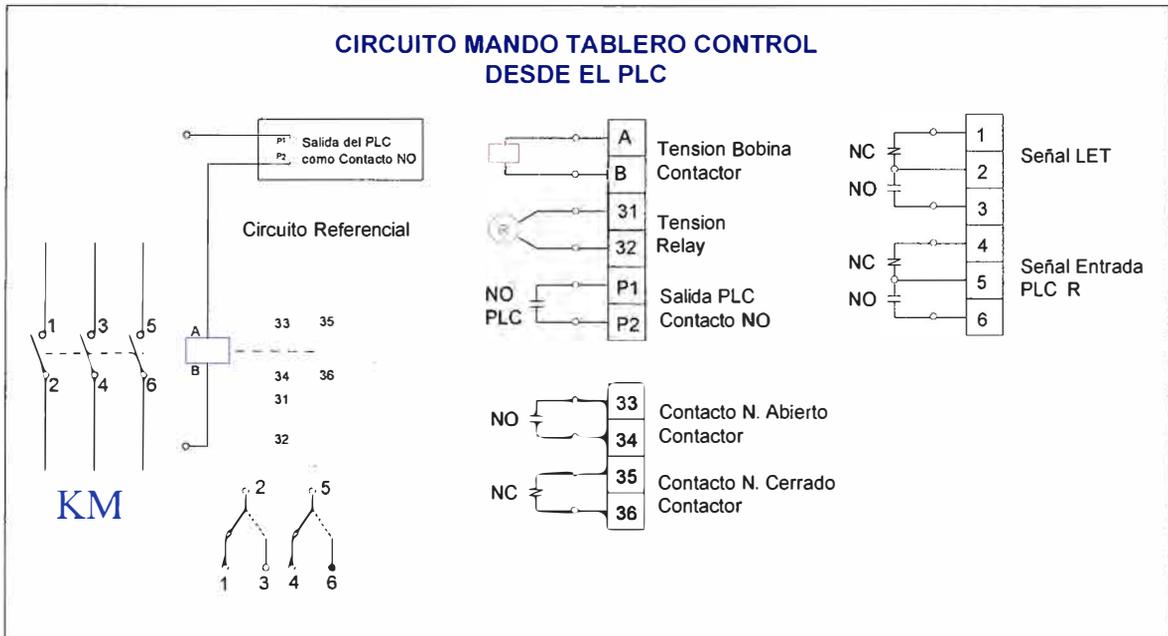


Fig. 3.31 Circuito Mando Tablero Control desde un PLC

La figura 3.31 se diferencia de la figura 3.24 en la salida del PLC, que va condicionar la energización de la bobina del contactor Km, el cuadro marcado con líneas punteadas especifica la separación de todo un circuito y la dependencia de su funcionamiento en el contacto manejado desde el PLC.

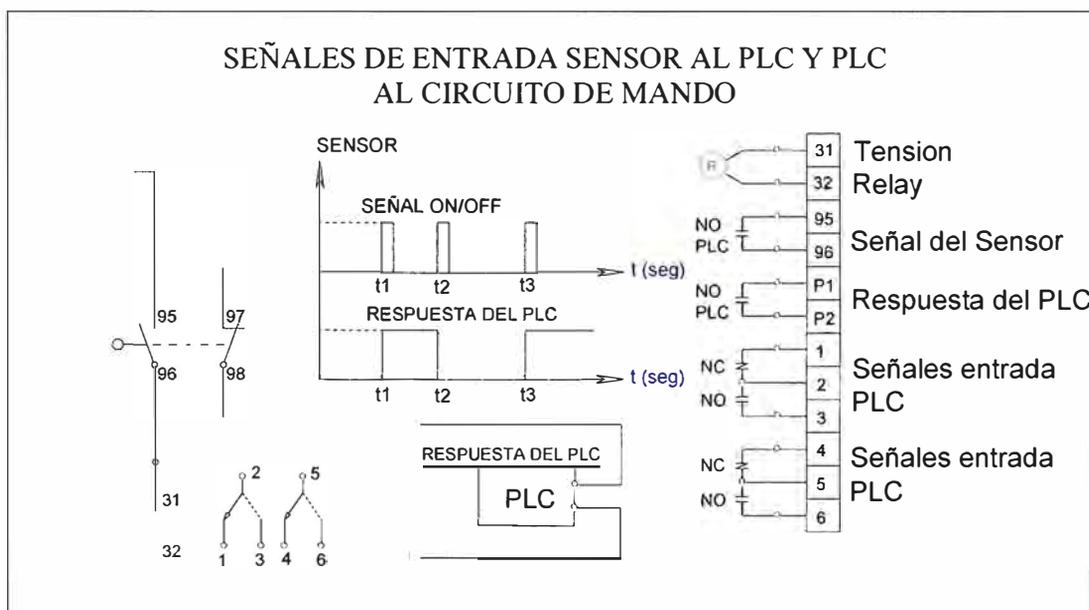


Fig. 3.32 Forma de Trabajar la señal de un sensor ON-OFF

En la figura 3.32 observamos que un sensor que al actuar envía una señal ON-OFF, esa señal puede ser trabajada en el PLC de acuerdo a los requerimientos del sistema y del

tablero de control donde usamos el criterio anterior de entrada y salida del PLC.

Cada uno de los esquemas presentados anteriormente no deberían implementarse necesariamente como una mejora en un tablero de control, sino la idea del automatismo desde una señal ON-OFF hasta una señal analógica de 4 a 20ma pueden ser preparadas en el mismo tablero para una futura implementación a través de borneras bien especificadas y con sus planos respectivos.

CAPÍTULO IV CONTROL ARRANQUE EN EL MOTOR DE ANILLOS ROZANTES

4.1 Descripción

En este tipo de motores, en el rotor se introduce un bobinado trifásico. El bobinado del rotor se puede conectar al exterior por medio de escobillas y anillos rozantes. Este tipo de motores pueden tener resistencias exteriores colocadas en el circuito del rotor, lo que permite reducir la corriente absorbida, reduciendo la saturación en el hierro y permitiendo un incremento en el par de arranque. Conforme la velocidad del rotor aumenta el valor de las resistencias se reduce hasta llegar a cero, lo que permite mantener un par alto.

La ventaja de esta solución es que se puede obtener un par elevado con una corriente de arranque limitada, y es especialmente apropiada para las aplicaciones que tienen una gran carga desde el principio, como es el caso de las chancadoras y molinos, por ejemplo. Su desventaja es la mayor complejidad electromecánica escobillas, anillos rozantes, resistencias y contactores que incrementa los costos (inclusive los de mantenimiento), y reduce la confiabilidad del sistema.

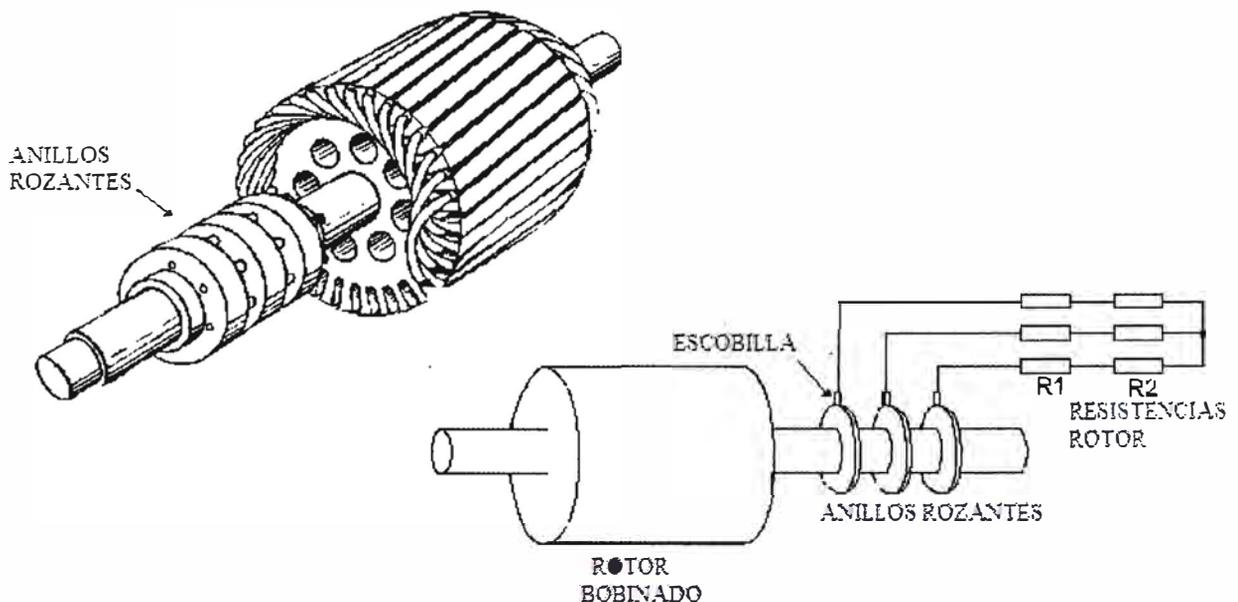


Fig. 4.1 Motor de rotor bobinado

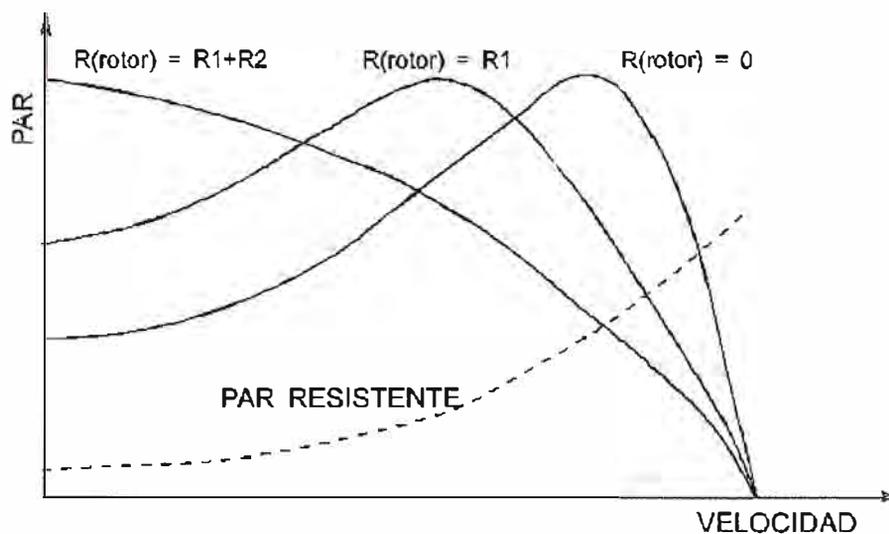


Fig. 4.2 Evolución de la curva par-velocidad variando la resistencia rotórica

4.2 Clasificación

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. El Rotor con anillos rozantes lo ubicamos dentro de la clasificación:

- a) Rotor jaula Ardilla Simple
- b) Rotor jaula de Ardilla Doble
- c) Rotor con Ranura profunda
- d) Rotor Anillos Rozantes

Rotor Anillos Rozantes

Se denominan rotores de anillos rozantes porque cada extremo del bobinado está conectado con un anillo situado en el eje del rotor. Las fases del bobinado salen al exterior por medio de unas escobillas que rozan en los anillos. Conectando unas resistencias externas a las escobillas se consigue aumentar la resistencia rotórica, de esta forma, se logra variar el par de arranque, que puede ser, dependiendo de dichas resistencias externas, del 150 % y el 250 % del par normal. La intensidad nominal no supera las 2 veces la intensidad nominal del motor.

En este tipo de motores, el rotor va ranurado igual que el estator, y en el que se coloca a un bobinado igualmente trifásico similar al del estator conectado en estrella y los extremos libres se conectan a tres anillos de cobre, aislados y solitarios con el eje del rotor. En la figura 4.3 muestre el despiece del motor de rotor bobinado, ahí se puede observar las partes separadas y su ubicación respectiva de cada una de las partes, su funcionamiento lo describiremos posteriormente.

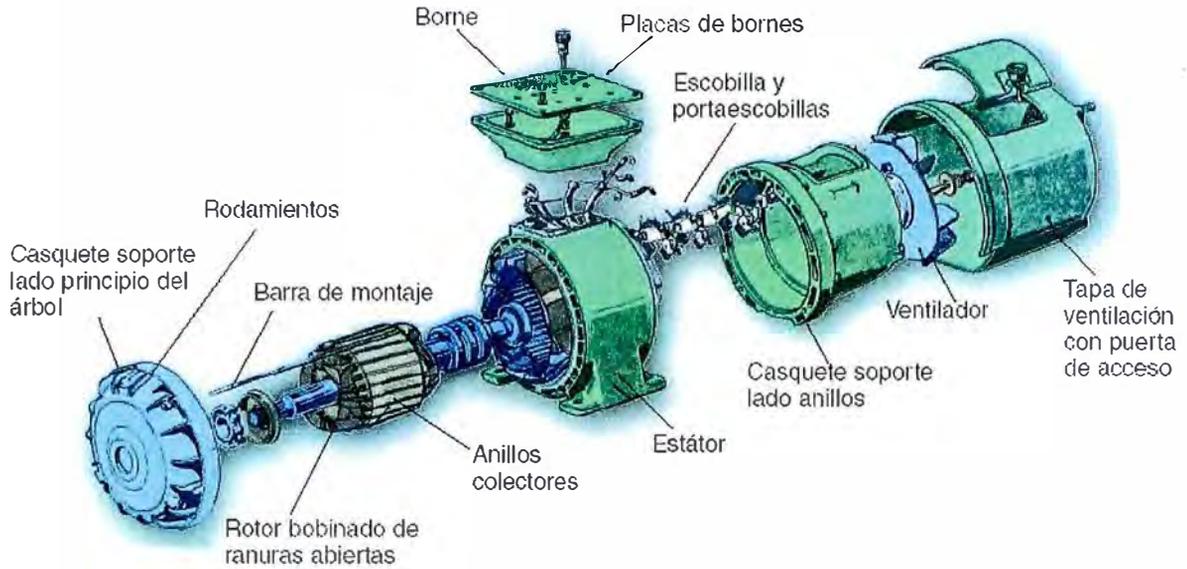


Fig. 4.3 Despiece del motor de Rotor Bobinado

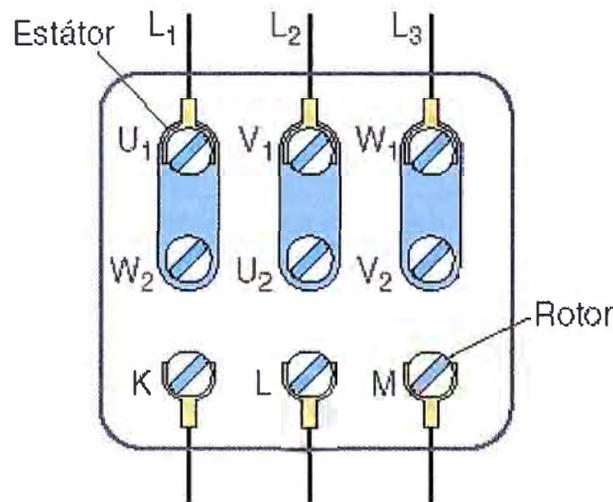


Fig. 4.4 Placa de bornes del rotor trifásico de rotor bobinado

Sobre los anillos se colocan los porta escobillas, que a su vez se colocan a la placa de los bornes del motor por eso en la placa de los bornes de estos motores aparecen 9 bornes como en la figura 4.4

La gran ventaja que presentan estos motores es su par de arranque, ya que puede alcanzar hasta 2.5 veces el par nominal mientras que la intensidad en el arranque es similar a la del par nominal.

Para realizar la puesta en marcha es necesaria la conexión de un reóstato de arranque conectado en serie con la bobina del rotor, y una vez alcanzada la velocidad de régimen se puentean los anillos en estrella.

En la figura 4.5 podemos ver un esquema de conexión de estos motores.

Estos motores tienen una aplicación muy específica y, dada su constitución, necesitan de un mantenimiento mucho más exhaustivo que los del rotor en corto circuito.

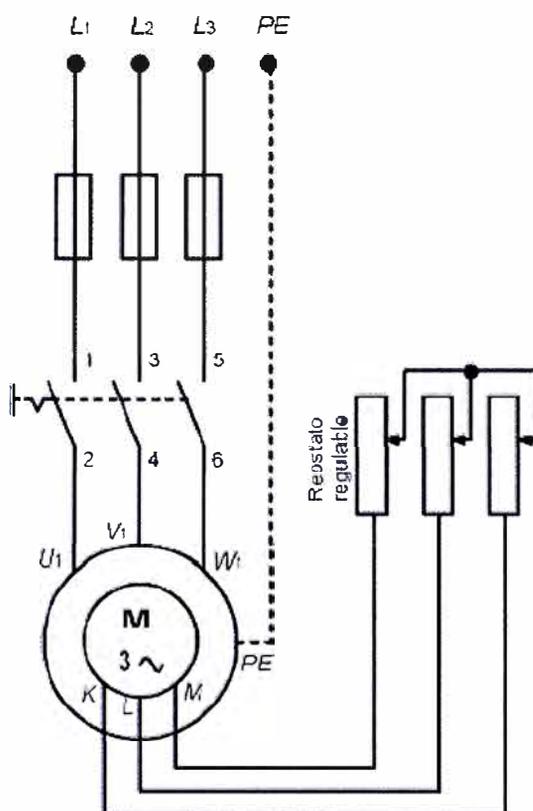


Fig. 4.5 Arranque mediante un reóstato conectado en serie con el rotor.

4.3 Condiciones de Operación

Para realizar una buena selección de un motor eléctrico ya que de ello dependerá la oportunidad de obtener la mayor vida útil del equipo, y una máxima eficiencia, lo que retribuirá directamente a evitar posibles descomposturas o fallas, se debe de realizar una selección basándose en los criterios de condiciones de operación.

La selección de un motor depende primordialmente de tres aspectos:

- a) La instalación
- b) La operación
- c) El mantenimiento

Los pasos a seguir para una adecuada selección de un motor eléctrico son:

- i) La determinación de la fuente de alimentación
- ii) La potencia nominal
- iii) La velocidad de rotación
- v) El ciclo de trabajo (continuo o intermitente)

- vi) El tipo de motor
- vii) El tipo de carcasa

Así mismo, debemos considerar las condiciones ambientales de instalación, y algunas características como el acoplamiento de la carga, los accesorios, y las modificaciones mecánicas necesarias.

También es importante considerar en la selección de un motor eléctrico, las condiciones de servicio, siendo las más importantes:

- a) Exposición a una temperatura ambiente
- b) Instalación en partes o alojamientos completamente cerrados o abiertos, buscando una buena ventilación del motor.
- c) Operación dentro de la tolerancia de +10% y -10% del voltaje nominal
- d) Una operación dentro del valor de frecuencia del +5% y -5%
- e) Operación dentro de una oscilación de voltaje del 1% o menos

Las características de instalación están formadas por un conjunto de elementos, que sirven para dotar de las mejores condiciones a una maquina o equipo para su óptimo funcionamiento, como puede ser:

Instalación:

- Posición
- Cimentación

Condiciones Ambientales

- Temperatura
- Ambiente

Condiciones de alimentación

a) Corriente Directa

- Voltaje
- Frecuencia

b) Corriente Alterna

- Numero de fases
- Frecuencia
- Factor de potencia
- Voltaje

Los motores eléctricos pueden ser alimentados por sistemas de una fase, denominándose motores monofásicos; y si son alimentados por 2 líneas de alimentación, se

les nombra motores bifásicos; siendo así que los motores trifásicos son aquellos que se alimentan de tres fases, también conocidos como sistemas polifásicos. Los voltajes empleados más comúnmente son: 127 V, 220 V, 380 V, 440 V, 2 300 V y 6 000 V. Cuando se habla 6000V ya estamos hablando de tensiones elevadas en media tensión.

4.4 Esquemas de Mando y Fuerza

El circuito mostrado en la figura 4.6 corresponde a un tablero de Arranque de Resistencias rotóricas donde las resistencias van a ir disminuyendo su valor a través del puenteo con contactores, y cuyo control se hará con un MicroPLC Telemecanique. Los contactores desde el KM1 hasta KM8 se accionaran de acuerdo al programa instalado en el MicroPLC Telemecanique, el arranque y parada será controlado con las entradas al PLC I1, I2, I3 los pulsadores serán instalados en dos puntos de manera diferente.

En el campo se ha observado que dicho tablero esta ubicado en una sala de control, y el motor esta ubicado a unos 100 metros, es por esta razón los dos pulsador Stop y dos pulsadores Star.

Los datos de placa del motor de anillos rozantes son los siguientes:

Motor eléctrico nuevo, marca helmke de anillos rozantes apto para transmisión de fajas

Modelo:	DSO315M-06-035
Potencia:	110KW/150 HP
Eléctricos:	3/60/460
Velocidad:	1188 RPM
Aislamiento:	Clase F
Potencia y construcción:	IP55, B3, IC11
Datos rotóricos:	230V/300A
Altura de operación:	1000 msnm
Incluye:	3 termistores
Rodamiento reforzado:	LA
Peso:	950 Kg
Cantidad:	1

Según la clasificación de resistencias según la norma MEMA en la tabla 4.1 se va determinar el valor de la resistencia rotórica a colocarse. El plano mostrado a continuación es una aplicación en la industria minera para arrancar un molino de chancadora de mineral. El analizador de red va determinar el consumo de potencia del motor en el tiempo para el control de la energía debido a diversos problemas que presenta su suministro.

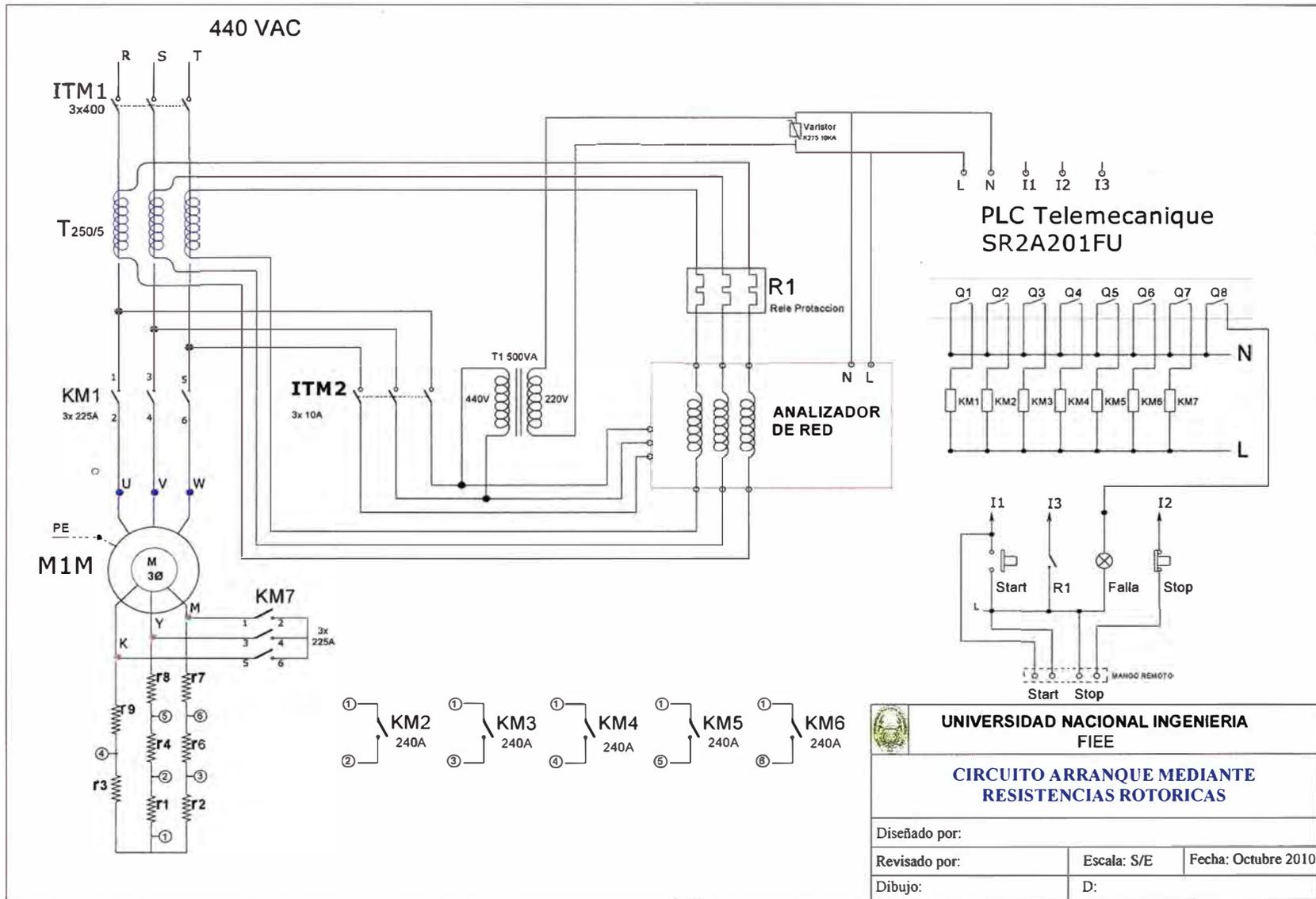


Fig. 4.6 Circuito de arranque mediante resistencias rotoricas

4.5 Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos

El motor de rotor bobinado a diferencia del motor de inducción AC genera el mismo torque en ambos avance y reversa. Son comúnmente usados para ventiladores, fajas transportadoras y sistemas de grúa.

Los motores se clasifican de acuerdo a su bobinado primario y secundario. La clasificación del lado primario esta dado en Voltaje y potencia (Kwatts), mientras que la clasificación del secundario esta dado en términos de voltaje y corriente. La corriente en el secundario esta definida por la salida del rotor bloqueado verificado durante las pruebas.

Calculo de la Resistencia

Para calcular la resistencia total por fase requiere de la siguiente información.

- Voltaje secundario
- Corriente secundaria
- El número de velocidades/pasos requeridos para la aplicación. El número de pasos es el actual número de etapas de resistencias conmutadas. Considerando el número de velocidades es el número de medidas mas uno (la velocidad extra que va sin resistencias en todo el circuito)
- Tipo de servicio, de acuerdo a la norma NEMA.
- Torque de arranque (que también puede ser especificado como el último dígito del número de clasificación)

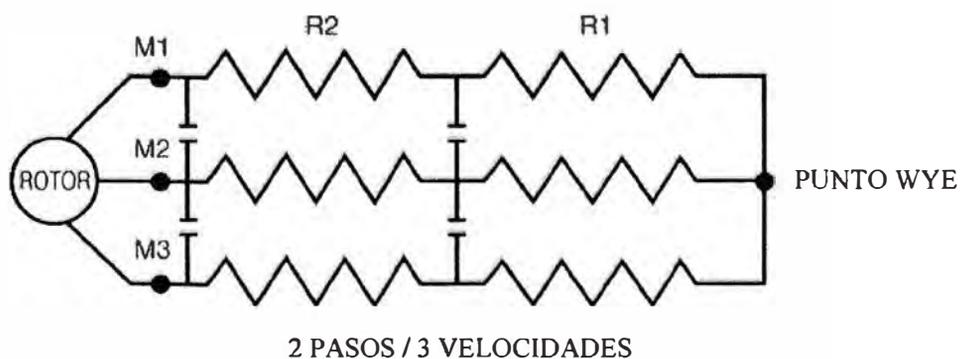


Fig. 4.7 Especificación de las etapas de resistencias

Formula de la Resistencia total

$$R_{tot} = \frac{\text{Tensión Secundario}}{\text{Corriente Secundario} \times 1.713 \times \% \text{ Torque Arranque}} \quad (4.1)$$

La resistencia total esta dividida dentro del número de pasos requeridos. El tamaño no es uniforme para permitir una transición suave de la velocidad del motor como los cambios de inercia en la carga. Las cortes mas comunes están dados debajo, con el primer

siendo mas cercano a la fuente de potencia AC y moviéndose progresivamente hacia el motor.

El amperaje asociado con cada paso está determinado por cantidad observada por los pasos individuales calculado por la cantidad de circuitos al lado izquierdo y por la clase servicio del motor.

Estos valores de la lista de abajo son porcentajes del rango de corriente. Como una regla general los ventiladores, bombas y los sistemas de transporte son de Clase 130, mientras que los Sistemas de Grúa pueden ser de Clase 160, 170 o 190.

Una nota acerca de la corriente secundaria: si la corriente de arranque es mayor al 100% recuerda utilizar también este factor en el dimensionamiento de pasos resistencia individual. Por ejemplo, si el torque de arranque es 150% el amperaje usado para el diseño del valor de la resistencia deberá ser 1.5 veces la corriente nominal secundaria del motor. La siguiente tabla es para seleccionar la clase según la norma NEMA para una aplicación en relación al torque de arranque y el ciclo útil.

Tabla N° 4.1 Clasificación de Resistencias NEMA [10]

NEMA Clasificación de resistencias								
Aprox porcentaje de corriente total de carga en primer punto arranque @rest	Número de clase aplicada al ciclo útil							
	30 seg de cada 15min	5 seg de cada 80 seg	10 seg de cada 80 seg	15 seg de cada 90 seg	15 seg de cada 60 seg	15 seg de cada 45 seg	15 seg de cada 30 seg	Ciclo continuo
25	101	111	131	141	151	161	171	91
50	102	112	132	142	152	162	172	92
70	103	113	133	143	153	163	173	93
100	104	114	134	144	154	164	174	94
150	105	115	135	145	155	165	175	95
200 superior	106	116	136	146	156	166	176	96

Una vez definida la resistencia se recomienda lo siguiente en el tablero de control:

- Se recomienda tener un control a distancia a travez de contactos normalmente abiertos y cerrados según se ha mostardo en esquemas anteriores en las figura 3.28.
- Se recomineda un tablero IP55 para la proteccion del microPLC telemecanique, donde no debe ingresar polvo ni agua en el caso de la aplicacion del tablero.
- Según la aplicación se recomienda tener un tablero convencional de resistencias rotoricas para posibles casos de fallas del micro PLC telmecanique.

CAPÍTULO V

CONTROL ARRANQUE BOMBAS CONTRA-INCENDIO

5.1 Descripción Sistemas Bomba Contra Incendio

A continuación vamos hacer una breve descripción de Protección Contra Incendios y su importancia en los diferentes Sistemas de Seguridad en diferentes ámbitos de la vida cotidiana y en empresas.

Se llama **Sistemas de Bomba Contra Incendio** al conjunto de medidas y equipos eléctricos como motores, bombas de presión, bombas de caudal, que se disponen en los edificios para protegerlos contra la acción del fuego.

Generalmente, con ellas se trata de conseguir tres fines:

- Salvar vidas humanas
- Minimizar las pérdidas económicas producidas por el fuego.
- Conseguir que las actividades del edificio puedan reanudarse en el plazo de tiempo más corto posible.

La salvación de vidas humanas suele ser el único fin de la normativa de los diversos estados y los otros dos los imponen las compañías de seguros rebajando las pólizas cuanto más apropiados sean los medios.

Las medidas fundamentales contra incendios pueden clasificarse en dos tipos:

- Medidas pasivas: Se trata de las medidas que afectan al proyecto o a la construcción del edificio, en primer lugar facilitando la evacuación de los usuarios presentes en caso de incendio, mediante caminos (pasillos y escaleras) de suficiente amplitud, y en segundo lugar retardando y confinando la acción del fuego para que no se extienda muy deprisa o se pare antes de invadir otras zonas.
- Medidas activas: Fundamentalmente manifiestas en las instalaciones de extinción de incendios.

Medios pasivos

Para conseguir una fácil y rápida evacuación de los ocupantes del edificio, las diversas normativas determinan el ancho de los pasillos, escaleras y puertas de evacuación,

las distancias máximas a recorrer hasta llegar a un lugar seguro, así como disposiciones constructivas (apertura de las puertas en el sentido de la evacuación, escaleras con pasamanos). También se establecen recorridos de evacuación protegidos (pasillos y escaleras), de modo que no solamente tienen paredes, suelo y techo resistentes a la acción del fuego, sino que están decorados con materiales incombustibles. Las disposiciones llegan a determinar que un tramo de escaleras tendrá un mínimo de tres escalones, para evitar tropezones.

Para retardar el avance del fuego se divide el edificio en sectores de incendio de determinados tamaños, sectores limitados por paredes, techo y suelo de una cierta resistencia al fuego. En la evacuación, pasar de un sector a otro, es llegar a un lugar más seguro.

Se sabe que Nerón, cuando reconstruyó Roma tras el incendio, obligó a que las medianeras de las casas fueran de piedra, para evitar que en lo futuro se repitiese un desastre semejante. Es la primera noticia que se tiene del establecimiento de algo semejante a lo que ahora se conoce como "sectores de incendio".



Fig. 5.1 Cuarto de Bombas

Medios activos

Se dividen en varios tipos

a) **Detección:**

Mediante detectores automáticos (de humos, de llamas o de calor, según las materias contenidas en el local) o manuales (timbres que cualquiera puede pulsar si ve un conato de incendio).

b) **Alerta y Señalización:**

Se da aviso a los ocupantes mediante timbres o megafonía y se señalan con letreros en color verde (a veces luminosos) las vías de evacuación. Hay letreros de color encarnado señalando las salidas que no sirven como recorrido de evacuación. También debe de haber un sistema de iluminación mínimo, alimentado por baterías, que permita llegar hasta la salida en caso de fallo de los sistemas de iluminación normales del edificio.

Los sistemas automáticos de Alerta se encargan también de avisar, por medios electrónicos, a los bomberos. En los demás casos debe encargarse una persona por teléfono.

c) Extinción:

Mediante agentes extintores (agua, polvo, espuma, nieve carbónica), contenidos en extintores o conducidos por tuberías que los llevan hasta unos dispositivos (bocas de incendio, hidrantes, rociadores) que pueden funcionar manual o automáticamente.

En el caso de agua a presión hay todo un Sistema de Bombeo a presión y a caudal que tiene relación con la parte eléctrica y la automatización de bombas.

d) Presurización de escaleras:

Por otra parte, y en la edificación de mediana a gran altura, es ampliamente utilizado el método de presurización de las cajas de escaleras fin de mantener una presión estática muy superior a la existente en los pasillos de los pisos. Este artificio es necesario para que los humos a alta temperatura no se desplacen hacia el interior de las escaleras, lugar destinado a la expedita evacuación de los ocupantes del edificio, junto con evitar un posible efecto de tobera debido a la menor densidad propia de los humos, lo que provocaría una aceleración en la propagación del incendio y su difícil manejo. Este método de presurización se realiza mediante ventiladores industriales de tipo axial, de gran caudal, que generan una circulación desde la parte inferior de la edificación hasta un respiradero superior. Cabe recordar que para que este método surta efecto, las puertas cortafuego deben mantenerse cerradas siendo para ello lo más apropiado las puertas pivotantes.

5.2 Normativa en Bombas Contra Incendio NFPA

NFPA: Misión, Códigos y Normas

Utilizando el conocimiento de la industria y los últimos avances tecnológicos, la NFPA continúa reduciendo el impacto de los incendios y otros riesgos sobre la calidad de vida y propiedad a través de los códigos, normas, capacitación, investigación y educación.

Fundada en 1896, la NFPA es una organización internacional, sin fines de lucro integrada por miembros voluntarios. Actualmente, cuenta con más de 75.000 miembros representantes de más de 100 naciones de alrededor del mundo y es reconocida como el principal organismo internacional de la prevención contra incendios.

Los mundialmente conocidos Códigos Nacionales de Incendios son un compendio de los más de 300 códigos y normas sobre seguridad de la NFPA repercuten cada edificio, proceso, servicio, diseño e instalación de Estados Unidos. Cabe mencionar que muchos de los códigos NFPA son utilizados, por adopción o por referencia, en otros países en proyectos de gran renombre en el ámbito mundial.

Los códigos y normas de la NFPA han ayudado a salvar vidas y a proteger propiedades alrededor del mundo. La familia NFPA, desde los voluntarios hasta los empleados, están dedicados a fomentar la seguridad pública.

La NFPA promueve la más amplia participación posible para el desarrollo de códigos. El proceso es conducido por más de 6.000 voluntarios con diversas experiencias profesionales, quienes están al servicio de 250 comités para el desarrollo técnico de códigos y normas. A lo largo del proceso, se exhorta a los grupos interesados para que compartan sus conocimientos con los comités técnicos de la NFPA. Todos los miembros de la NFPA tienen la oportunidad de votar sobre los códigos y normas propuestas y revisadas.

El enfoque de la NFPA para lograr un verdadero consenso ha ayudado a que el proceso de desarrollo de código de la asociación logre la acreditación de “American National Standards Institute” (ANSI).

Algunos de los códigos desarrollados por medio del proceso NFPA algunos de ellos, los más conocidos y utilizados en el mundo son:

- NFPA 13, Norma para instalaciones de sistemas de rociadores. Suministra los requerimientos mínimos para el diseño, instalación y prueba de los sistemas de rociadores.
- NFPA 20, Norma para la instalación de bombas estacionarias contra incendio. Establece los requerimientos mínimos para la instalación de bombas centrífugas.
- NFPA 30, Código de líquidos inflamables y combustible. Norma nacional para manejo de líquidos inflamables y combustibles.
- NFPA 70, Código eléctrico nacional. El NEC es el código más aceptado y utilizado a nivel mundial. Expone la instalación apropiada de los sistemas eléctricos.

- NFPA 72. Código nacional de alarmas de incendio. Establece los requerimientos mínimos para sistemas de alarmas de incendio. También cubre la inspección. Prueba y mantenimiento.

Resumen Norma NFPA 20 - Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias de Protección contra incendios

- a) Origen y Desarrollo de la NFPA 20 La primera norma de la National Fire Protection Association para rociadores automáticos fue publicada en 1986 y contenía párrafos sobre bombas contra incendio de vapor y rotativa.

Al comienzo, las bombas contra incendio eran solo aportes secundarios para rociadores, tuberías e hidrantes y se iniciaron en forma manual. En la actualidad, las bombas contra incendio se han incrementado ampliamente en cantidad y en aplicaciones: algunas constituyen el único suministro de agua, o el más importante, y casi todos se inician automáticamente. A menudo, las primeras bombas tomaban la altura de succión desde suministros de agua estancada o fluyente porque la afamada Norma Nacional de Bombas contra Incendio de Vapor y los tipos rotativos se adaptaba a ese servicio. La ascendencia de la bomba centrífuga provocaba un suministro positivo hacia bombas de eje horizontal desde los abastecimientos de agua pública y tanques subterráneos. Más tarde, se descendieron bombas de tipo turbina de eje vertical dentro de fosos o pozos húmedos con abastecimiento desde lagunas u otras fuentes de agua subterráneas.

La protección contra incendios ahora requiere bombas más grandes, presiones mayores y unidades mas variadas para un amplio rango de sistemas que protegen tanto la vida como la propiedad. Los sistemas especiales de protección contra incendio y de rociadores calculados y diseñados hidráulicamente han cambiado por completo los conceptos de suministro de agua.

Para la edición 2007, se refinaron requisitos para impulsores de velocidad variable, se agregaron requisitos para tanque de ruptura, y se incluyeron tablas de pruebas de reemplazo de componentes.

- b) Desempeño de la unidad de bomba contra incendio

La unidad de bomba contra incendio, que consta de una bomba, un impulsor y un controlador, deberá funcionar de conformidad con la presente norma como una unidad completa cuando haya sido instalada o cuando los componentes hayan sido reemplazados (Referencia NFPA 5.4)

Pruebas hidrostáticas y lavado con agua

Mencionaremos la lista de pruebas a las que debe estar sometido un sistema contra incendios y algunos datos según NFPA 20 - Capítulo 14.

- a) Descarga de agua
- b) Prueba hidrostática - Las tuberías de succión y de descarga deberán ponerse a prueba hidrostáticamente a una presión no menor a 200 psi (13.8 bar), o a 50 psi (3.4 bar) por encima de la presión máxima que mantendrá el sistema, la que resulte mayor. La presión requerida en deberá mantenerse durante 2 horas.
- c) Pruebas de aceptación en campo
- d) Curva de la bomba certificada
- e) Equipamiento de prueba
- f) Pruebas de caudal
- g) Control de limitación de presión de velocidad variable
- h) Procedimiento de medición
- i) Bombas de desplazamiento positivo
- j) Prueba de arranque de cargas
- k) Prueba de inversión de fase
- l) Prueba de aceptación de controlador
- m) Manuales, herramientas especiales y partes de repuesto
- n) Inspección periódica, pruebas y mantenimiento

El fabricante de cada uno de los componentes más importantes deberá entregar un mínimo de un manual de instrucciones de todos los componentes más importantes del sistema de bomba contra incendio. El manual deberá ofrecer lo siguiente:

- (1) Una explicación detallada del funcionamiento del componente
- (2) Instrucciones para mantenimiento de rutina
- (3) Instrucciones detalladas en relación a las reparaciones
- (4) Lista de piezas e identificación de partes
- (5) Diagramas esquemáticos del controlador, interruptor de transferencia y paneles de control de bombas contra incendio.

Deberá estar disponible para la inspección por parte de la autoridad competente cualquier herramienta especial y dispositivo de prueba requeridos para un mantenimiento de rutina en el momento de la prueba de aceptación de campo.

Las bombas contra incendio deberán inspeccionarse, probarse y mantenerse de

acuerdo con la NFPA 25. Norma para la inspección, puesta a prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendio basados en agua.

5.3 Condiciones de Operación

En tablero de control de bombas contra incendio las condiciones de operación son las siguientes:

- a) Exposición a una temperatura ambiente
- b) Instalación en partes o alojamientos completamente cerrados o abiertos, buscando una buena ventilación del motor.
- c) Operación dentro de la tolerancia de +10% y -10% del voltaje nominal
- d) Una operación dentro del valor de frecuencia del +5% y -5%
- e) Operación dentro de una oscilación de voltaje del 1% o menos

Las características de instalación están formadas por un conjunto de elementos, que sirven para dotar de las mejores condiciones a una maquina o equipo para su óptimo funcionamiento, como puede ser:

Instalación:

- Posición
- Cimentación

Condiciones Ambientales

- Temperatura
- Ambiente

Condiciones de alimentación

Corriente Directa

- Voltaje
- Frecuencia

Corriente Alterna

- Numero de fases
- Frecuencia
- Factor de potencia ($\cos \phi$)
- Voltaje

Los motores eléctricos en bombas contra incendio pueden ser alimentados por sistemas de una fase, denominándose motores monofásicos en el caso de la bomba jockey; y si son alimentados por 2 líneas de alimentación, se les nombra motores bifásicos; siendo así que los motores trifásicos son aquellos que se alimentan de tres fases, también

conocidos como sistemas polifásicos. Los voltajes empleados más comúnmente son: 127 V, 220 V, 380 V, 440 V, 2300 V y 6000 V.

5.4 Esquemas de Mando y Fuerza

En los Tableros de Control de los Sistemas Contra Incendio debemos tener en cuenta el tipo de operación que se va realizar para a partir de una lógica de control hacer el tablero eléctrico que va controlar lo siguiente:

- Bomba de Presión
- Bomba de caudal
- Presión en la Tuberías
- Caudal del Agua

En el capítulo 14 de la norma NFPA 20 nos dice acerca del límite de presiones en los cuales va variar la tubería, a partir de esta definiremos el funcionamiento de los Motores y el tipo que se va utilizar.

A continuación explicaremos en que consiste el esquema de Control y Fuerza que se ha mostrado a continuación.

a) Esquema de Fuerza

Tenemos dos Bombas la Bomba Jockey (Bomba de Presión) y la Bomba Principal (Bomba de Caudal). Una trabaja en un arranque directo y la otra en un arranque Estrella-Triangulo. Ambos Bombas están relacionados por una caída de presión

b) Esquema de Mando

El esquema de mando comprende el funcionamiento de todo el sistema de control de Bombas Contra Incendios, mediante una lógica cableada se ha desarrollado un tablero que comprende un arranque estrella-triangulo, un arranque directo, unos contactos normalmente abiertos que son presostatos que actúan de acuerdo a una calibración en función a los requerimientos de la norma, y un reloj que va hacer trabajar las Bombas como un forma de mantenimiento mensual de acuerdo a la norma NFPA- 20 capítulo 14.

El sistema se presuriza a una presión inicial P1 con la bomba jockey y se le deja en un presión determinada, cuando la presión baja en un rango de acuerdo a la calibración por la bomba jockey arranca automáticamente, si la presión baja aun mas el segundo presostato va activar la bomba de caudal para restablecer la presión y empezar a actuar las mangueras de agua que supuestamente están siendo utilizadas para apagar un incendio. Dicha agua se extrae de un reservorio hecho al costado del cuarto de Bombas.

Según la norma NFPA-20 la bomba de caudal no debe apagarse por ningún motivo y el tablero de control debe cumplir con los requerimientos de la norma. Los tableros de control que mostramos fueron armados en muchísimos trabajos en edificios en lima, donde cumplen con la norma y con los requerimientos de la ANSI. Un tablero de Bomba contra incendio tiene características especiales es decir no puede ser manipulado por personal que no esté capacitado en apagar fuego, es por eso que la relevancia del PLC y del control a distancia es muy importante como su operación en caso de incendio.

5.5 Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos

Según lo visto en capítulo III y la posible automatización de un tablero convencional, se realiza lo mismo en los tableros de Bomba Contra Incendio, pero en este caso se está mostrando un tablero usual armado por la empresa COLORADO 10, donde no se ha implementado las borneras necesarias para una posible automatización a distancia.

Se recomienda en este caso lo siguiente:

- Implementar las borneras necesarias para un control a distancia de acuerdo a los principios explicados en el capítulo III.
- La importancia del grado de protección IP en los tableros de Bomba Contra Incendio será fundamental ya que se está trabajando con agua a presión muy elevada.
- La norma NFPA es la que nos dará la lógica del control en los tableros contra incendio, debe ser analizada al momento de realizar una aplicación práctica y en caso de implementar un sistema automatizado a distancia.

Para la instalación de los presostatos en el cambio de regulación (dentro de los parámetros indicados en el presostato) se instala un manómetro con rango apropiado en la línea de descarga. Dentro del presostato hay unos pernos que se giran a la derecha y a la izquierda como en el ejemplo siguiente. Cambiar 69MB7Y de 95-125 a 100-140

Tabla N° 5.1 Ejemplo grafico de calibración de presostatos

INICIAL	PRIMER PASO	SEGUNDO PASO
Desconecta ○ 125	 130	 140
Conecta ○ 95	A Hasta 100	B Hasta 100

Tanto A como B son los contactos normalmente abiertos del presostato y van a actuar de acuerdo a las presiones medidas y a la calibración realizada según la tabla.

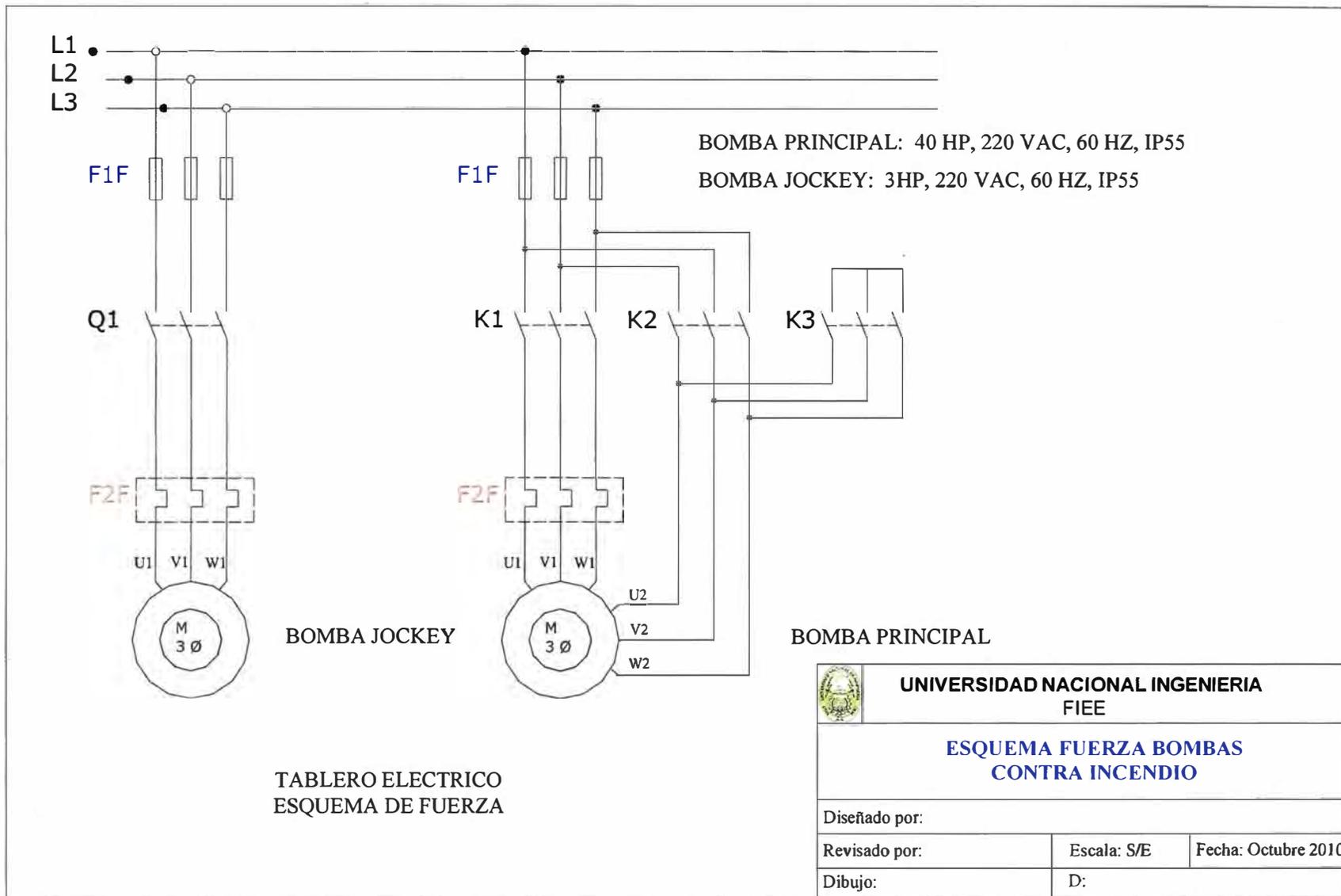


Fig. 5.2 Esquema Eléctrico fuerza

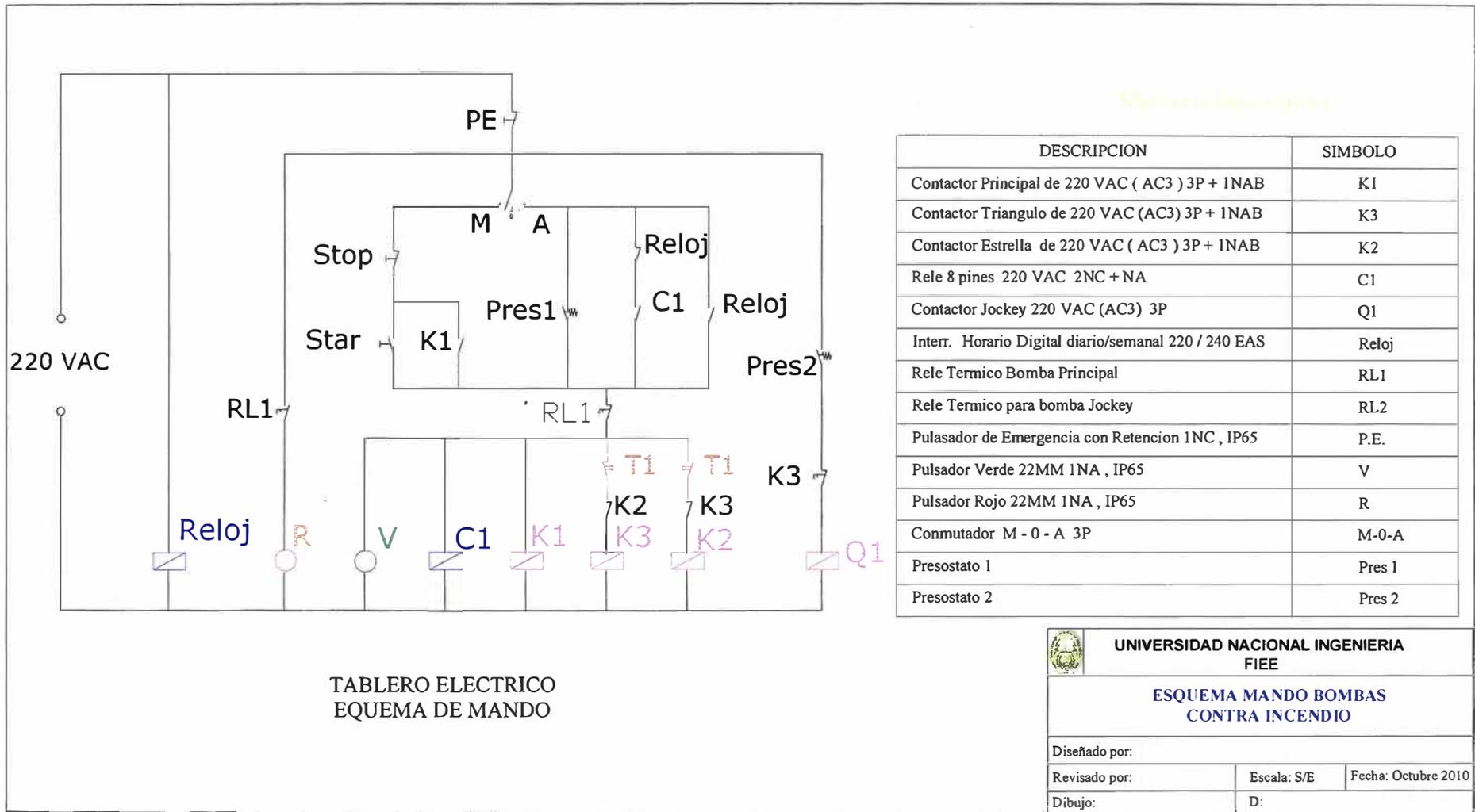


Fig. 5.3 Esquema Eléctrico de mando

CAPÍTULO VI

DESCRIPCIÓN DE VARIADORES DE VELOCIDAD

6.1 Descripción Variadores de Velocidad INVT

El Variador de Velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) es en un sentido amplio un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable (ASD, también por sus siglas en inglés Adjustable-Speed Drive). De igual manera, en ocasiones es denominado mediante el anglicismo Drive, costumbre que se considera inadecuada.

La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o cuasi-constante, y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc.

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua (sin ser un motor paso a paso) también puede ser designado como variador de velocidad.

El variador de velocidad transforma la corriente AC en corriente DC para luego convertirlos en pulsos y generar una corriente AC que permita controlar la corriente y el voltaje de salida.

Las formas de onda en la salida del Variador son como las que se muestra en la

Figura 6.2 muestra tres tipos de onda que son:

- Voltaje de Entrada variable (VVI)
- Inversor de Fuente de Corriente (CCI)
- Modulación de Ancho de Pulso (PWM)

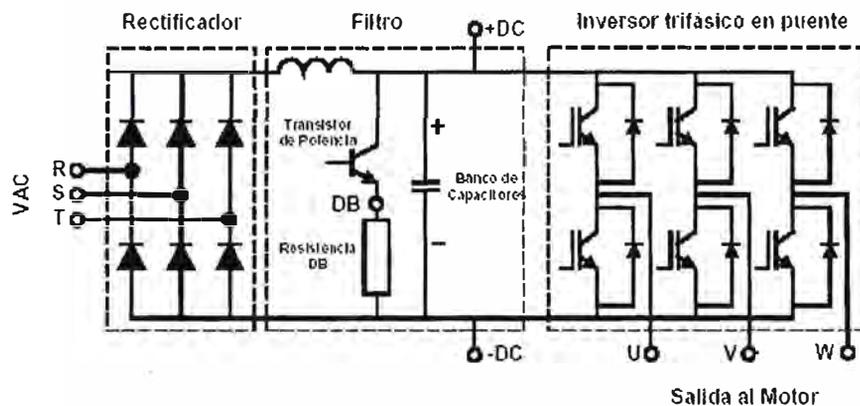


Fig. 6.1 Diagrama de Bloques de Variador de Velocidad

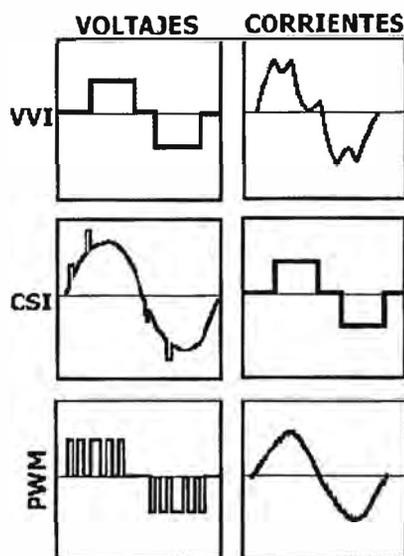


Fig. 6.2 Formas de onda de salida

Para poder comprender bien el empleo de los inversores, es de importancia conocer que:

- Potencia: el rango de trabajo
- Torque: potencia eje
- Torque de Carga: torque requerido para la aplicación.
- Torque del Motor: torque disponible de la maquina primaria

Potencia y Torque

- Potencia es la relación en el tiempo para realizar un trabajo
- La potencia es el producto del torque por la velocidad

$$P = T \times n$$

Donde:

- T: torque
- N: velocidad

La velocidad y la frecuencia del motor están relacionadas de manera directamente proporcional.

La potencia el torque y la velocidad de la máquina están relacionados en el funcionamiento de un variador de velocidad, a continuación mostramos unos esquemas que nos explican estos detalles.

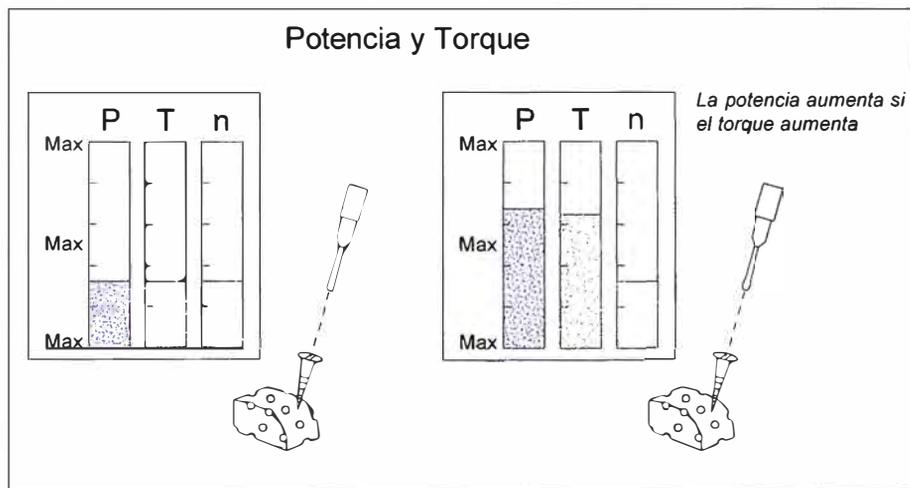


Fig. 6.3 Grafica de la potencia y torque en aumento

Si el torque aumenta entonces la potencia aumenta, vemos el control del consumo de potencia en el tiempo de acuerdo a las variaciones de la carga.

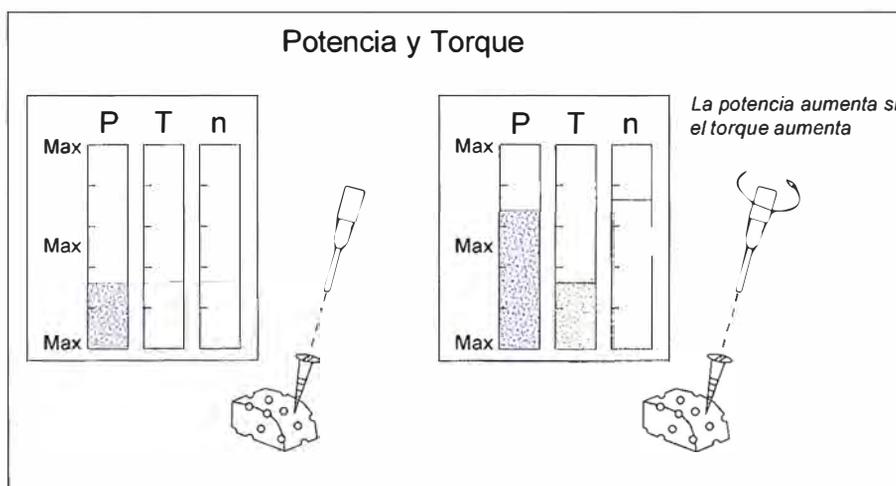


Fig. 6.4 Gráfica de la potencia y velocidad en aumento

Si la velocidad aumenta entonces la potencia aumenta, una característica del variador es que controla el consumo de potencia en el tiempo de acuerdo a las variaciones de

velocidad manteniendo un torque constante.

La explicación más se dirige hacia las características físicas del funcionamiento del variador en el motor y se aplicaría en la industria de acuerdo al rubro.

6.2 Aplicación del Inversor INVT en Media Tensión

Desde el año 2003 Shenzhen INVT Electric Co. Ltd. se ha dedicado al desarrollo y aplicación de inversores de Media Tensión (voltaje: 660V ~ 690V, 1140V), y ha acumulado una rica experiencia en su incesante práctica y exploración. Actualmente los Inversores fabricados en Media Tensión y producido por nosotros son aplicadas en su totalidad en suministro de agua potable en ciudades, bombas sumergibles, bombas de inyección de agua, y extracción en yacimientos petrolíferos, y ventilación principal, fajas transportadoras, y excavadora de carbón (a prueba explosión) en minas y han obtenido economías perfectas y beneficios sociales. En la actualidad, los rangos de potencia de nuestros inversores de media tensión va desde 22 kw hasta 800 Kw. Casi cubriendo las aplicación de al menos toda la industria y las empresas mineras.

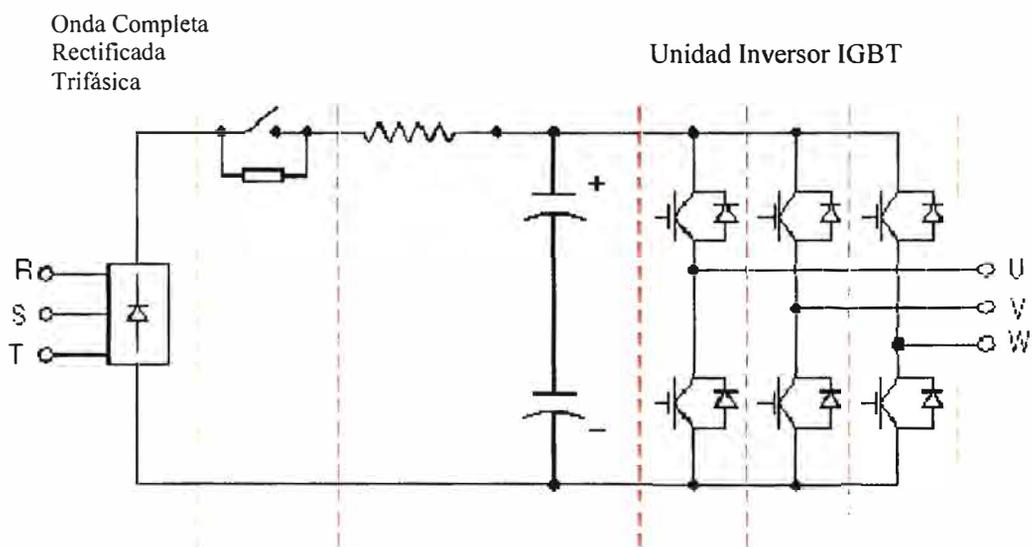


Fig. 6.5 Composición del inversor INVT Media Tensión

Principales dispositivos y descripción técnica

- 1) Es usado un puente de voltaje rectificado inverso en 4400V.
- 2) Un reactor DC es usado para reducir la entrada de corriente de armónicos a la entrada del inversor.
- 3) El módulo IGBT del inversor usa 3300V de alta-tensión sin la conexión serial del IGBT de modo que el número de dispositivos de potencia es reducido y como consecuencia mejoramos la confiabilidad del sistema.

Los módulos de nueva generación caracterizan pérdidas bajas así la eficiencia del equipo de manera integral es ampliamente mejorado.

- 4) Los circuitos conductores usan transmisión fibra de aislamiento al implementar conductores de gran longitud, lo que mejora el desempeño contra la interferencia de los circuitos de Alta-tensión.
- 5) La fluctuación de voltaje de diseño de $\pm 15\%$ pueden soportar impactos instantáneos de hasta 250% corriente. Tiene un gran torque a baja frecuencia dado para la potencia ceñida y en todas partes de las condiciones industriales.
- 6) El inversor proporciona una fuerte corriente de impulso, y puede operar de manera estable y segura incluso en el caso de un gran rango de fluctuaciones de carga.
- 7) La tecnología avanzada Space-Vector-Pulse-Width-Modulation (SVPWM) es usada, y las señales de secuencia cero son inyectadas dentro de la onda seno. El SVPWM es una tecnología de modulación no-sinoidal con la inyección del apropiado tercer armónico dentro de la onda seno. El modulo lineal es de grado superior al SPWM en 15% y proporciona una menor salida de armónicos. Así la frecuencia de interrupción es disminuida. Las pérdidas son reducidas, la confiabilidad y tiempo de vida del sistema es mejorado.
- 8) El inversor puede suprimir instantáneamente la sobrecorriente del motor (La corriente instantánea de impulso puede alcanzar hasta el 250%) la cual garantiza un no-disparo en condiciones de carga pesada y a su vez no influye sobre la eficiencia de la producción.
- 9) Perfecta protección: Sobrecorriente, Sobrevoltaje, Sobrecarga, Bajo voltaje, Baja carga, salida de fase, Corto circuito, sobre calentamiento etc.

Tecnología del Inversor a Prueba de Explosión.

El Inversor a prueba de explosión es intrínsecamente segura conjuntamente desarrollada por Shenzhen INVT Electric Co, Ltd. Y la compañía adopta otros equipamientos a prueba de explosión como tubos de calor de alta eficiencia u otras tecnologías de disipación de calor de alta eficiencia. La disipación de calor de alta eficiencia derivados de estos es extremadamente baja, la resistencia térmica resuelve el problema de la disipación de calor en IGBT de Media tensión. La máxima potencia del diseño del inversor puede alcanzar 800 KW/1140 VOL. Con respecto a ambiente especiales como minas, pozos. Además las correspondientes pruebas de humedad y las medidas tomadas en las pruebas de goteo para la estructura del la caja del Inversor a

prueba de explosión. La distancia de fuga y el espaciamiento en el circuito principal son incrementados tanto como sea posible. Para el circuito de control las medidas especiales de las pruebas de humedad son tomadas por todas las tarjetas de control. El sensor del INVT CHV en modo de control lineal es tomado por la unidad de regulación de las variables frecuencia y velocidad en las pruebas de explosión. Las consideraciones del control fundamental lineal del sensor son las siguientes: detecta la corriente de excitación (o flujo magnético) y corriente de torque van de acuerdo a las componentes del control básico, a los parámetros de la entrada del motor y cierta relación , control de la frecuencia de la salida de tensión del rotor al darle valores y detectar valores de la corriente de excitación (o flujo magnético) y obtener una corriente de torque consistente unos con los otros y luego la salida del torque. De esta forma, el control lineal es implementado. El uso de un inversor en el control lineal del sensor no solo puede coincidir a los sistemas de regulación de velocidad en DC en el rango de regulación de velocidad sino también puede controlar el torque generado por el motor asíncrono, para asegurar la salida del rango de torque que puede alcanzar 1.5 veces durante la operación en baja frecuencia (0.5Hertz).

Aplicación en fajas transportadoras para uso minero a prueba de explosión

Las fajas transportadoras son un tipo de equipamiento de transporte principal para alta producción y eficiencia en modernas minas de carbón. Hay una variedad de tecnologías de Drives para fajas transportadoras, en múltiples formas tales como arranque directo, tipos de regulación de velocidad en acoplamientos líquidos, arranque mediante software, drive de frecuencia variable AC y así sucesivamente. El esquema de la faja transportadora es mostrado como sigue a continuación:

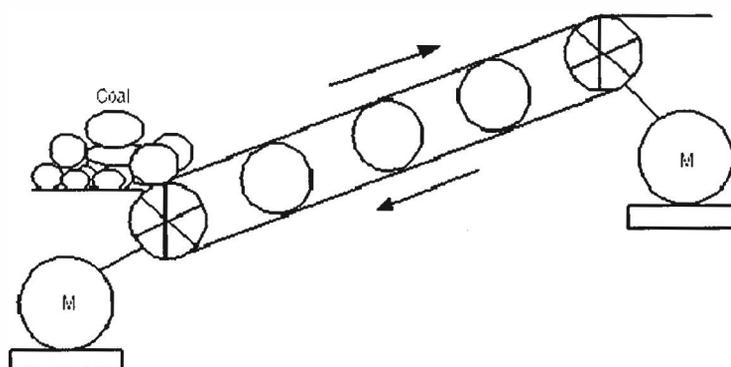


Fig. 6.6 Diagrama esquemático faja transportadora

En la actualidad las fajas transportadoras en pozos de minas de carbón esfuerzan más y más requerimientos en la tecnología del driver, en la cual se requieren los siguientes fundamentos:

- 1) Control simple, características arranque ventajoso, desempeño perfecto en la regulación de velocidad, y un gran torque de arranque;
- 2) Ahorro Energía;
- 3) Operación confiable, y mantenimiento ligero;
- 4) Precio moderado;

El inversor a prueba de explosión en Modo de Control Lineal (SVC) pueden cumplir los requerimientos de usuario, que indica el rumbo desarrollado del drive faja transportadora en pozos.

Comparación Técnica.

- 1) Arranque directo, gran torque, pero con una conducción forzada desuniforme, baja respuesta en la cola, y cierta acumulación al fondo de la faja.
- 2) El arranque acoplado y la faja transportadora inicia lentamente. La faja inicia una operación arranque donde este alcanza un cierto torque, y además, el deslizamiento que ocurre durante el arranque puede dar lugar a fallas ocultas.
- 3) El arranque suave a prueba de explosión es usado en estado de carga en reposo, la faja transportadora arranca constantemente, lo que reduce el torque, disminuye el impulso y prolongando el tiempo de vida del motor, faja transportadora, y el sistema mecánico. Sin embargo el impacto es necesario, en condiciones de carga pesada. Que pueden ocasionar un gran impulso a la faja transportadora.
- 4) La aplicación del inversor a prueba de explosión tiene un rango alto en las características de regulación de velocidad, gran torque arranque, arranque lento en condiciones de carga pesada, arranque seguro y confiable, y un desempeño perfecto al momento de la sincronización en el modo del manejo de varios motores. Con el apoyo de los sensores de flujo de carbón, el inversor puede regular automáticamente la velocidad de acuerdo al tamaño del flujo de carbón. De esta manera, se ahorra la energía eléctrica. Y el factor de potencia del motor es mejorado.

Comparación de Costos Integrales

- 1) El arranque directo en modo “Motor + desacelerador“ solo necesita una inversión inicial baja, pero se caracteriza por tener un alto costo en mantenimiento.
- 2) El modo arranque en “Motor + Acoplamiento liquido + desacelerador“ solo necesita una inversión inicial baja y necesita un alto costo en mantenimiento. Además, ya que el equipo esta en el retorno de aire acondicionado, puede ser el caso de que fácilmente ocurra una fuga de aceite, la cual puede dar lugar a fallas ocultas.

- 3) El arranque suave en modo “Motor + desacelerador “ necesita una inversión inicial moderada. Y el costo en mantenimiento es menor que los modos anteriores, que cumplen los requerimientos respectivos.
- 4) Arranque en “Inversor + motor + desacelerador “ necesita un elevado costo de inversión inicial pero tiene la característica de un bajo costo en mantenimiento, también puede regular la velocidad de operación, y puede gradualmente retornar el costo de inversión solo en ahorro de energía.

En resumen, la aplicación de un inversor es el mejor modo de trabajo.

Aplicación de las características del Inversor en drivers de fajas transportadoras

- 1) Excelentes características de arranque y parada suave: El tiempo de Star/Stop del inversor a prueba de explosión puede ser ajustado al azar (0~10 minutos), es decir, la aceleración en el arranque y en la parada puede ser ajustada a voluntad. Y mientras tanto, para arranque constante, el tipo-S, tiempo aceleración/desaceleración puede ser igualado de modo que el arranque/parada de la faja transportadora puede ser minimizado.
- 2) Inspección faja: sobre todo; las fajas transportadoras se utilizan para los sistemas de transporte y producción en minas de carbón. El mejor trabajo de inspección y mantenimiento de los sistemas de transporte implica las fajas transportadoras. La inspección de la baja velocidad en una faja transportadora es el mayor requerimiento. El sistema de regulación de las variables frecuencia y velocidad es un sistema de DRIVE AC con regulación de velocidad sin escalonamientos. En carga en reposo, y en estado de inspección de la faja, el inversor puede ajustar la operación del motor en alguna velocidad faja 5% ~ 100% rango velocidad faja.
- 3) Arranque carga pesada constante: En algún momento durante el transporte del carbón, la faja transportadora puede detenerse inmediatamente, y entonces se reinicia la operación, así que la capacidad “arranque con carga pesada“ debe ser considerada. Desde que el inversor adopta un modo de control lineal del sensor, y como máximo puede 1.5 veces el rango del torque máximo en esta operación a baja frecuencia por lo que es aplicable a “ Arranques con carga pesada “.
- 4) Balance Potencia: Parcialmente los sistemas de fajas transportadoras en pozos de minas de carbón son impulsadas por rodillo doble o múltiples rodillos. Para asegurar el funcionamiento en la sincronización del sistema en primer lugar, los rodillos en el cabezal de la máquina deberían simultáneamente arrancar/parar así el sistema puede

detenerse si el motor falla, al asegurar la capacidad de transporte del sistema, debe estar seguro del balance de potencia entre los rodillos individuales.

El tamaño de la diferencia actual de dos drive del motor puede ser aumentada o disminuida a voluntad mediante el ajuste de la diferencia de velocidades entre los dos motores regulando la configuración de velocidad a los correspondientes dos inversores. Por lo tanto, un sistema de control independiente es usado para controlar la corriente de los motores individuales y la velocidad del motor es regulada, logrando gradualmente obtener un balance de corrientes de los motores.

Los inversores de la serie IVNT CH soportan la función de caída, que pueden dinámicamente ajustar el balance de potencia en el sistema.

- 5) Regulación Automática de la Velocidad y un obvio efecto de ahorro de energía: debido a las condiciones especiales de producción en la minas de carbón, algunas veces, la salida del carbón es extremadamente no uniforme. Por supuesto, el transporte de carbón en sistemas de fajas transportadoras es también no uniforme. En condiciones de carga ligeras o sin carga, la operación en alta velocidad en los sistemas de fajas transportadoras puede causar raspaduras al sistema mecánico de los drives, y mientras tanto puede consumir mas energía eléctrica que en la operación en baja velocidad. Sin embargo, conociendo los requerimientos de producción, el sistema de fajas transportadoras no puede parar en cualquier momento. Un sistema de control independiente respectivo, mide la carga del sistema de transporte precedido y el del sistema de transporte local. De modo que el sistema puede controlar el inversor al acelerar o desacelerar el avance. De esta manera una gran cantidad de energía eléctrica puede ser ahorrada por el sistema de fajas transportadoras con carga no uniforme.
- 6) Reducción de la Tensión en la faja: Las características de arranque perfecto del inversor a prueba de explosión pueden al menos reducir la tensión de arranque en 30%. Así en la plataforma del diseño inicial la pendiente puede ser reducida en un grado en la selección de la resistencia de la faja. En aplicaciones actuales, con la reducción del impacto de arranque, las pérdidas de los equipos de los sistemas mecánicos de las fajas transportadoras también disminuye, especialmente el tiempo de vida del servicio en el rodillo solo y rodillos son prolongados por varias veces.
- 7) En aplicaciones in-situ muestran que el uso de los inversores a prueba de explosión puede grandemente mejorar la confiabilidad de las fajas transportadoras, reduce las pérdidas de los sistemas mecánicos, disminuye los trabajos de mantenimiento de los

sistemas de transporte y evidentemente se tiene un ahorro de energía. Con esta única característica de arranque suave y una mejor relación de costo-beneficio. La aplicación de los inversores a prueba de explosión deberá convertirse en el rumbo del desarrollo en manejo de fajas transportadoras en los pozos.

6.3 Esquemas Eléctricos de Mando y Fuerza en Motores Eléctricos

El siguiente esquema que se muestra a continuación corresponde a todas las entradas y salidas como contactos, señales análogas, y fuerza en la salida del motor.

Notas

- i) Los Variadores entre 18.5Kw y 90Kw tienen integrado un reactor DC la cual es usado para el mejoramiento del factor de potencia. Para variadores mayores de 110Kw se recomienda instalar un reactor DC entre P1 y (+).
- ii) Para Variadores menores de 18.5Kw tienen integrado una unidad de frenado. Si es necesario, solo hay que instalar una resistencia de frenado entre PB y (+).
- iii) Para Variadores mayores de 18.5Kw (incluido). Si es necesario, se debería instalar una unidad de frenado entre (+) y (-).
- iv) +24 conectado esta por defecto. Si se necesita suministro de potencia externa desconecte +24 con PW y conecte PW con un suministro de potencia externa.

Descripción de la placa.

Aunque en el dato de placa figure una tensión de 380V, según el manual la tensión con la que se puede trabajar ira variando en un rango que va desde los 220V.

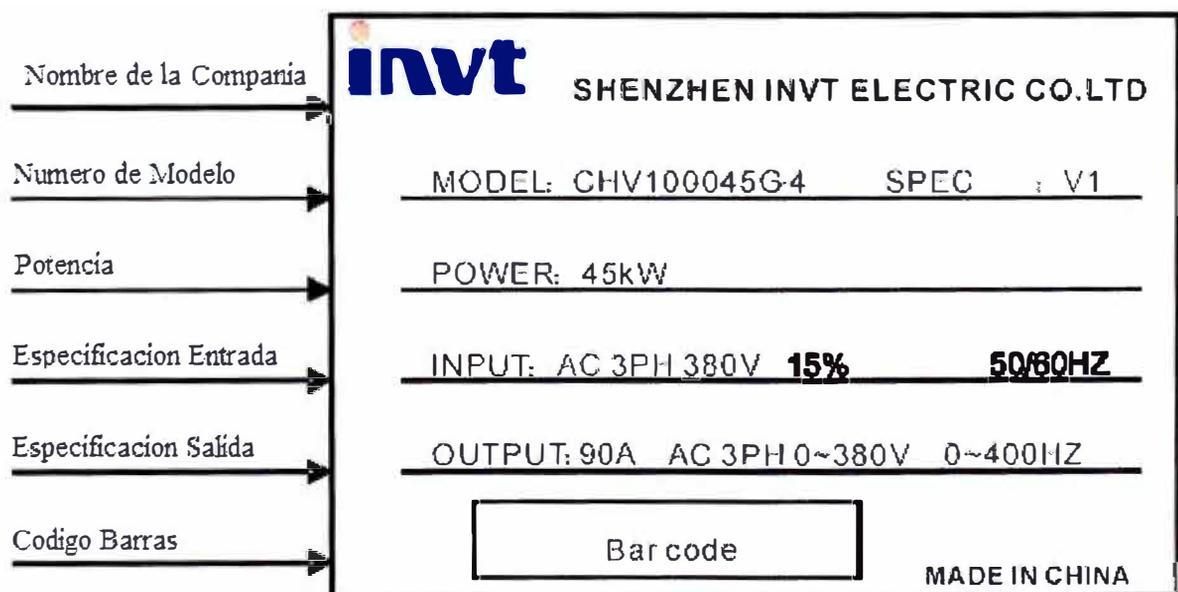


Fig. 6.9 Especificación datos Placa VSD

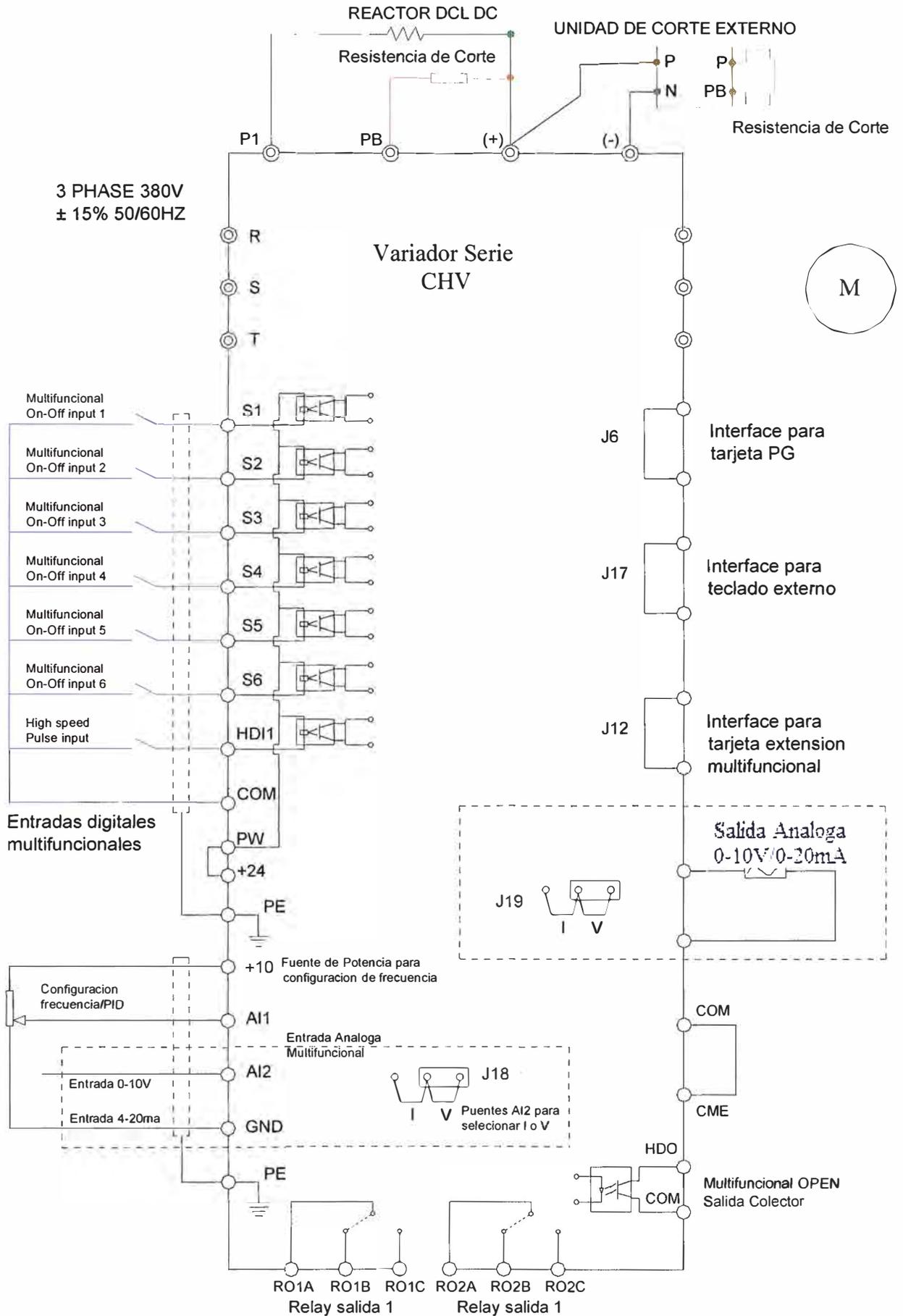


Fig. 6.7 Diagrama conexiones VSD (Manual VSD Serie CHV)



Fig. 6.10 Variador Velocidad INVT Serie CHV-100

Los parámetros más importantes que se introducen al VSD son los siguientes:

i) Parámetros Motor P2

Estos parámetros son ingresados de los datos de placa del motor , y a través del teclado se configuran los diferentes valores.

Tabla N° 6.1 Parámetros P2 datos placa del motor [11]

Código Función	Nombre	Descripción	Rango Configuración	Configuración fabrica
P2.00	Modelo VSD	0: Modelo G 1: Modelo P	0~1	0
P2.01	Frecuencia Motor	0.01Hz~P0.07	0.01~P0.07	50.00Hz
P2.02	Velocidad Motor	0~36000rpm	0~36000	1460rpm
P2.03	Tensión Motor	0~3000V	0~3000	Depende modelo
P2.04	Corriente Motor	0.1~2000.0A	0.1~2000.0	Depende modelo
P2.05	Potencia motor	1.5~900.0kW	1.5~900.0	Depende modelo

ii) El parámetro P0.17 es que va calcular los parámetros del motor como su inductancia, su autoinductancia, y demás parámetros. Esto es equivalente a una calibración del motor dándoles un valor a los parámetros P2.06, P2.07, P2.08, P2.09, P2.10.

Tabla N° 6.2 Auto sintonización del Motor [11]

Código Función	Nombre	Descripción	Rango Configuración	Configuración fábrica
P0.17	Auto Sintonización Motor	0: Detenido 1: Carga 2: Vacío	0~2	0

iii) El parámetro P5.XX define el tipo de función de los terminales, donde el rango de configuración es de 0 a 55, cada valor representa una función en variador, una de dichas funciones es de subir y bajar la frecuencia del variador, donde lo adecuaremos a un tablero de control reducido.

Cuando configuramos cada parámetro de acuerdo al contacto utilizado en el esquema de arriba nos adecuamos a las necesidades del usuario, una de las ventajas del variador es la variación de frecuencia por ende la variación de la velocidad y el control de la frecuencia desde el usuario para diferentes aplicaciones importantes en la industria.

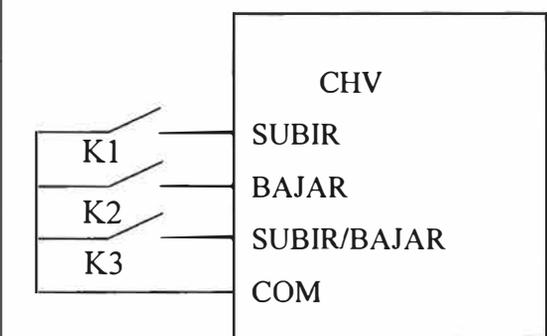
Tabla N° 6.3 Parámetro P5.XX [11]

Código Función	Nombre	Descripción	Rango Configuración	Configuración fábrica
P5.0 2	S1 Función terminal	Terminal multifunción programable	0-55	1
P5.0 3	S2 Función terminal	Terminal multifunción programable	0-55	4
P5.0 4	S3 Función terminal	Terminal multifunción programable	0-55	7

En la figura 6.11 observamos una aplicación en una Bomba sumergible donde estamos usando el terminal S1, S2, S3 y a cada terminal le aplicamos las características de la tabla 6.3 de arriba.

El tablero de control debe tener una ventilación propia al costado, la configuración del variador debe hacerse conforme nos diga el manual y tener cuidado con la sintonización de los parámetros del motor. Como podemos observar es una aplicación bien sencilla, pero usamos la esencia de lo que es un variador de velocidad al modificar la velocidad del motor entre un rango y controlar el torque para el ahorro de energía y los picos de arranque. Instalación de un Variador INVT CHF100de velocidad en una mezcladora del proceso del oro.

Tabla N° 6.4 Rango Configuración parámetro P5.XX [11]

Valor configuración	Función	Descripción
11	Comando BAJAR	 <p>Use este terminal para borrar cambiar configuración SUBIR/BAJAR.</p>
12	MODIFICAR SUBIR/BAJAR	

Detalles de los trabajos: Se configuró el variador de acuerdo a la placa del motor y se hizo la auto-sintonización de los parámetros internos del motor.

Datos placa motor

V: 230/440

I: 172/460^a

RPM: 1770

HP: 20

SerF: 1. 15

PF: 86%

Datos placa variador

Modelo: CHF100 – 045G/055P

Power: 45kw/55kw

Input: AC 3PH

Tension: 440 +/- 15%

Frecuencia: 50/60HZ

Output: 90/110A

AC 3PH 0 a 440VAC 0-400HZ

En la figura 6.11 las líneas dibujadas con color rojo corresponden a la aplicación del arranque del motor de 20HP, donde, el transformador de 440 a 220V es para alimentar la bobina del contactor que va a limitar la entrada de tensión al variador, las líneas de color azul son los pulsadores de arranque y parada del motor.

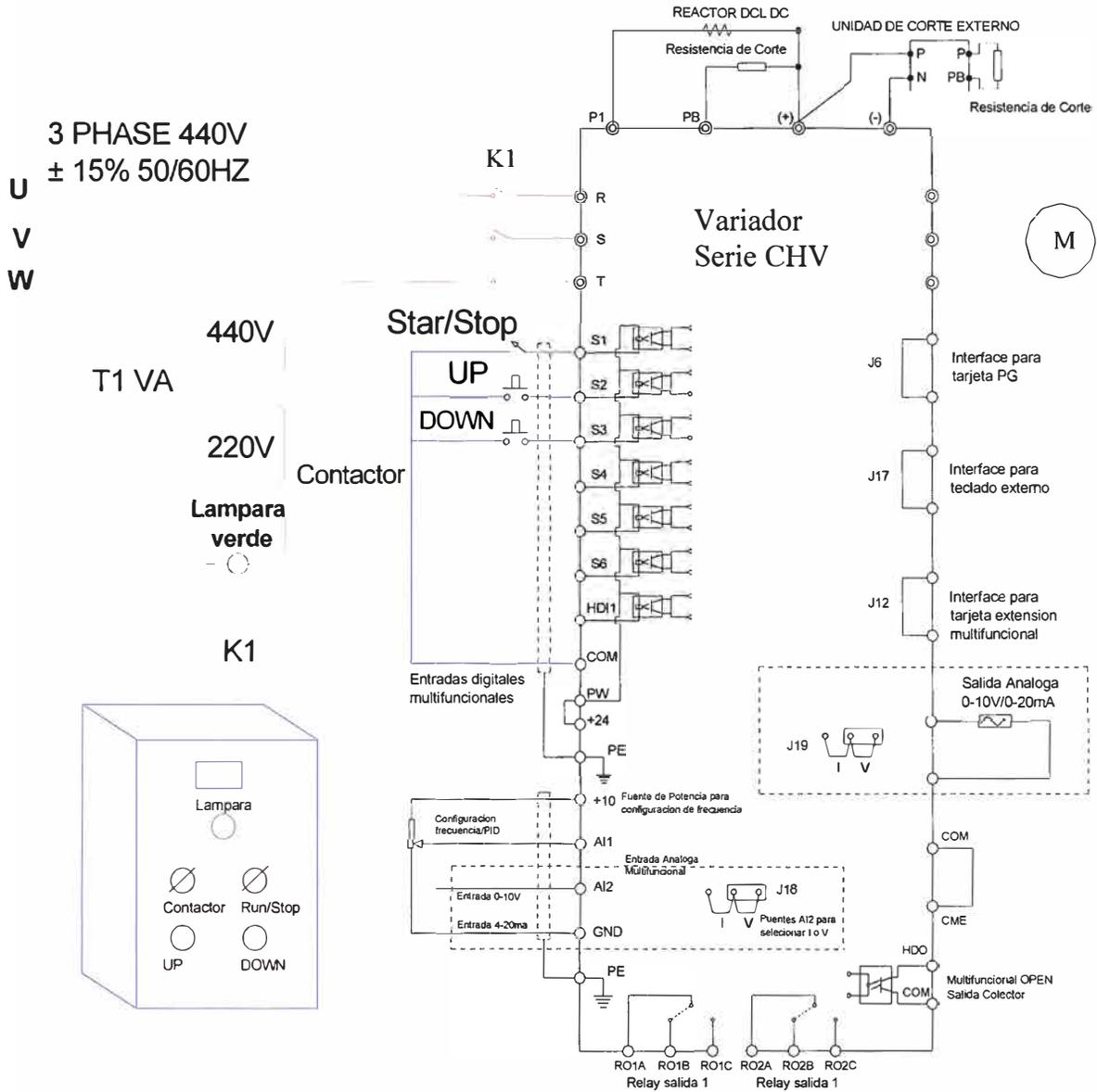


Fig. 6.11 Variador Velocidad Aplicación bomba sumergible

Tabla N° 6.5 Lectura fluke entrada VSD sin carga

V	RS	RT	ST
	450V	445V	449V
I	R	S	T
	9.5A	2.6A	3A

Tabla N° 6.6 Lectura fluke salida VSD sin carga

V	RS	RT	ST
	477V	474V	476V
I	R	S	T
	28.3A	29.1A	27.6A

Tabla N° 6.7 Lectura fluke entrada VSD con carga

V	RS	RT	ST
	429V	429V	429V
I	R	S	T
	82A	80A	78A

Tabla N° 6.8 Lectura fluke salida VSD con carga

V	RS	RT	ST
	432V	431V	431V
I	R	S	T
	100A	102A	98A

Lectura Keypad

F = 60Hz

V = 578. 2V

I= 103.0 A

RPM= 1800RPM

En los datos mostrados arriba se observa lo siguiente:

- Ahorro de energía
- Corrección del factor de potencia
- Corriente al limite de potencia nominal
- Diferencia de corriente entre entrada y salida del VSD.

El variador de velocidad tiene la capacidad de variar la frecuencia de salida de la señal alterna y adecuarla de acuerdo a la necesidad del torque de la carga, esto da una gran ventaja ya que eliminamos las corriente de arranque elevadas en el sistema a su vez el variador INVT tiene internamente un filtro contra los armónicos para no afectar el sistema.

6.4 Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos

El VSD INVT está fabricado para manejar fácilmente las aplicaciones más demandantes y proporcionar control con gran precisión, adaptabilidad y funcionalidad excepcional. Los variadores de velocidad INVT ofrecen este desempeño superior con la programación amigable para el usuario y un mantenimiento de producto sencillo.

Se recomienda aprovechar todas las características tecnológicas del variador de velocidad que son las siguientes:

- SS Protección de Sobrecargas.
- Aceleración/Desaceleración Ajustable.

- Frecuencia de la portadora ajustable.
- Empiezo con brío.
- Power Ride Through.
- Velocidades perestablecidas.
- Control PID.
- Frecuencia de salida de 0.5 a 500 Hz.

Aprovechando todas las características tecnológicas se pueden implementar en el tablero con borneras ya listas para una posterior automatización a distancia según sea la necesidad del usuario a futuro.

CAPÍTULO VII

ARRANCADORES ESTÁTICOS

7.1 Descripción

El arrancador estático consiste, básicamente, en un convertidor estático, alterna-alterna, generalmente tiristores, que permiten el arranque de C.A. con aplicación progresiva de tensión, con la consiguiente limitación de corriente y par de arranque.

El arrancador estático se divide en dos partes: el circuito de potencia y el circuito de regulación (y maniobra). Al poner en servicio el equipo, los tiristores dejan pasar la corriente que alimentan el motor de acuerdo con la programación realizada sobre el circuito de maniobra, que ira aumentando progresivamente hasta alcanzar el valor nominal de la tensión de servicio. A continuación explicaremos el Arrancador Estático OMRON G3JS.

7.2 Aplicaciones

Hay diversas marcas de arrancadores estáticos, vamos a analizar uno de la marca OMRON a continuación

Arrancadores Estáticos OMRON G3JS

Tiene una función de arranque suave para motores y son económicos.

- La función de arranque suave permite en los motores inductivos mantener baja la corriente inicial.
- Tiene posibilidad de protección con relés térmicos de sobrecarga conforme a IEC 947-4-1 (Clase 10A/10) similar a un contactor estándar.
- Se pueden montar directamente relés térmicos de sobrecarga conforme a AC Clase 3 (IEC947).
- Cumple las especificaciones IEC, UL, CSA y JEM.
- Montaje con tornillos o en carril DIN.
- Construcción compacta (80 x 100 x 100) con disipador de calor incorporado.
- Tiene incorporado varistor y circuito de absorción.
- Tiene un indicador de operación.

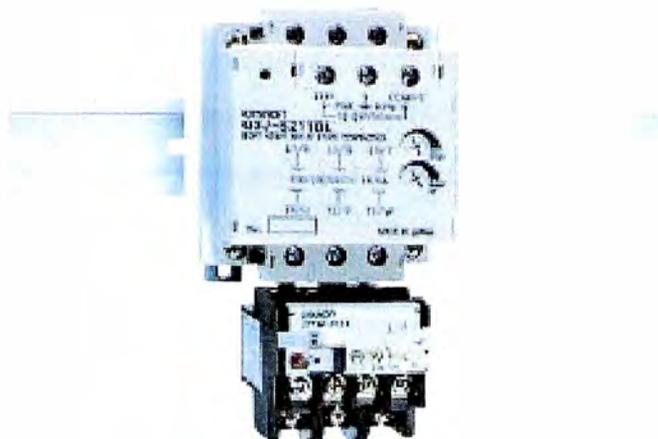


Fig. 7.1 Arrancador estático marca OMRON

Tabla N° 7.1 Tabla de Selección Arrancador Estático [12]

Numero de elementos	Aislamiento	Tensión de alimentación nominal	Método de entrada	Motor aplicable		Modelo
3	Fototriac	12 a 24 Vcc	Entrada sin tensión(abriendo y cerrando la entrada)	2.2 KW(5.5A)	380 a 400Vca	G3J-S405BL
				0.75 KW(2.4A)		G3J-S403BL
				2.2 KW(11.1)	200 a 240Vca	G3J-S211 BL
				0.75 KW(0.48A)		G3J-S205BL

En la tabla **Tabla N° 7.1** se observa los modelos de arrancadores y las potencias seleccionables son bien bajas de acuerdo a los modelos descritos al lado derecho. La tensión de alimentación del arrancador varia de 12 a 24 Vcc en continua, para alimentar el arrancador habrá que implementar un rectificador trifásico.

Tabla N° 7.2 Especificaciones Valores Nominales Temperatura Ambiente (25°C) [12]

Tensión de Alimentación nominal	12 a 24 Vcc
Rango de tensión de operación	10.2 a 26.4 Vcc
Consumo	50 mA max (12 a 24 Vcc)

Para la alimentación del arrancador estático el consumo es mínimo, entonces el rectificador a usarse es de poco amperaje según la Tabla N° 7.2 mostrada arriba.

Tabla N° 7.3 Tabla de circuito de operación [12]

Corriente de entrada	10 mA max (12 a 24 Vcc)
Método de entrada	Cortocircuitando y abriendo los terminales 1 y COM o 2(+) y 1
Entrada sin tensión (Cortocircuitando y abriendo entradas) (ver notas)	Entrada del arrancador en ON. Tensión residual máx. de 2 V entre terminales cortocircuitados Entrada del arrancador en OFF. Corriente de fuga max. de 0.15 mA Entrada de relé. Para señales instantáneas.

El método de operación que se muestra en la tabla 7.3 se caracteriza por la unión de contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados según se explica en la tabla, esto un sistema automatizado dicho contacto puede accionarse desde un PLC cumpliendo determinados criterios de acuerdo a la lectura de los sensores en el motor.

Tabla N° 7.4 Tabla del circuito principal [12]

Item		G3J-S405BL	G3J-S403BL	G3J-S211 BL	G3J-S205BL
Tensión de carga nominal		200 a 400 Vc.a. (50/60 Hz)		200 a 240 Vc.a. (50/60 Hz)	
Rango de tensión de carga		180 a 440 Vc.a. (50/60 Hz)		180 a 264 Vc.a. (50/60 Hz)	
Corriente nominal		5.5 A(Ta =40°C)	2.4 A(Ta =40°C)	11.1 A(Ta =40°C)	4.8 A(Ta =40°C)
Corriente de carga min.		0.5 A			
Resistencia de picos de corriente		220 A, 60Hz, 1ciclo	96 A, 60Hz, 1ciclo	350 A, 60Hz, 1ciclo	150 A, 60Hz, 1ciclo
Resistencia de sobrecarga		Consultar curvas características			
Corriente de apertura y cierre (valores reales)	AC3	55 ^a	24 ^a	111 A	48 A
	AC4	66 ^a	28.8 ^a	133.2 A	57.6 A
Carga aplicable	Motor inductivo 3-fases (AC3 clase AC53-a)	380 a 400Vca 2.2 KW, 5.5 A	380 a 400Vca 0.75 KW, 5.5 A	200 a 240Vca 2.2 KW, 11.1 A	200 a 240Vca 0.75 KW, 4.8 A
	Carga resistiva (Clase AC1)(ver nota)	Motores que pasen las pruebas de conmutación de frecuencia clase-AC3, clase-AC4 y clase AC53 (Ta =40°C) bajo las condiciones especificadas por OMRON.			
		200 a 400Vc.a. 5.5 A	200 a 400Vc.a. 2.4 A	200 a 400Vc.a. 11.1 A	200 a 400Vc.a. 4.8 A

Nota: No se pueden conectar cargar monofásicas

En la Tabla N° 7.4 Tabla del circuito principal, se muestran las potencias, corrientes, tensiones nominales de acuerdo al modelo escogido para la implementación del arrancador suave.

Tabla N° 7.5 Características de operación [12]

Item	G3J-S405BL	G3J-S403BL	G3J-S211 BL	G3J-S205BL
Tiempo de Rampa	Seleccionable en el rango de 1 a 25seg			
Tiempo de reset	5/6 ciclos de la fuente de alimentación de la carga + ms max.			
Par de arranque	Seleccionable en el rango de 200%a 450% In			
Caída de tensión de Salida en ON	1.8 Vrms Max		1.6 Vrms Max	
Corriente de fuga	10 mA max (a 400 Vc.a.)		10 mA max (a 200 Vc.a.)	
Resistencia de aislamiento	100 mΩ min (a 500 Vc.c.)			
Rigidez dieléctrica	3000 Vc.a. , 50/60 Hz durante 1min			
Resistencia de vibraciones	Destrucción: 10 a 55 Hz, 0.75-mm de amplitud Malfunción: 10 a 55 Hz, 0.75-mm de amplitud			
Resistencia a golpes	Destrucción: 294 m/s ² (30 G's) Malfunción: 294 m/s ² (30 G's)			
Temperatura ambiente	Operación: - 20°C a 60°C (sin hielo ni condensación) Almacenaje: - 30°C a 70°C (sin hielo ni condensación)			
Humedad ambiente	Operación: 45% a 85%			
Peso	73 g max			

En la tabla 7.5 se observan las características de operación como los tiempos de

rampa y reseteo, el par de arranque, la corriente de fuga, la resistencia de aislamiento, etc.

Todos estos parámetros que intervienen en el funcionamiento del equipo y el desempeño del arrancador suave.

Operación del arrancador estático

○ Arranque suave

El G3J-S es un contactor de estado sólido que arranca suavemente las máquinas y equipos conectados a las fuentes de alimentación, sin causar daños a las máquinas, equipos o fuentes de alimentación.

○ Tiempo de arranque suave

Aumenta la tensión aplicada al motor mientras se reduce gradualmente la ignición α , aumentando gradualmente la velocidad de rotación del motor

○ Tiempo de arranque suave

Aumenta la tensión aplicada al motor mientras se reduce gradualmente la ignición α , aumentando gradualmente la velocidad de rotación del motor.

○ Tiempo de Rampa

El tiempo de Rampa es el periodo necesario para que la ignición α sea cero grados con una tensión del 100% aplicada en el motor.

○ Par de arranque

El par de arranque está determinado por el valor de ignición α inmediatamente después de ponerse a ON la señal de entra

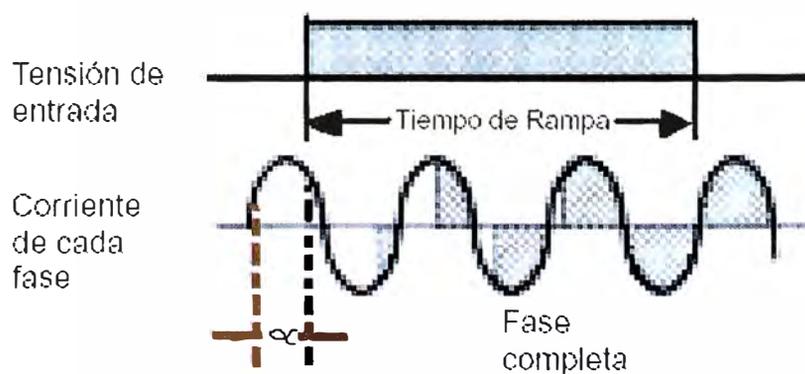


Fig. 7.2 Señales en equipo control arrancador estático

La tensión de entrada mostrado en la Fig. 7.2 esta representado como una onda cuadrada con un tipo de rampa, la corriente en cada fase esta como una señal de un cuarto de onda de corriente.

Características de arranque suave

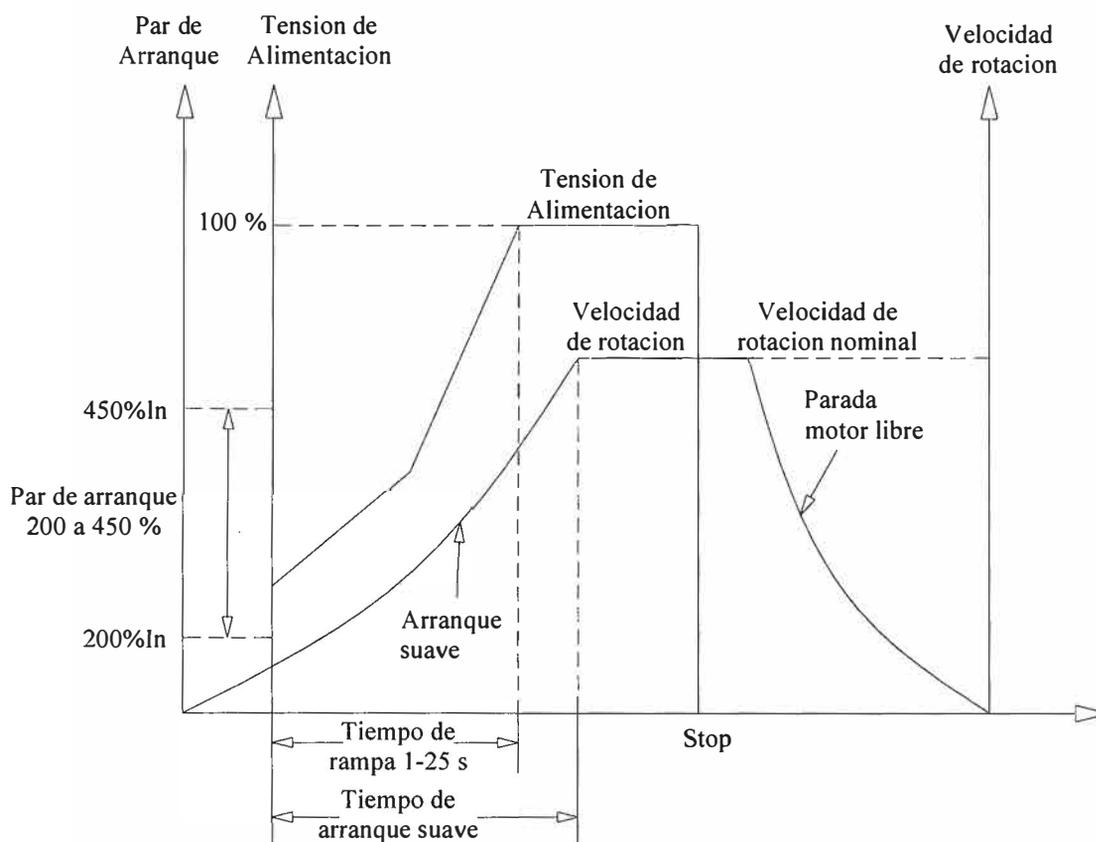


Fig. 7.3 Gráfica arranque motor con arrancador estático

Nota: Además del par de arranque y del tiempo de rampa, el tiempo de arranque suave varía con las características de carga tales como su inercia y fricción.

7.3 Esquemas Eléctricos de Mando y Fuerza

Los esquemas de mando de un arrancador estático se caracterizan por su sencillez pero a su vez el equipo electrónico tiene funciones de configuración de contactos normalmente abiertos y cerrados del equipo de seguridad de acuerdo a como se desarrolla el arranque del motor y por medidas de seguridad del equipo electrónico.

En el esquema de la figura 7.5 podemos observar una aplicación del arranque de un motor con dos equipos G3J-S, donde el motor puede girar en ambas direcciones inversa y directa, y también tenemos un esquema de mando del motor en el arrancador estático a continuación mostramos un esquema de fuerza y control de un arrancador estático.

El arrancador estático tiene un control de torque es por eso se usan en chancadoras de mineral, pero también tiene elevadas corriente de arranque ya configuradas, el sistema donde se utiliza debe ser bien solido en la entrega de potencia y tensión, porque de no ser así presentará inconvenientes dentro de la misma red y podría salir el sistema en funcionamiento.

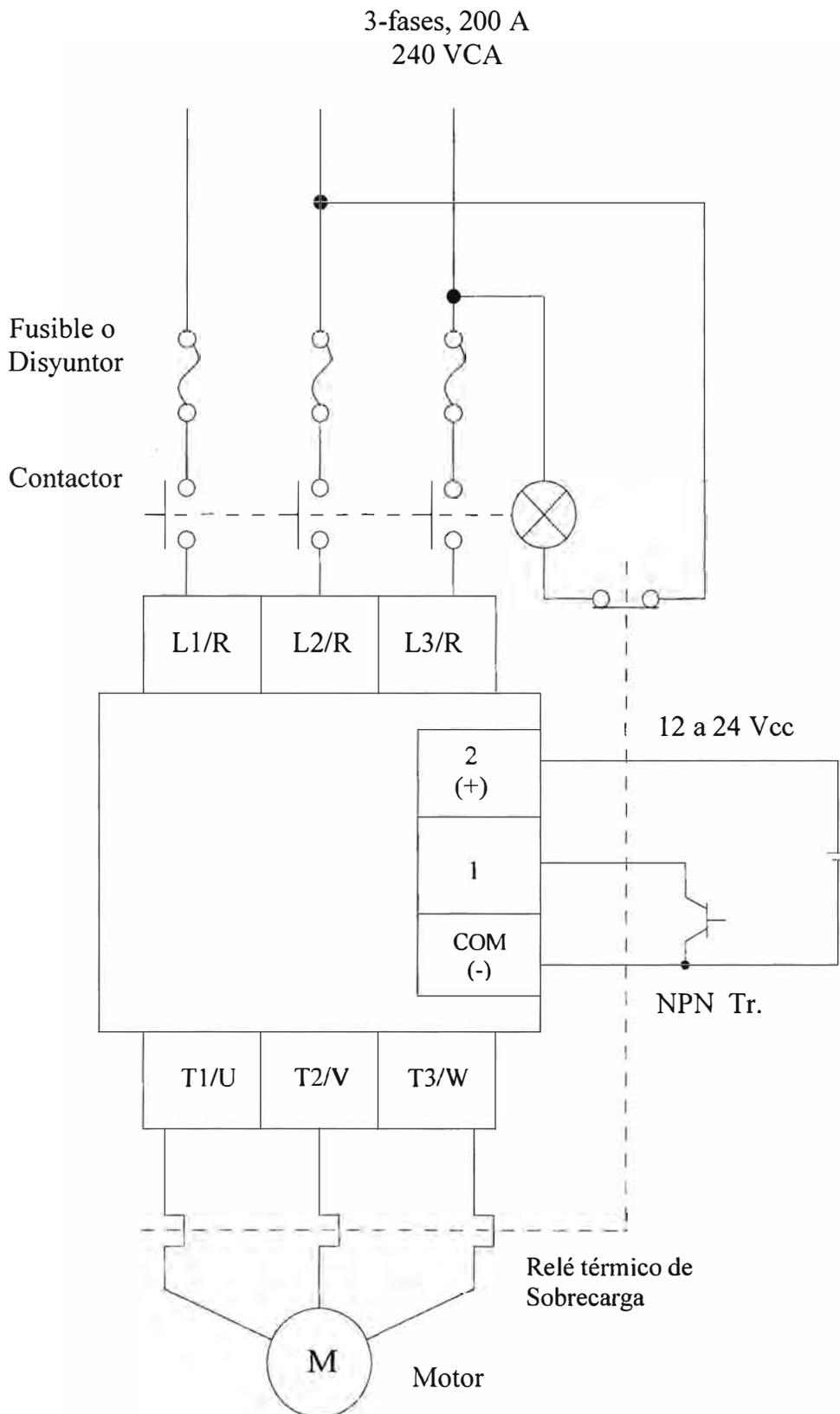


Fig. 7.4 Esquema arrancador estático G3J-S

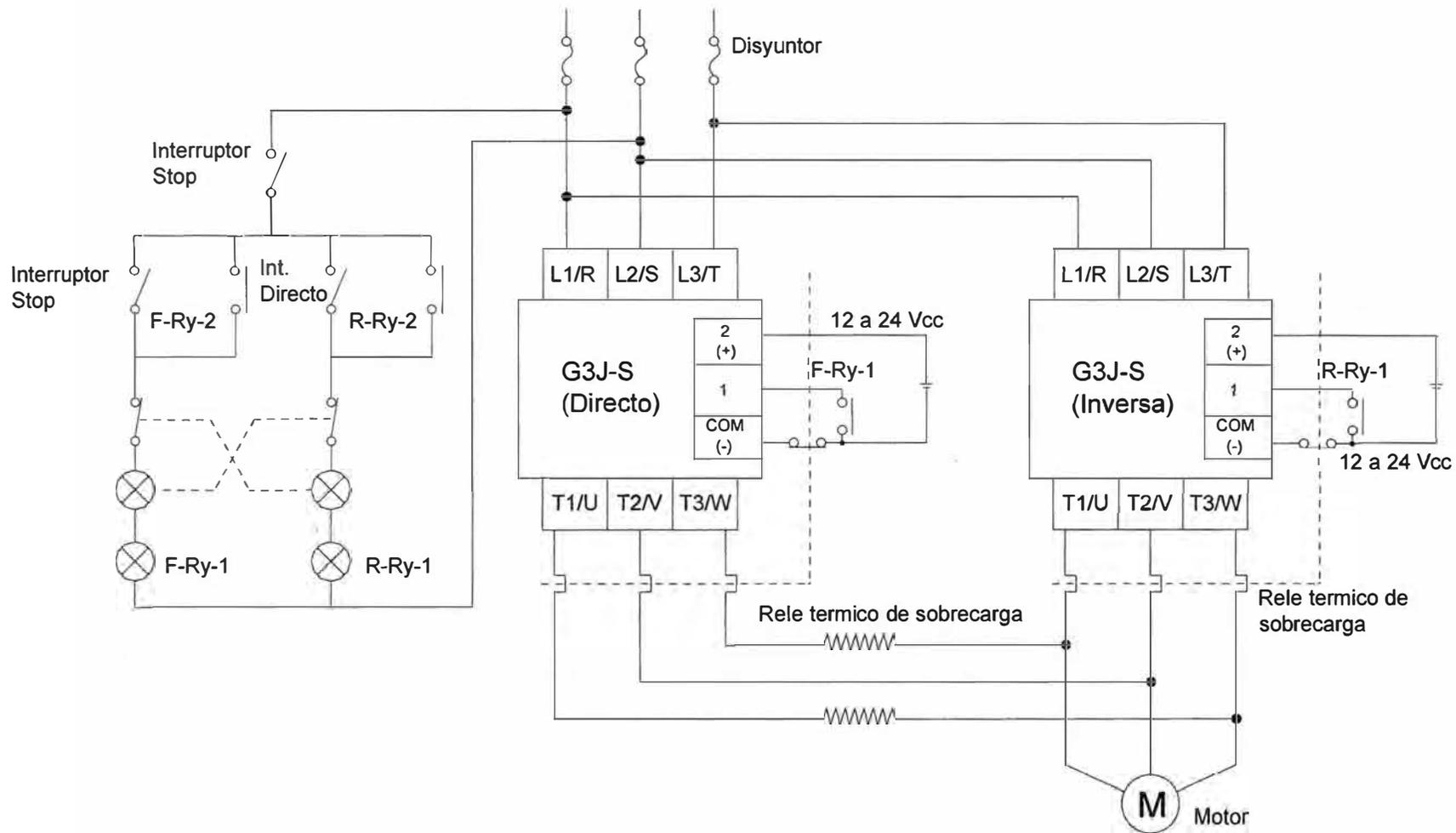


Fig. 7.5 Arranque con inversión de giro

En la figura 7.6 se muestra como va variar la corriente conforme aumenta la velocidad del motor, ahí podemos observar los siguientes parámetros:

- Corriente inicial
- Configuración máxima corriente
- Tiempo de rampa
- Tiempo de la configuración máxima corriente
- Velocidad nominal

La corriente ingresada al motor va en aumento según la corriente de rampa y llega hasta una máxima corriente configurada que podría ser hasta el 380% de la corriente nominal, el tiempo que dura depende de la curva de disparo de sobrecarga mostrado en el anexo C.

El motor al llegar a la corriente nominal en los dispositivos electrónicos internos se convierten en conexiones directas como si fueran conductores de cobre, por eso muchas veces se suele usar un contactor en paralelo y desconectar el arrancador y usar el contactor al final cuando se llegue a dicha velocidad.

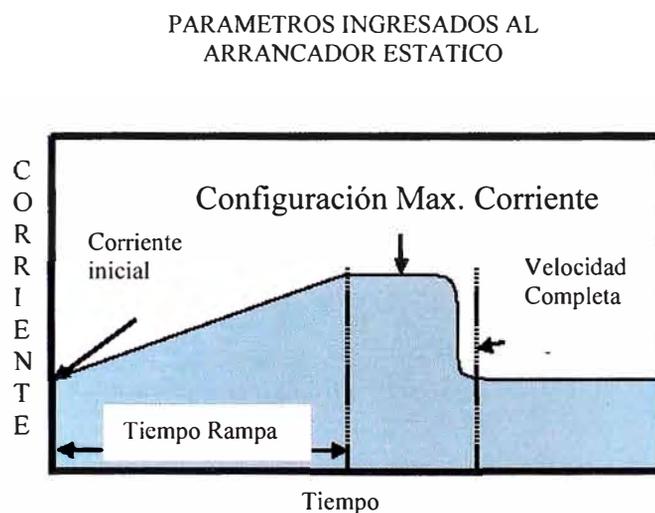


Fig. 7.6 Parámetros ingresados al Arrancador Estático

7.4 Recomendaciones para Futuras Implementaciones en Automatismos

Los arrancadores suaves es una solución para problemas relacionados con el arranque en directo de un motor de corriente alterna, tales como:

- Elevada corriente de arranque que con frecuencia representa una carga inaceptable para la red.

- Golpes bruscos en engranajes y otros elementos de transmisión que provocan un desgaste innecesario de las piezas mecánicas.
- Altos valores de la aceleración y desaceleración que originan situaciones inestables en los procesos, por ejemplo en cintas transportadoras.

Se recomienda aprovechar todas las ventajas posibles del arrancador estático que son las siguientes según avance tecnológico y la actualización de su equipo:

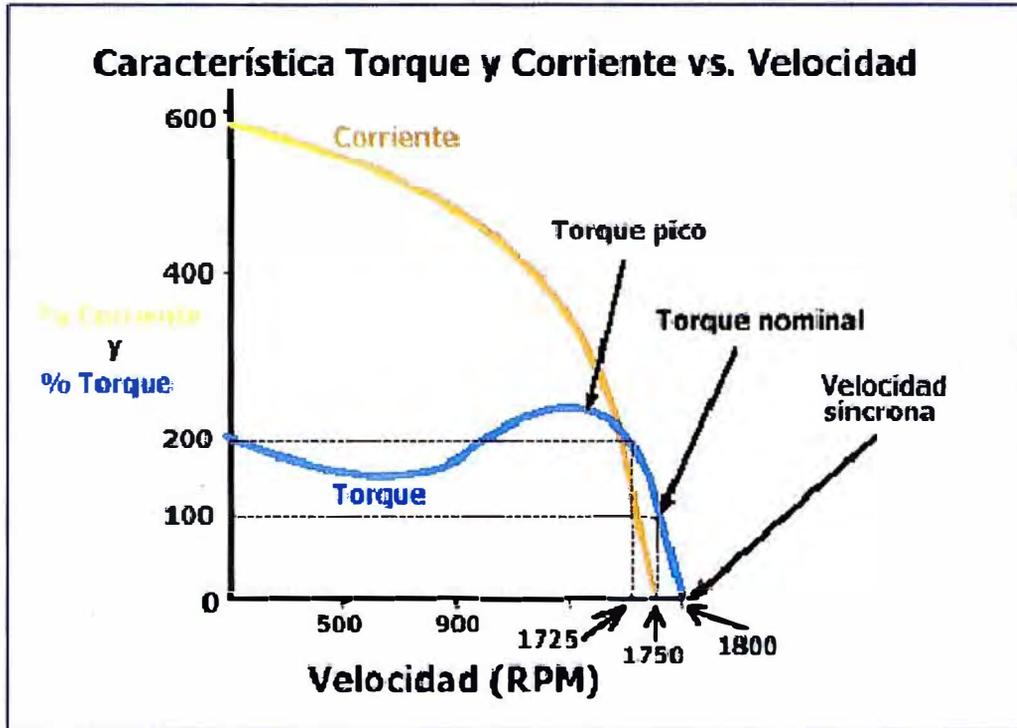
- Control flexible de la corriente y el par de arranque.
- Control suave de la corriente y de la tensión sin escalones ni periodos transitorios.
- Posibilidad de realizar frecuentes operaciones de arranque/parada sin que se produzca daños mecánicos.
- Flexibilidad para introducir cambios en las condiciones de arranque, aumentando así también la flexibilidad en la aplicación.
- Control del frenado para reducir o prolongar el tiempo de desaceleración del motor.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

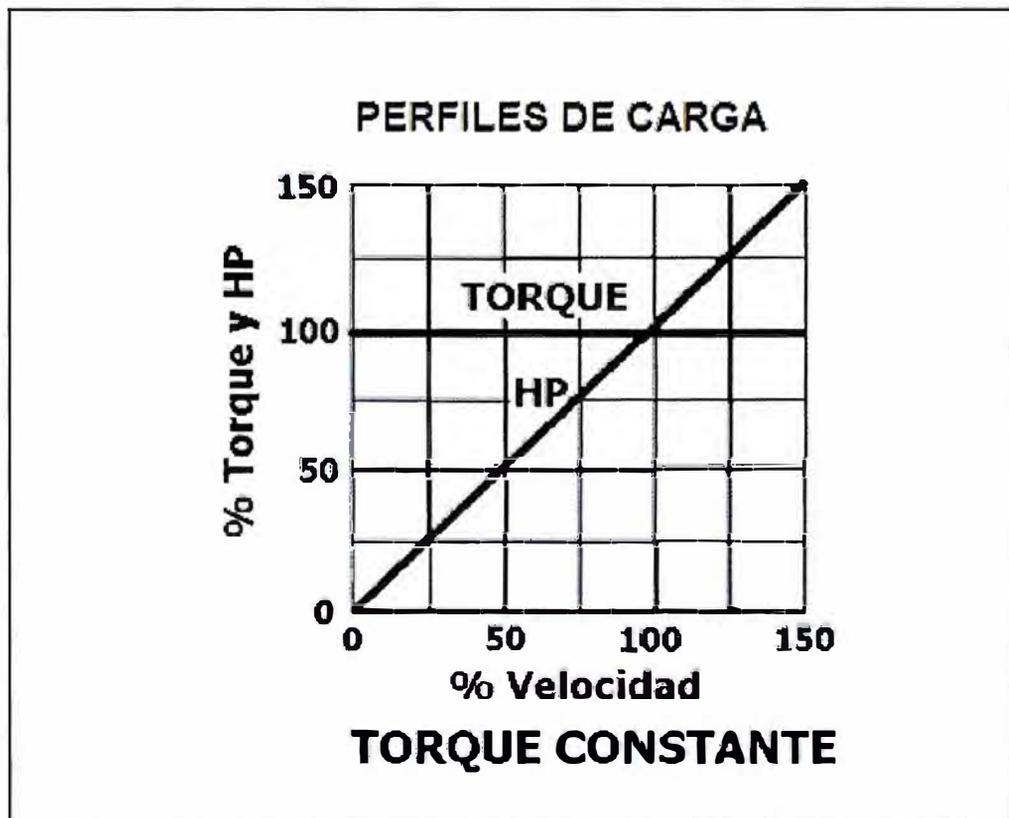
1. Es importante los conceptos de máquinas eléctricas para el diseño de un tablero de control y las graficas correspondientes.
 - Método de Arranque del motor
 - Curva Torque vs velocidad
 - Zonas de estabilidad en el arranque del motor
 - Ecuaciones físicas del motor
 - Entendimiento de los campos giratorios
 - Circuito equivalente motor eléctrico
 - Principio de la automatización con el PLC a nivel de campo
2. El código nacional de electricidad muestra los requisitos de la norma para una buena instalación cumpliendo distancias de seguridad y dimensionamientos de equipos eléctricos.
3. En un tablero convencional debemos de agregar borneras con esquemas gráficos para una posterior automatización como en los arranques directos y estrella triangulo.
4. Un motor de anillos rozantes es recomendable usarlo cuando el torque a mover es elevado, en la aplicación práctica se usa en una chancadora de mineral.
5. La norma NFPA de bombas contra incendio va mostrar la lógica del tablero de control del mismo.
6. El variador de velocidad se usa para el control de las corrientes de arranque de los motores eléctricos con cualquier torque de salida.
7. El arrancador estático o arrancador suave se usa solo en el arranque del motor en un tiempo determinado por los parámetros ingresados al equipo electrónico, una vez arrancado el motor el arrancador se convierte en un conductor de corriente.

ANEXOS

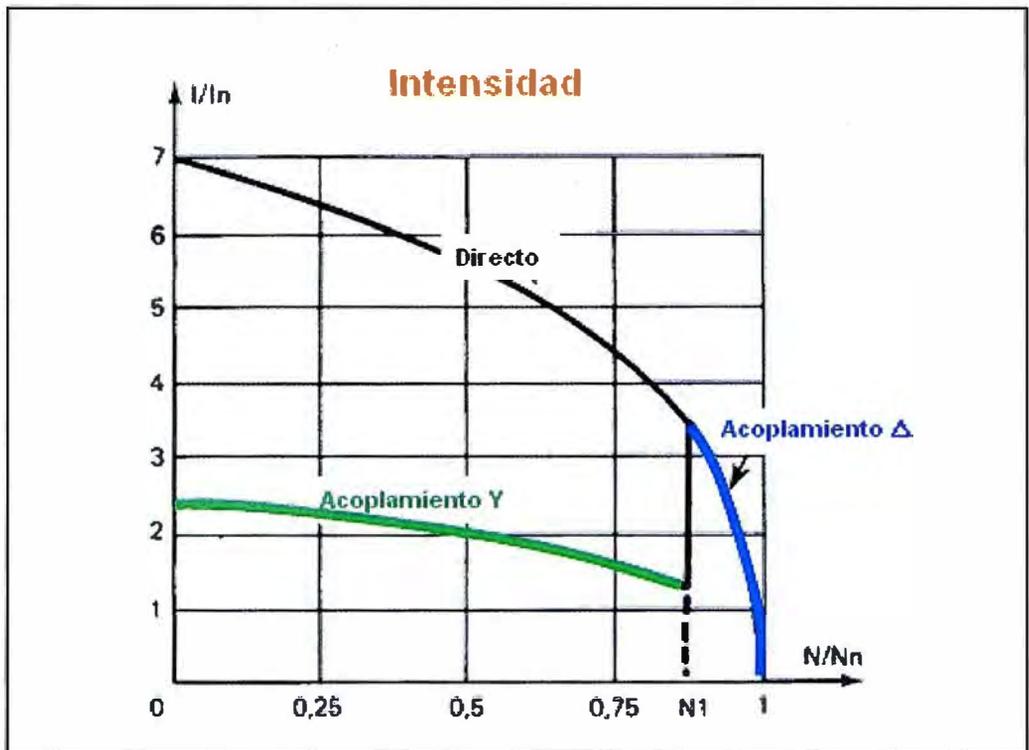
ANEXO A: Características de Torque y Corriente vs. Velocidad



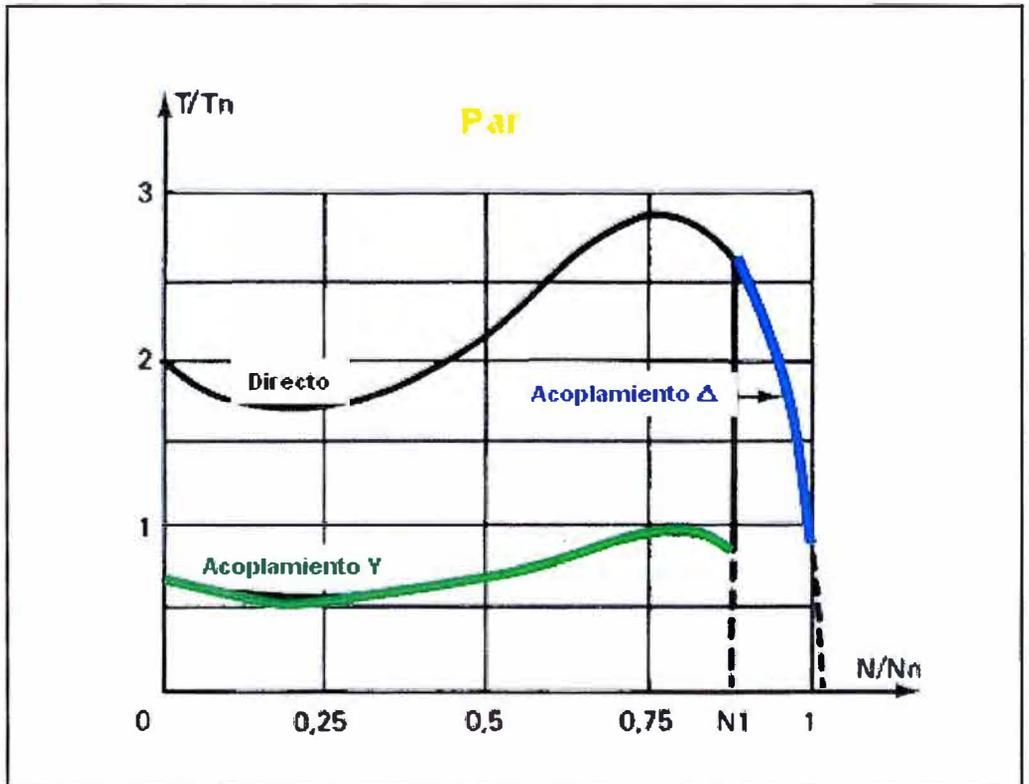
Curva del Arranque Directo del Motor Jaula de Ardilla a Plena Carga



Perfil de Carga del Arranque Directo a Plena Carga



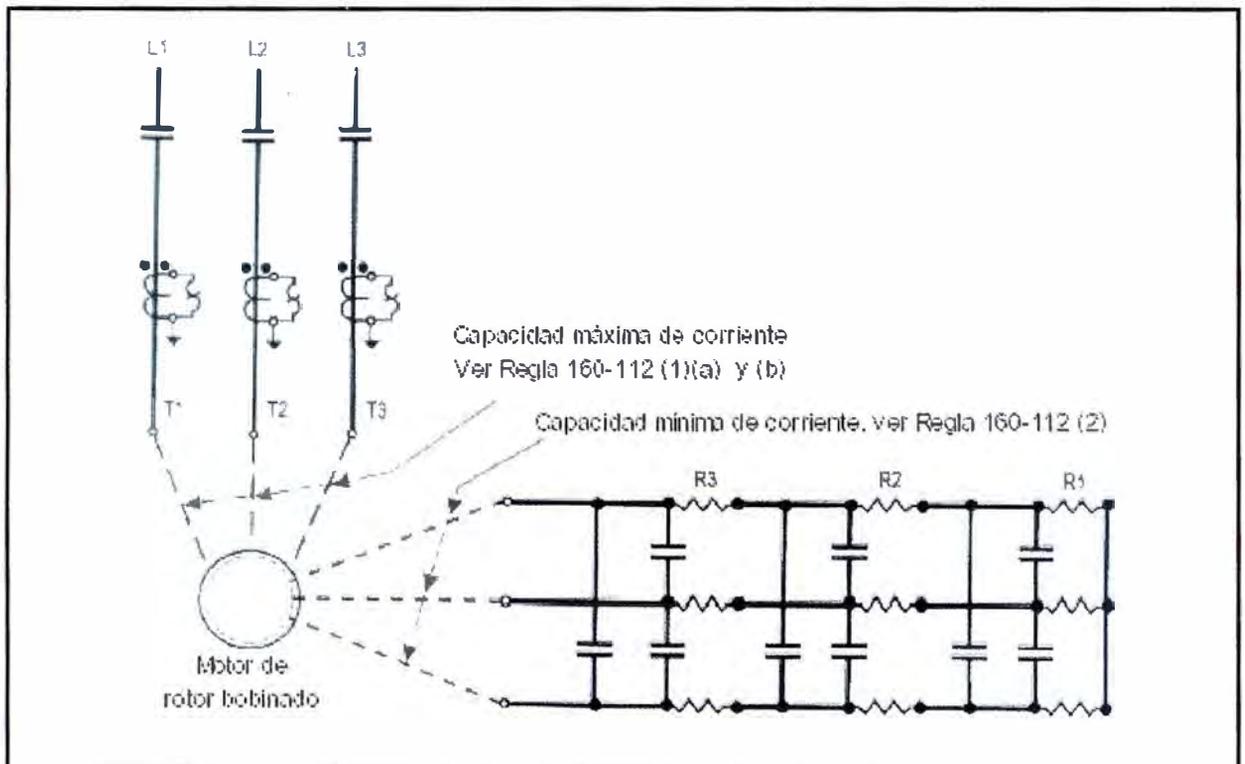
Comparación de Corrientes del Método de Arranque Directo y el Método de Arranque Estrella-Triangulo



Comparación de Toques del Método de Arranque Directo y el Método de Arranque Estrella-Triangulo

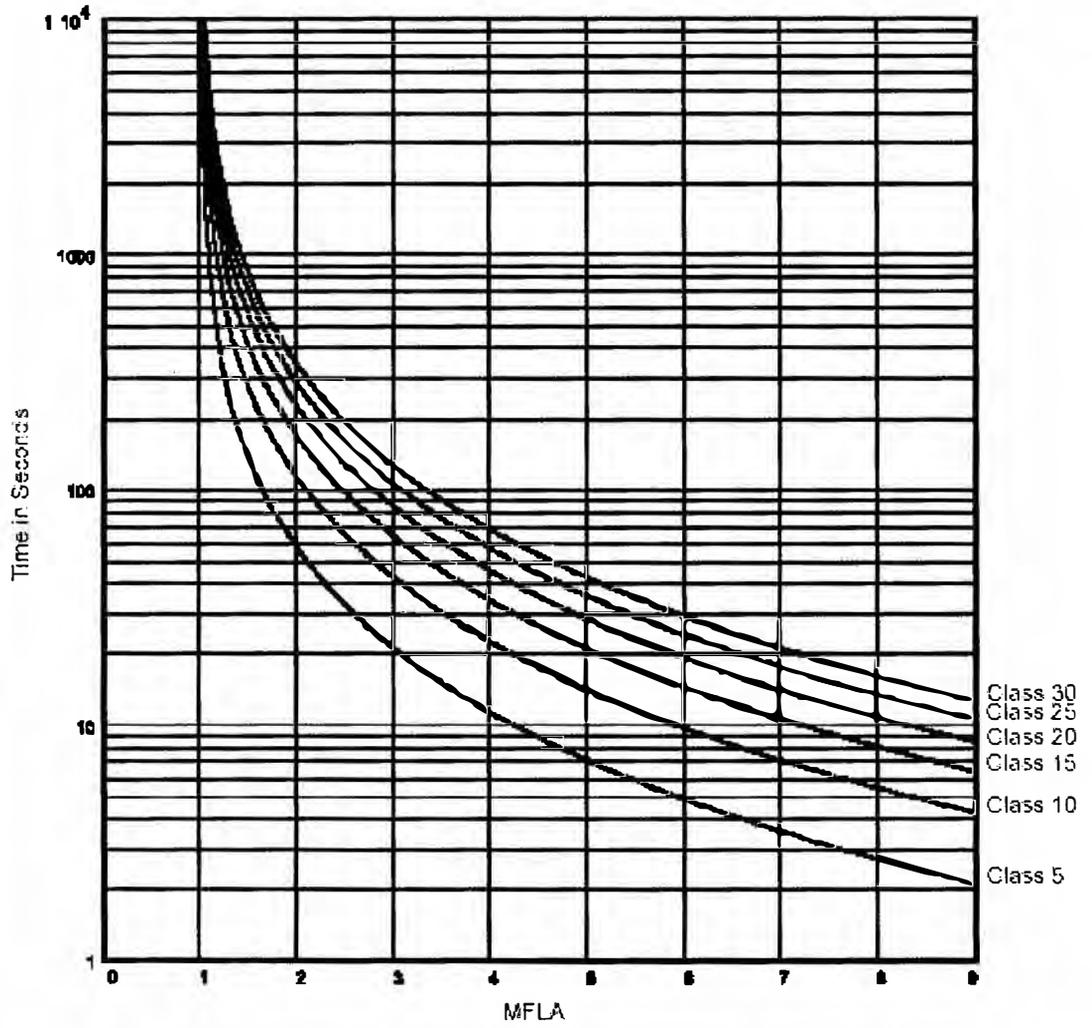
ANEXO B: Capacidades de corriente en un arranque de motor resistencias rotoricas

Propósito de la Regla 160-112. (Véase la Figura 160-112). Se requiere que la capacidad de corriente de los conductores secundarios de los motores con rotor devanado se incremente al 125% de la corriente secundaria para los motores usados en régimen de servicio continuo o como se especifica en la Tabla 27 para los motores usados en régimen de servicio no continuo. Puede ser seleccionada la capacidad de corriente de los conductores conectados a las resistencias secundarias y a sus controladores usando el porcentaje apropiado mostrado en la Tabla 28.



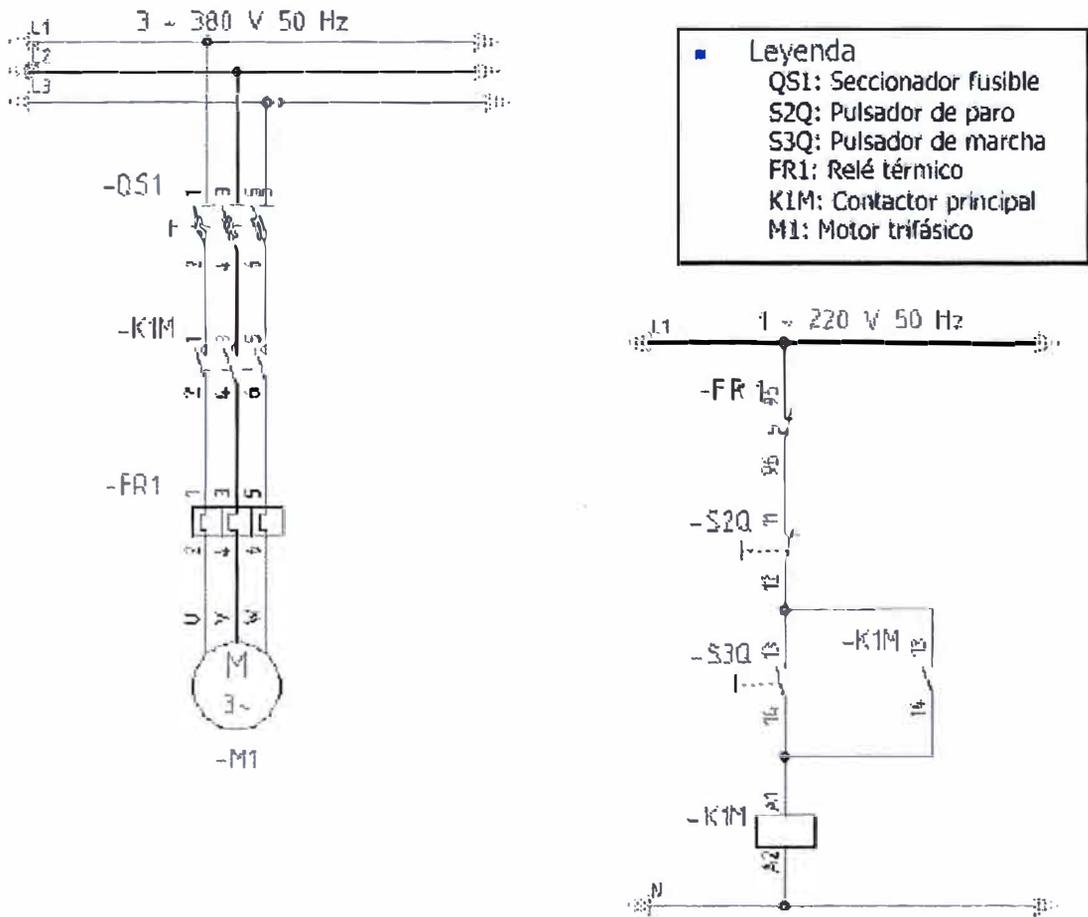
ANEXO C: CURVA DE DISPARO DE SOBRECARGA

Overload Trip Curves



ANEXO D: DISEÑO TABLERO CONVENCIONAL ARRANQUE DIRECTO

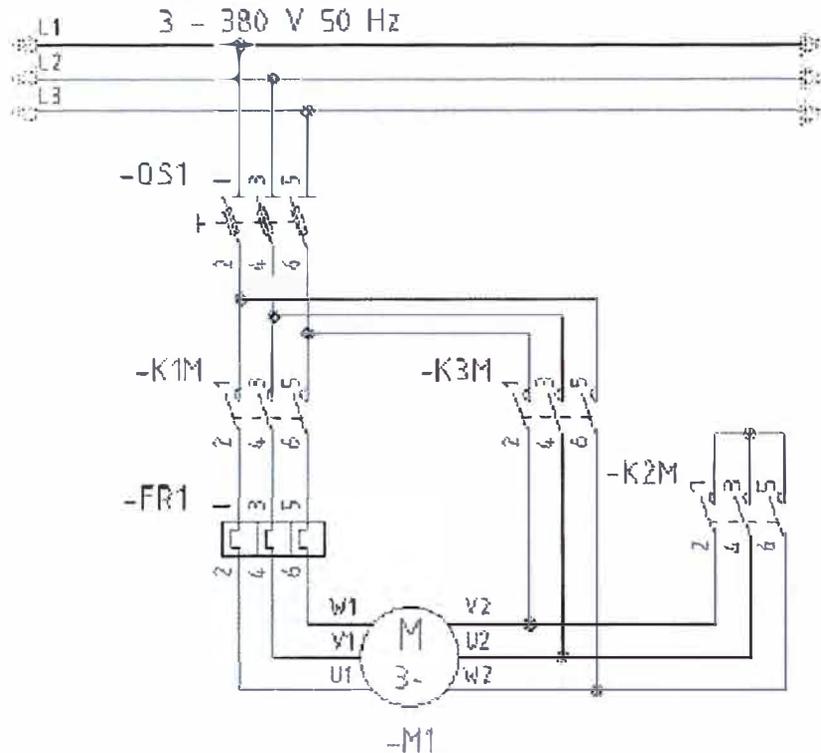
El tablero convencional de arranque directo solamente tiene controles marcha y paro, según la gráficas mostrada.



- Se realiza en un solo tiempo
 - El estator se acopla directamente al red
 - La corriente inicial es de 4 a 8 veces la nominal. Se considera para cálculos $I_a = 6 \cdot I_n$
 - Solo se utiliza con motores de pequeña y mediana potencia y si la red lo permite.
 - El par de arranque $M_a \approx 1,5 M_n$
 - El par máximo se alcanza aproximadamente al 80 % de la velocidad nominal.
 - No se recomienda en montacargas ni en cintas transportadoras por el par de arranque.
 - El motor solo necesita tres bornes U – V – W. La conexión interna dependerá de la tensión de la línea.
 - Para el giro a derechas se conectan:
 - L1 - U
 - L2 - V
 - L3 - W
- } Para el cambio de giro, se intercambian dos.

ANEXO E: DISEÑO TABLERO CONVENCIONAL ARRANQUE ESTRELLA TRIÁNGULO

CIRCUITO DE FUERZA

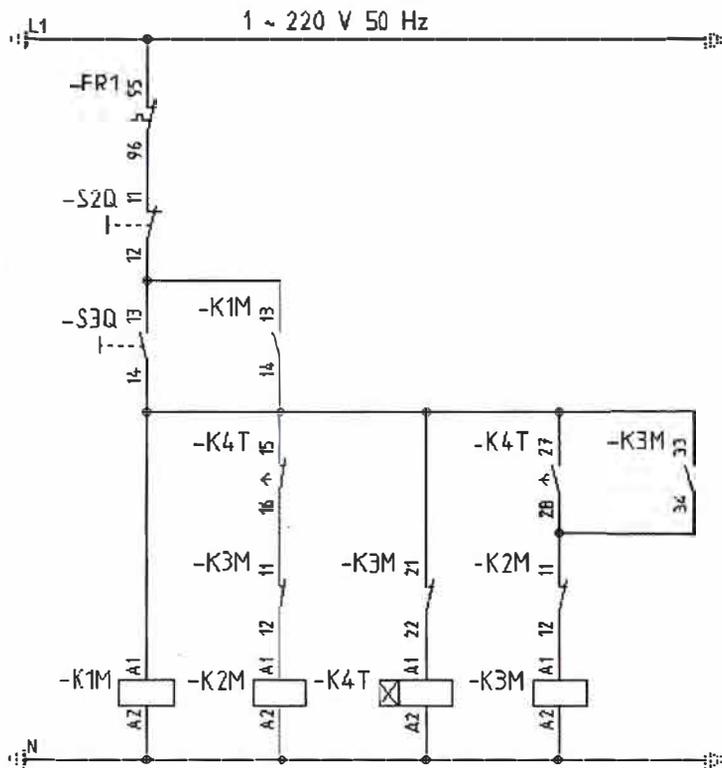


K1M (Común)	L1-U1
	L2-V1
	L3-W1
K2M (Estrella)	U2-V2-W2
	L1-W2
	L2-U2
K3M (Triángulo)	L3-V2

■ Leyenda	
QS1:	Seccionador fusible
FR1:	Relé térmico
K1M:	Contacto de línea
K2M:	Contacto conex. estrella
K3M:	Contacto conex. triángulo
M1:	Motor trifásico

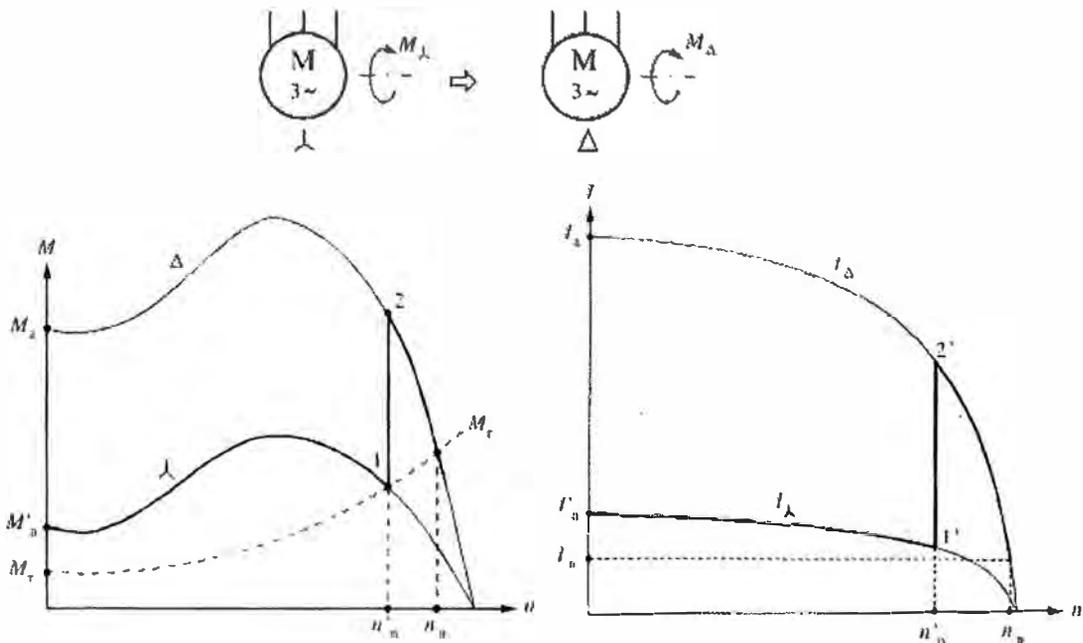
- Es necesario disponer de un motor con los 6 bornes (2 por bobina)
- El motor arranca en estrella
 - La tensión de los bobinados se reduce en al 57%
 - El par se reduce al 33%
 - La corriente de arranque se reduce a 2 veces I_n
- Al alcanzar la máxima velocidad, el motor se desconecta momentáneamente y a continuación se conecta en triángulo para alcanzar la velocidad de régimen
 - Durante la desconexión de puede producir una pequeña pérdida de par y un pico de corriente
- Es el arranque más utilizado por su sencillez, precio y prestaciones.

CIRCUITO DE MANDO



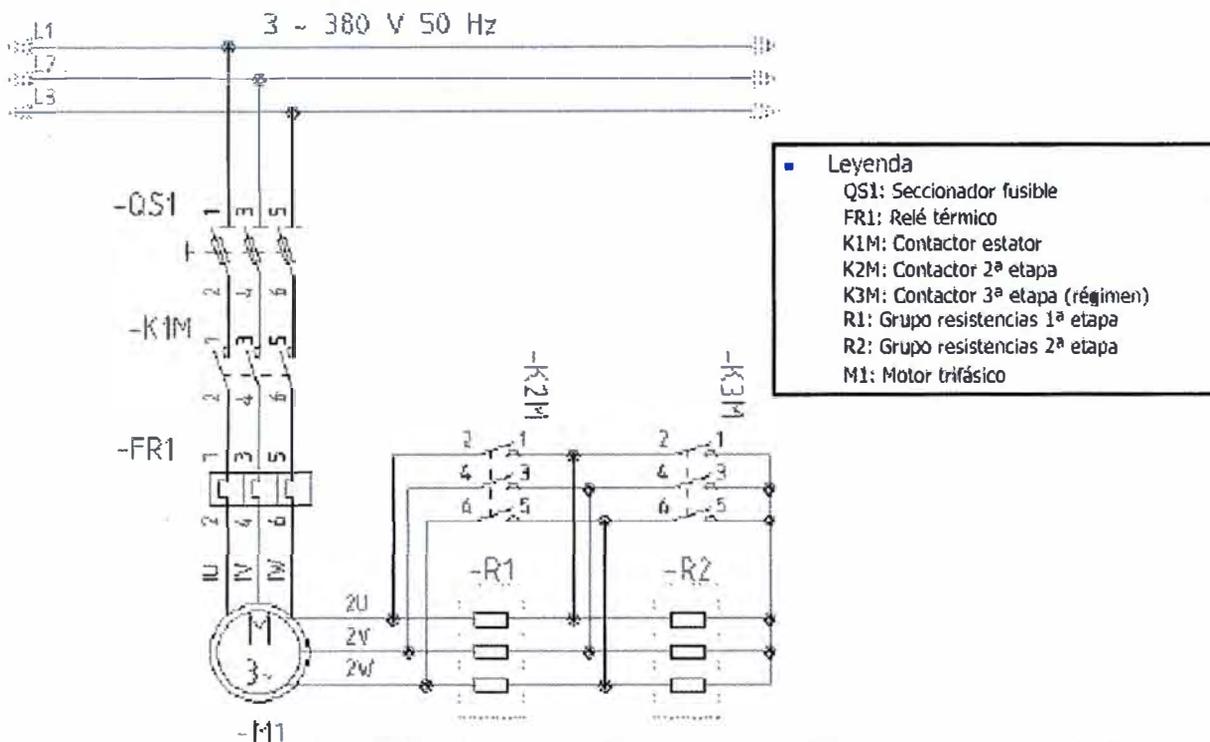
- **Leyenda**
- FR1: Relé térmico
 - S2Q: Pulsador de paro
 - S3Q: Pulsador de marcha
 - K1M: Contactor de línea
 - K2M: Contactor conex. estrella
 - K3M: Contactor conex. triángulo
 - K4T: Relé temporizado

VARIACIÓN M/N E I/N EN EL ARRANQUE -

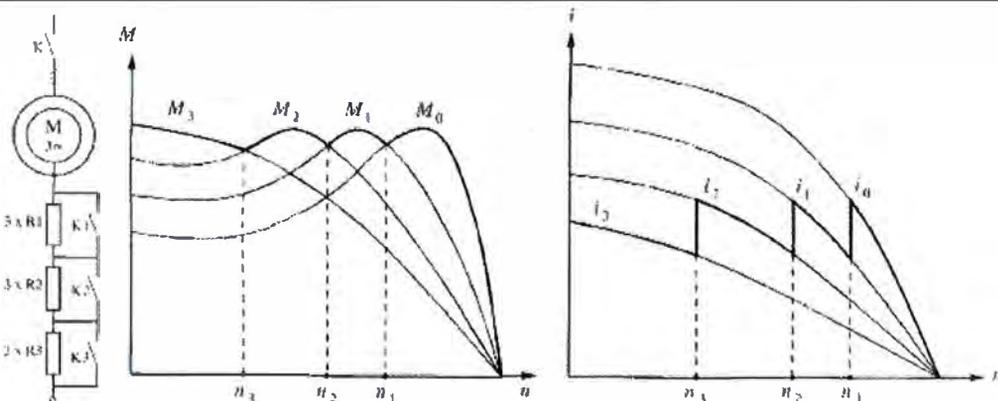


ANEXO F: DISEÑO DEL ARRAQUE DE UN MOTOR ROTOR BOBINADO MEDIANTE RESISTENCIAS ROTÓRICAS

Circuito de Potencia para 3 etapas



- En el motor de jaula de ardilla, el par máximo se alcanza aproximadamente al 80% de la velocidad nominal (n_n)
- En un motor de rotor bobinado se puede desplazar el par máximo a velocidades bajas, intercalando resistencias en serie con el rotor.
- Utilizando varios grupos de resistencias, se puede conseguir un arranque suave con un par elevado durante todo el periodo de arranque.
- La intensidad, y por tanto el consumo, se mantiene moderada durante el periodo de arranque.
- El motor de rotor bobinado es más caro. Se utiliza cuando hace falta arrancar suavemente con una carga elevada.

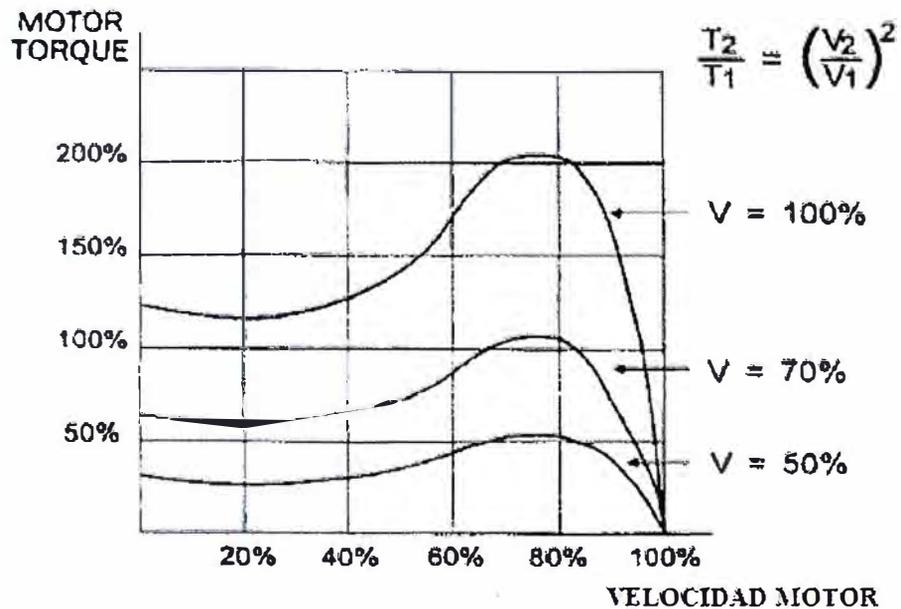


ANEXO G: ARRANQUE A TENSIÓN REDUCIDA

TIPOS:

- Estrella – triángulo
 - El motor se arranca en dos fases reduciendo la tensión de los bobinados
 - La corriente de arranque se reduce a 2 veces I_n
- Estrella – Triángulo/Resistencias – Triángulo
 - Añade al arranque estrella-triángulo un paso intermedio haciendo una conexión en triángulo, con una resistencia en serie con los bobinados de cada fase.
- Mediante autotransformador
 - El motor arranca en dos o más etapas o de manera continua a través de un autotransformador.
- Mediante resistencias estatóricas
 - Similar al arranque con autotransformador, el motor se conecta en dos o más etapas conectando una resistencia en serie con cada bobinado del estátor.
- Mediante resistencias rotóricas
 - Requiere un motor de rotor bobinado (más caro)
 - Intercalando resistencias con el rotor, se puede desplazar el par máximo a velocidades bajas.
- Arrancadores estáticos (electrónicos)
 - La tensión aplicada al motor se controla variando el ángulo de disparo de unos SCR conectados en serie con cada bobinado del estátor

EFECTO:



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Institución Educativa Nivel Superior TECSUP, “Variadores de Velocidad” – Organismo Ejecutor del Convenio de Cooperación Técnica TECSUP/BID, 2005.
- [2] Dirección General Electricidad, “Código Nacional de Electricidad Utilización”, MEM Ministerio de Energía y Minas, 2005.
- [3] JEROME MEISEL, “Principios de conversión de energía electromagnética”, Ediciones Castilla – Madrid, 1966
- [4] Jorge Lozano Miranda, “AUTOMATIZACION”, Organismo Ejecutor del Convenio de Cooperación Técnica TECSUP/BID, 200 2
- [5] Jorge Lozano Miranda, “Control Eléctrico Industrial”, Organismo Ejecutor del Convenio de Cooperación Técnica TECSUP/BID, 200 2
- [6] Languajes World Wide (traducción técnica), “ Norma de Instalación de Bombas Estacionarias de Protección contra Incendios NFPA 20”, NFPA , Edición 2007.
- [7] M.P. Kostenko, “ Maquinas Eléctricas Tomo II” , Edición 1990.
- [8] Ramirez Arcelles, “ Principios de máquinas eléctricas”, Edición 1990.
- [9] Andres Videla Flores- Pagina web <http://www.tuveras.com> , “Manual Electricidad Industrial II”, Limusa S.A., 1996.
- [10] Post Glover- Pagina web: <http://www.postglover.com/>, Catalogo de resistencias de Rotor Bloqueado, Post Glover Resister, Inc , 2007
- [11] Shenzhen INVT Electric CO; Manual de Operaciones CHV 100; INVT Electric CO. 2007.
- [12] OMRON; Arancadores Estáticos G3JS pagina web: <http://www.directyindustry.es> Direct Industry 2010.
- [13] Clasificación NEMA; web:http://www.agitadoresindustriales.com/motores_electricos.htm; Año 2010.