CCM
CONSEJO DE COMPETENCIAS MINERAS

Cuaderno del Instructor
Módulo 7: “Mantenimiento de motores y generadores eléctricos”
PFMEI-4-01/V.1[PE01-M07/v.1]

Una iniciativa de:

CONSEJO MINERO

Con la asesoría experta de:

Innovum | FCH FUNDACIÓN CHILE

Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente del Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Jefe de Proyecto Empresas
Susana Gallardo S., Especialista de Formación
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos
Carolina Gutiérrez M., Consultor de Proyectos

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material es propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero. Está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS, QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE. © Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; FreeportMcMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.
Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.

Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.

Para las instituciones educacionales:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.

Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.

Índice

Descripción del documento **9**
1. Motor Bobinado **11**
1.1 Cálculos básicos relacionados con motores de inducción rotor bobinado (circuitos de arranque) 11
1.2 Conexiones típicas de los motores de inducción rotor bobinado de una velocidad. Partidor suave variador de frecuencia, y delta y estrella 18
1.2.1 ARRANQUE DIRECTO 18
1.2.2. ARRANQUE A VOLTAJE REDUCIDO CON AUTOTRANSFORMADOR 18
1.2.3 CONMUTACION ESTRELLA-TRIANGULO 19
1.2.4 ARRANQUE DE LOS MOTORES ROTOR BOBINADO 20
1.2.5 ARRANQUE CON ARRANCADORES ESTATICOS 21
1.2.6 COMPARACION ENTRE UN PARTIDOR SUAVE Y UN VARIADOR DE FRECUENCIA 21
1.3 Procedimientos de mantención, detección y solución a desperfectos de los motores de inducción jaula de ardilla. 23
1.3.1 FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS 23
1.3.2 GUIA DE REFERENCIA PARA CAUSAS PROBABLES DE FALLAS DE LOS MOTORES 28
1.4. GENERADOR SINCRÓNICO 29
1.4.1 Control de frecuencia. 29
1.4.2 GOBERNADORES ELECTRONICOS 30
1.5 Características de la regulación de voltaje 33
1.6 Porcentaje de regulación de voltaje 34
1.7 Pérdidas de voltaje en el estator 35
1.8 Factores de potencias 35
1.8.1 Factor de potencia unitario 35
1.8.2 Factor de potencia retrasado 36
1.8.3 Factor de potencia adelantado 36
1.9. Reacción de la armadura 36
1.10. Control de voltaje automático 38

Actividad N°8 41
1.11 Variadores de frecuencia 44
1.12 El convertidor del tipo vvi 44
1.13 El convertidor fuente de corriente (csi) 45
1.14 Modulación por Ancho de Pulsos (PWM). 46
1.15 Lógica de control del inversor 47
1.15.1 Control vectorial 50
1.15.2 Control escalar 50
1.16 Explicación de la generación asincrónica. 52
1.17 Rectificador y enlace dc. 55
1.17.1 Armónicos: 55
1.17.2 Estudio de la cem 58
1.17.3 nstalación de accionamientos según las reglas de la cem (consejos) 59
1.17.4 Reglas de compatibilidad electromagnética 59
1.18 Funciones especiales de los variadores de frecuencia 61
1.18.1 Aclaración técnica de control: 61
1.18.2 Regulación Udmáx. 61
1.18.3 Frenado por inyección de corriente continua (freno CC) 62
1.18.4 Tiempo de desexcitación del motor 62
1.18.5 Frenado CC, conexión/desconexión 62
1.18.6 Intensidad del frenado CC 62
1.18.7 Frecuencia de aplicación del frenado CC 63
1.18.8 Activar el frenado CC con la orden DES.3. 63
1.18.9 Captar o Función de Arranque al Vuelo 63
1.18.10 Captar con Característica U/f: 63
1.18.11 Elevación continúa 64
1.18.12 Frecuencia umbral 1 para Correa 65
1.19 Modos de control: 65
1.19.1 Tipos de ajustes para regulación, ajustes posibles: 65
1.19.2 Selecciona la aplicación del convertidor. 66
1.20 Explicación del control vectorial de motores ac trifásicos 68
1.20.1 Introducción al control vectorial 68
1.20.2 Conclusión 71

1.21 Conexiones eléctricas: 72
1.21.1 Preformado de los condensadores del circuito intermedio..... 72
1.21.2 Recomendaciones adicionales derateos..... 73
1.21.3 Recomendaciones para una correcta instalación de fuerza..... 75
1.21.4 Conexiones de control 79
1.21.5 Comisionado (puesta en marcha) 80
1.22 Configuración del variador de frecuencia 81
1.22.1 Diagrama de Bloque del equipo 81
1.22.2 Modos de puesta en servicio..... 82
1.22.3 Funcionamiento básico con el panel SDP o BOP 82
1.22.4 Funciones de puesta en marcha con el BOP / AOP 83
1.22.5 Operación básica con el panel BOP 85
1.22.6 Control LOCAL /REMOTO y lógica de alambrado 86
1.23 Topologías de convertidores de frecuencia..... 88
1.23.1 Convertidores para un cuadrante..... 88
1.23.2 Convertidores para un cuadrante 12 pulsos 89
1.23.3 Convertidores para cuatro cuadrantes 90
1.23.4 Convertidores de alimentación/devolución afe..... 91
1.23.5 Convertidores de media tensión..... 95
Actividad N°9..... 102

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del programa de formación de **Mantenedor Eléctrico Especialista Equipos Fijos.**

El documento está dividido en módulos, los cuales están organizados en secciones de temas y contenidos específicos.

El instructor, podrá, además, sugerir actividades como las que se listan a continuación:

- Charlas y/o reflexiones de seguridad.
- Discusiones o foros de debate.
- Reforzamientos.
- Actividades en terreno.
- Preparación para la evaluación final

Específicamente para las actividades relacionadas a tecnologías de comunicación audiovisual se entregarán links a modo referencial, sin embargo el instructor tendrá la libertad de utilizar los recursos que estime conveniente a fin de lograr los requerimientos de la actividad.

Todo el material es susceptible de ser mejorado, adaptado o modificado en función de las características del grupo con el que se trabaje. Por ello se ha diseñado desde un enfoque flexible, que permite al instructor agregar recursos que enriquezcan algún contenido o posibilitar el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto a las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos

La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del documento de evaluación de proceso".

Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10.La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas buenas.

La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75%.

Módulo VII: Mantención de Motores y Generadores Eléctricos

1. Motor Bobinado

1.1 Cálculos básicos relacionados con motores de inducción rotor bobinado (circuitos de arranque)

FUNCIONAMIENTO COMO MOTOR DE LA MAQUINA ASINCRONA
Representa el modo de funcionamiento más característico y corresponde al rango de deslizamientos comprendidos entre 0 y 1. La siguiente expresión nos da la velocidad del rotor (n_r) en función del deslizamiento (s):

$$n_r = n_s \cdot (1 - s)$$

Corresponde a velocidades comprendidas entre la velocidad de sincronismo y 0 (parada).

Si se tiene en cuenta el campo de variación de s en el régimen motor, se concluye:

- La potencia mecánica interna es positiva. Es decir, se transmite energía mecánica al eje.
- La potencia en el entrehierro es positiva, lo que indica un torque electromagnético positivo.
- Si la potencia de entrehierro es positiva, quiere decir que se transfiere energía en el sentido estator-rotor. Como quiera además que la energía en el estator procede de la red, la potencia eléctrica absorbida tendrá el sentido de p_a. En definitiva la potencia eléctrica que absorbe la máquina de la red es positiva.

En la siguiente Figura se representa simbólicamente una maquina asíncrona, en la que para mayor claridad se ha separado el estator del rotor. Se han señalado con flechas los sentidos de las potencias puestas en juego.

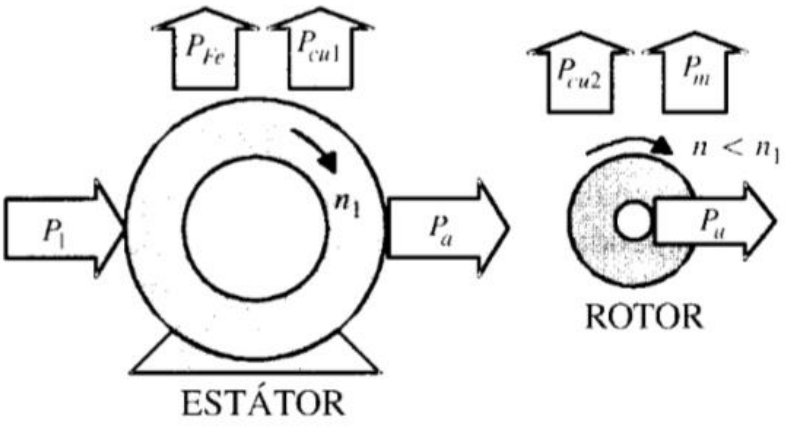


Figura 1

Reparto de potencias en el funcionamiento como motor

En la Figura siguiente se muestra la curva torque-velocidad de un motor asíncrono correspondiente a la zona de deslizamientos comprendida entre 0 y 1. Obsérvese la doble escala utilizada en el eje de abscisas calibrada en deslizamientos o en velocidades del rotor. Los puntos más característicos son:

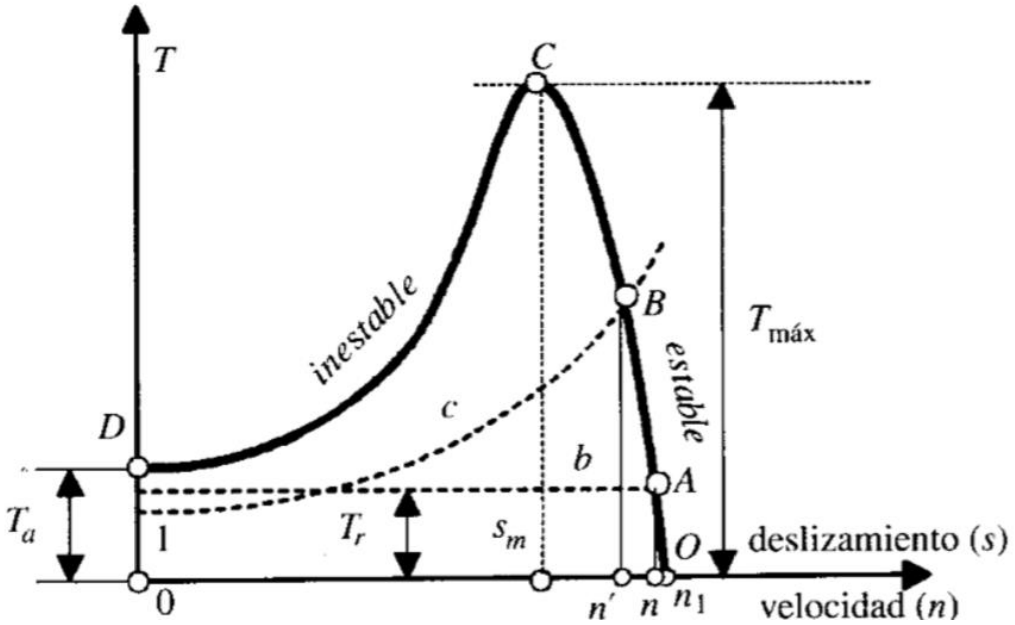


Figura 2

Curvas par-velocidad de un motor asíncrono

Punto O. funcionamiento en sincronismo: s=0; T=0, en este caso la velocidad de rotación del motor es la de sincronismo, pero esta situación constituye una imposibilidad física. De hecho, el que el torque electromagnético producido resulte igual a cero está corroborando que la maquina a esta velocidad no podría ni tan siquiera vencer los pares resistentes de rozamiento.

Punto A. régimen asignado o nominal: $s=n_s$; $T = T_n$, que corresponde a la velocidad asignada y al par nominal o asignado o de plena carga, se produce generalmente para deslizamientos comprendidos entre el 3 y el 8 por 100, que representan velocidades cercanas a la de sincronismo que se sitúan en la parte derecha de la curva de la Figura 603.

Punto C. funcionamiento con torque máximo: s=ms; T=Tm, representa el torque máximo o crítico del motor y se produce para deslizamientos comprendidos entre el 15 y el 30 por 100.

Punto D. régimen de arranque: s=1; T=Ta, en este caso la velocidad es cero y corresponde al torque de arranque.

CONCLUSIONES

La característica mecánica de los motores de inducción es prácticamente lineal entre vacío y plena carga:

- El torque máximo suele ser de 2 a 3 veces el nominal.
- El torque de arranque tiene que ser superior al nominal para permitir que el motor se ponga en marcha.
- Para un determinado deslizamiento el torque varía con el cuadrado del voltaje.
- Ventajas en los motores asíncronos
- La única alimentación eléctrica que reciben se hace a través de la línea trifásica que alimenta al devanado estatórico. NO HAY ESCOBILLAS O ELEMENTOS ROZANTES.
- El rotor de jaula es muy robusto ya que no incluye sistema aislante.
- Tienen par de arranque.
- No tienen problemas de estabilidad ante variaciones bruscas de la carga.

Inconvenientes de los motores asíncronos

- La corriente de arranque es mucho mayor que la corriente de funcionamiento nominal. Entre 3 y 6 veces mayor, inclusive puede ser mayor dependiendo de la corriente a rotor bloqueado que tenga el motor. En muchos casos es necesario disponer procedimientos especiales de limitación de la corriente de arranque.
- La variación de su velocidad implica la variación de la frecuencia de la alimentación: es necesario disponer de un convertidor electrónico que convierta la tensión de red en una tensión de frecuencia variable.

ARRANQUE DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

Se denomina arranque el proceso de puesta en marcha de una maquina eléctrica. En un motor asíncrono, para que esta operación pueda llevarse a cabo es preciso, que el torque de arranque sea superior al torque resistente de la carga; de esta forma se obtiene un momento de aceleración que obliga a girar el rotor a una velocidad cada vez más elevada, obteniendo el régimen permanente cuando se igualan pares motor y resistente.

El proceso de arranque va acompañado de un consumo elevado de corriente, debido a que el deslizamiento es la unidad, el motor ofrece una baja impedancia, estando prácticamente en cortocircuito. Las normas de los diferentes países establecen las máximas corrientes de arranque permitidas.

Para reducir las corrientes en el momento de la puesta en marcha de un motor se emplean métodos especiales de arranque, según que la maquina tenga su rotor en forma de jaula de ardilla o con anillos.

CONTROL DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN MEDIANTE EL DISEÑO DEL ROTOR.

La sección y geometría de las barras rotóricas determina sus propiedades eléctricas y la forma de variación de éstas con la velocidad de giro de la máquina

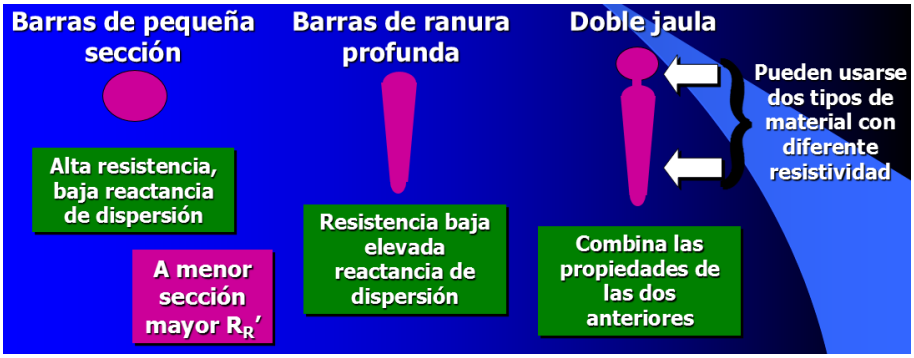


Figura 3

Geometría de las barras retóricas de un motor jaula de ardilla.

El desarrollo del rotor de doble jaula de ardilla creo tal variedad y adaptabilidad en el diseño de rotores para motores de inducción que ha llevado a diversas características de curva deslizamiento par. Al dar la proporción correcta al devanado de doble jaula de ardilla, los fabricantes han desarrollado numerosas variaciones del diseño de rotor de vaciado o normal único. Esas variaciones tienen como consecuencia pares de arranque mayores o menores que el del diseño normal y también menores corrientes de arranque.

Para distinguir entre los diversos tipos disponibles, la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación con letras en el 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.

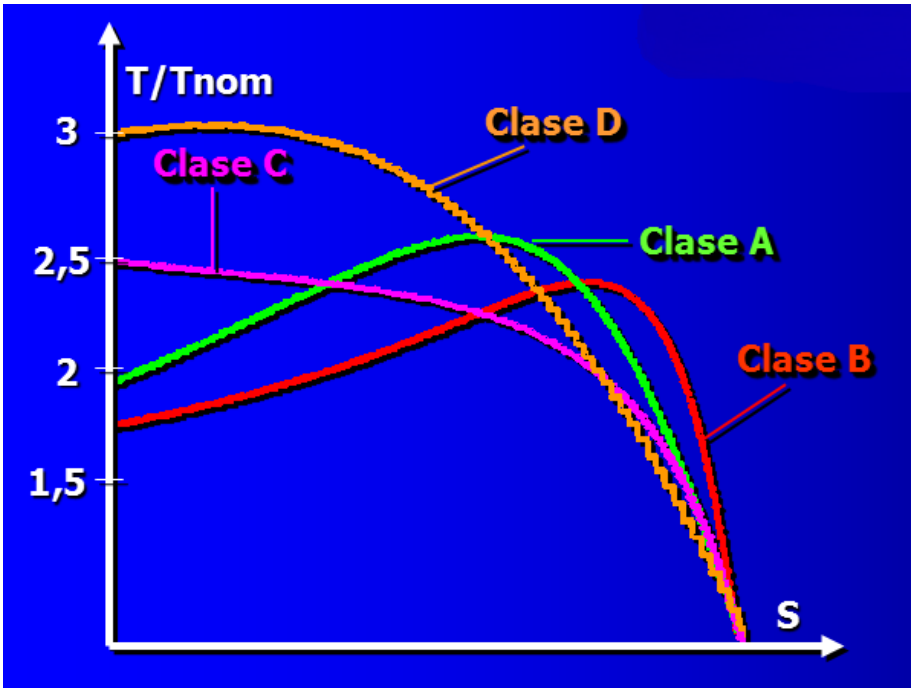


Figura 4

Curvas características deslizamiento-par de motores comerciales de inducción de jaula de ardilla (normas NEMA)

Las propiedades de la construcción eléctrica y mecánica del rotor, en las cinco clases NEMA de motores de inducción de jaula de ardilla:

CLASE A

El motor de clase A es un motor de inducción de jaula de ardilla normal o estándar, fabricado para uso a velocidad constante. Tiene grandes áreas de ranuras, para una buena capacidad de disipación de calor, y barras de ranura profunda. Durante el periodo de arranque, la densidad de corriente es alta cerca de la superficie del rotor; durante el periodo de marcha, esta densidad se distribuye con bastante uniformidad. Esta diferencia origina algo de alta resistencia y baja reactancia al arranque, con lo cual se tiene un par de arranque entre 1.5 y 1.75 veces el nominal (a plena carga). El par de arranque relativamente alto y la baja resistencia del rotor producen una aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal.

Un motor normal comercial de inducción de jaula de ardilla, clase A, tiene la mejor regulación de velocidad, entre 2 y 4 por ciento. Pero desafortunadamente su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal normal, haciéndolo menos deseable para arranque con la línea, en especial en los tamaños grandes. Sin embargo, en tamaños menores de 5 hp, no produce efectos demasiado grandes de corriente que sean indeseables.

CLASE B

A los motores de inducción de jaula de ardilla clase B se les llama a veces motores de propósito general. Su curva deslizamiento par se asemeja bastante a la del motor normal de clase A. las ranuras de su rotor están algo más concentradas que en los normales clase A, ya que sus barras son de pequeña sección, esta mayor profundidad tiende a aumentar la reactancia de arranque y marcha del rotor. El aumento de reactancia en el arranque reduce un poco el par de arranque, pero reduce también la corriente de arranque.

También se emplea un valor ligeramente más bajo de excitación de campo en este motor, para producir la menor corriente de arranque y la curva característica. Las corrientes de arranque varían entre 4.5 y 5 veces la corriente nominal. En los tamaños mayores de 5 Hp, se sigue empleando arranque a voltaje reducido con estos motores. Debido a su corriente de arranque algo menor y a sus características casi equivalentes, los motores de inducción clase B se prefieren en general sobre los de clase A para tamaños mayores.

CLASE C

Estos motores tienen un rotor de doble jaula, barras de pequeña sección y de ranura profunda, el cual desarrolla un alto par de arranque, entre 2 y 2,5 veces el par nominal en comparación con las clases A y B, y una menor corriente de arranque, de 3,5 a 5 veces la corriente nominal. Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente. Sin embargo, cuando se emplea con cargas de alta inercia, pesadas, se limita la disipación térmica del motor porque la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior.

En condiciones de arranque frecuente, el rotor puede tener tendencia a sobrecalentarse. Se adecua mejor a grandes cargas repentinas, pero de tipo de baja inercia. La Figura muestra que este motor continúa desarrollando par mayor a desplazamientos mayores hasta llegar al par máximo con rotor parado. Sin embargo, la regulación de velocidad de los motores clase C es menos buena que los de las clases A y B.

CLASE D

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla clase D se conocen también como de alto par y alta resistencia. Las barras del rotor se fabrican en aleación de alta resistencia y se colocan en ranuras cercanas a la superficie o están embebidas en ranuras de pequeño diámetro. La relación de resistencia a reactancia del rotor al arranque es mayor que en los motores de las clases anteriores. Como se indica en la Figura el torque de arranque de estos motores se acerca a 3 veces el torque nominal, con una corriente de arranque entre 3 y 8 veces la carga nominal, dependiendo del diseño.

Este motor está diseñado para servicio pesado de arranque. Pero, como el motor de inducción clase C, tampoco se lo recomienda para arranques frecuentes debido a su pequeña sección transversal y a su deficiente capacidad de disipación de calor. Como

se ve en la Figura 6, la regulación de velocidad de esta clase de motores es la peor entre todas las clases.

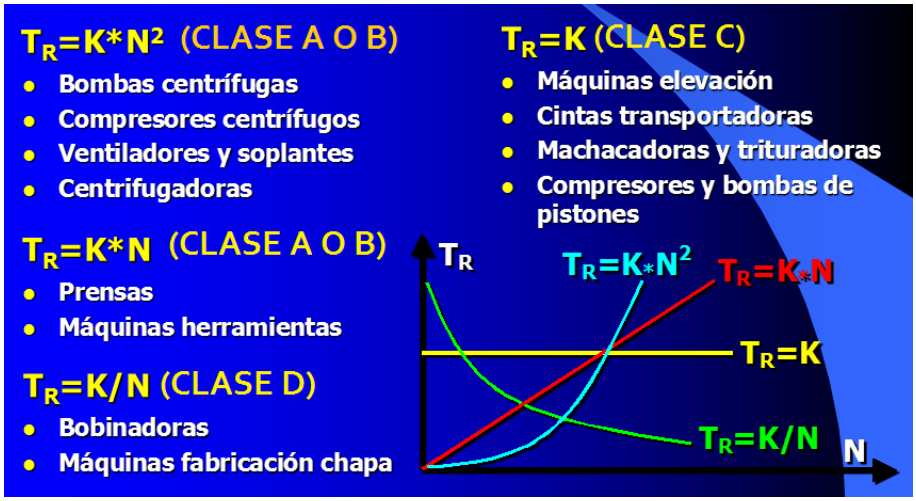


Figura 5

Características mecánicas de las cargas más habituales de los motores de inducción.

El torque y la potencia son dos indicadores del funcionamiento del motor, nos dicen qué tanta fuerza puede producir y con qué rapidez puede trabajar.

$$PAR\ [kg \cdot m] = \frac{Potencia\ [Hp]\ \cdot 716}{Velocidad\ de\ giro\ de\ lal\ flecha\ del\ motor\ o\ reductor\ [rpm]}$$

$$T = \frac{Hp\ \cdot 716}{rpm}$$

Figura 6: fórmula del torque en función de la velocidad y la potencia del motor.

1.2 Conexiones típicas de los motores de inducción rotor bobinado de una velocidad. Partidor suave variador de frecuencia, y delta y estrella

1.2.1 ARRANQUE DIRECTO

Solo valido en motores pequeños o en las centrales eléctricas. El esquema de conexiones se indica en la Figura donde se ha supuesto que el estator está conectado en estrella y en la Figura se indica la disposición de la caja de bornes del motor.

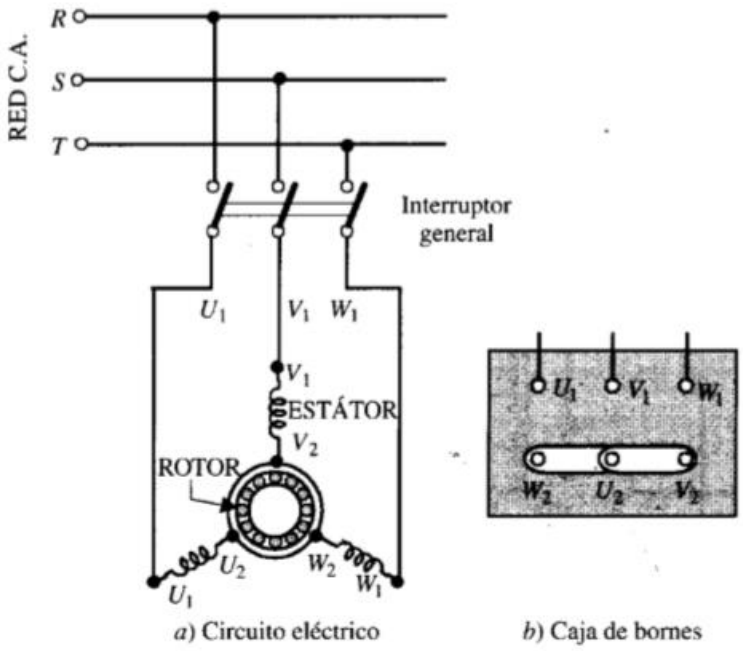


Figura 6

Esquema eléctrico del arranque directo

1.2.2. ARRANQUE A VOLTAJE REDUCIDO CON AUTOTRANSFORMADOR

Reducción de la tensión durante el arranque mediante autotrafo. En la Figura se muestra un arranque con dos etapas de tensión. En la posición 1 del conmutador se alimenta el autotrafo con la tensión de la red (etapa de arranque). Cuando la maquina ha aumentado su velocidad hasta un valor adecuado, cercano al asignado, el conmutador se pasa a la posición 2, lo que eleva la tensión que llega al motor y este sigue aumentando de velocidad. Finalmente se pasa el conmutador a la posición 3, de tal forma que la tensión de la red queda aplicada directamente al estator del motor.

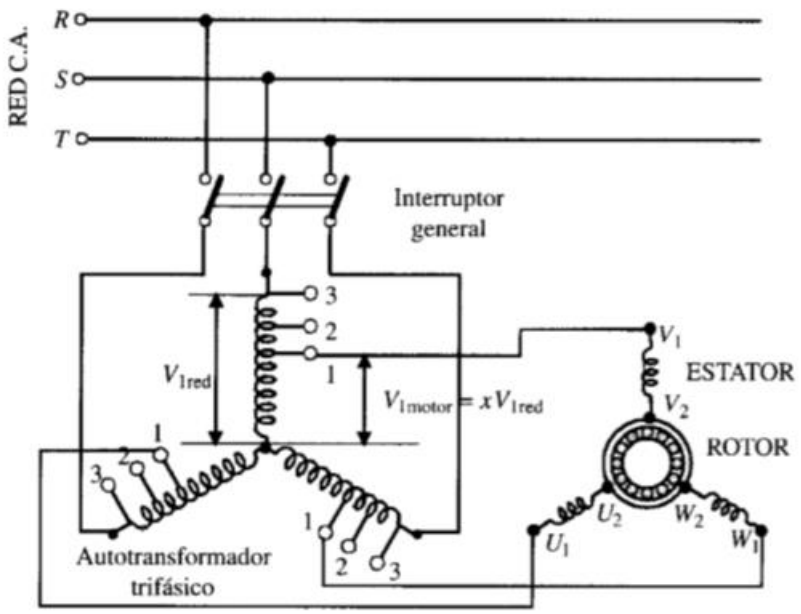


Figura 7

Esquema eléctrico del arranque con autotransformador

1.2.3 CONMUTACION ESTRELLA-TRIANGULO

Este método es el más utilizado, el más económico y solamente es para aquellos motores que estén preparados para funcionar en triangulo con la tensión de la red.

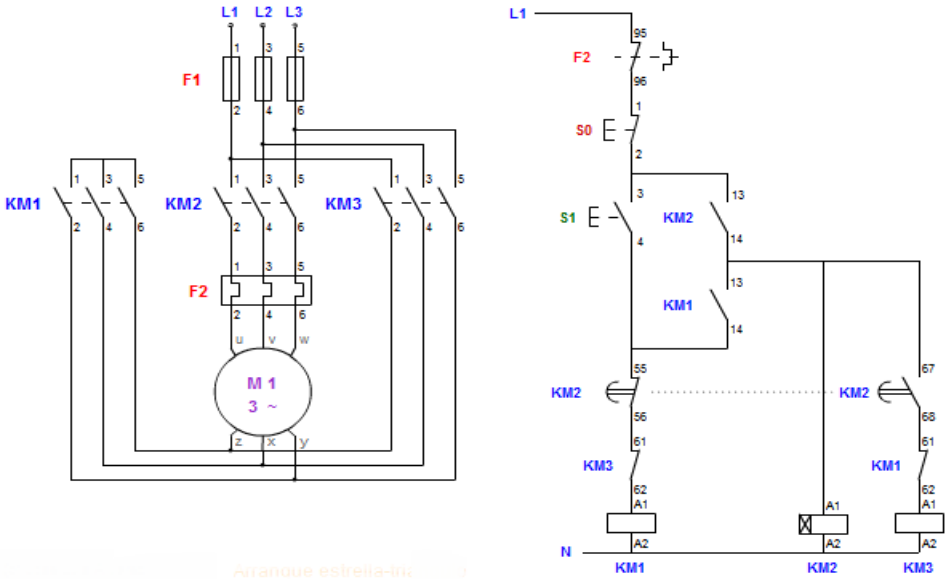


Figura 8

Esquema eléctrico del arranque estrella-triangulo.

1.2.4 ARRANQUE DE LOS MOTORES ROTOR BOBINADO

Arranque mediante inserción de resistencias en el rotor para dar torques de arranque que puedan llegar hasta el torque máximo del motor.

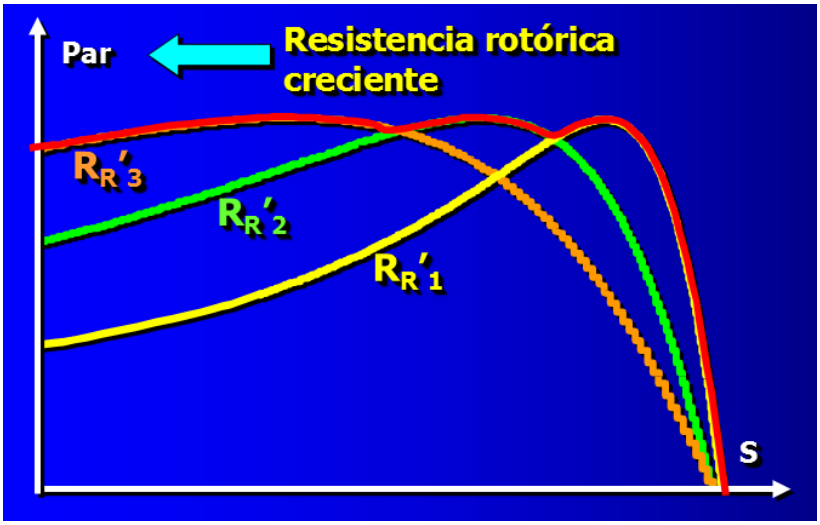


Figura 9

Curvas par-velocidad al variar las resistencias del rotor

La operación se realiza con la ayuda de un reóstato trifásico, como se indica en la Figura 10, donde se ha supuesto que los devanados de la maquina están conectados en estrella.

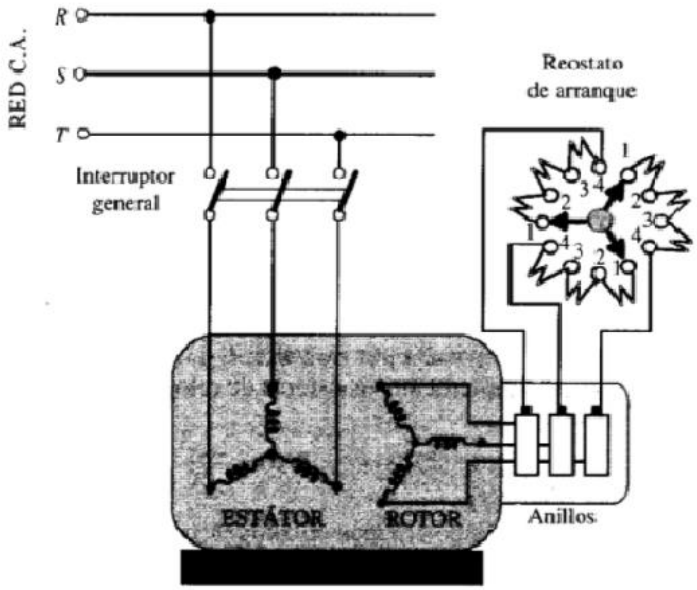


Figura 10

Motor asincrónico de rotor devanado y reóstato de arranque correspondiente.

1.2.5 ARRANQUE CON ARRANCADORES ESTATICOS

Los arrancadores electrónicos suaves. Son claramente superiores a los arrancadores directos y a los arrancadores estrella-triángulo, reducen la tensión en el motor reduciendo el torque de arranque y como resultado de la menor corriente de arranque.
También protegen eficientemente la línea contra picos de corriente peligrosos. La tensión aplicada al motor durante el arranque se incrementa gradualmente gracias al control de ángulo de disparo.

Los picos de corriente y torque que caracterizan a los arrancadores directos y estrella-triángulo, simplemente no ocurren.

El resultado del arranque: los disturbios en la línea, en el motor y la carga son reducidos.

Algunas características:

- Rampas de Voltaje
- Limitación de corriente
- Paro suave (paro de bombas)
- Frenado por corriente directa
- Impulso de arranque
- Detección de arranque finalizado (By pass)

Simplemente las tres fases son controladas y sus tiristores son dimensionados para una operación continua. Puede ser operado alternativamente usando un contactor de puenteo (bypass) externo.

1.2.6 COMPARACION ENTRE UN PARTIDOR SUAVE Y UN VARIADOR DE FRECUENCIA

Los arrancadores suaves constituyen una muy buena opción cuando se trata de reducir el stress mecánico del motor y la máquina durante el arranque. Sin embargo, la reducción de corriente durante el arranque no siempre se puede conseguir. En estos casos, el variador de frecuencia aporta ventajas comparativas pues mantiene intacto los rendimientos de torque del motor, permitiendo arrancar cualquier máquina por difícil que sea su arranque, y agrega una reducción de corriente importante. El variador de frecuencia permite variar la velocidad de funcionamiento del motor en cualquier etapa de operación, en tanto que el al arrancador suave no realiza esta función.

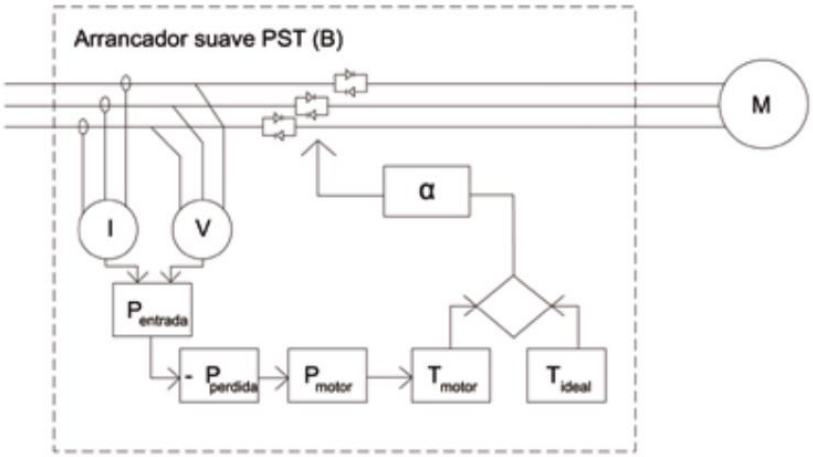


Figura 11

Esquema eléctrico del arranque con arrancador suave

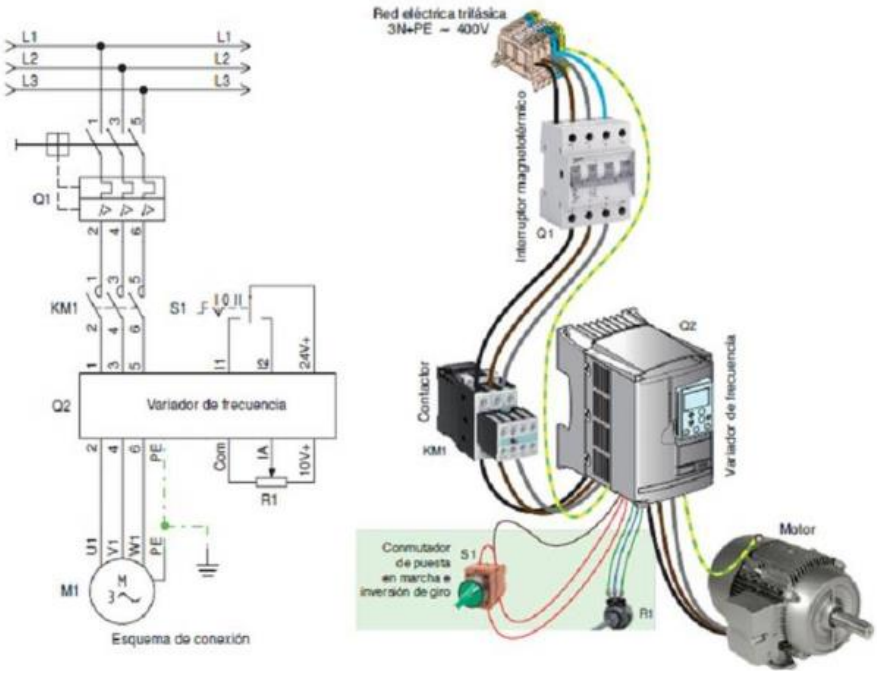


Figura 12

Esquema eléctrico del arranque con variador de frecuencia.

1.3 Procedimientos de mantención, detección y solución a desperfectos de los motores de inducción jaula de ardilla.

1.3.1 FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS

Cuando un motor falla, no es fácil localizar con precisión tal causa, pues muchas veces su origen se oculta bajo devanados quemados u otras averías engañosas. Por ejemplo los devanados pueden estar muy quemados, pero un examen detenido puede descubrir un cojinete dañado que ocasionó el rozamiento del motor contra el devanado del estator. Llevando el análisis más a fondo, ¿por qué falló el cojinete?, fue por desalineación, exceso de carga o sólo falta de lubricación.

Una parte importante del proceso consiste en saber por qué se dañan los motores. Se ha encontrado que los orígenes de los problemas en un motor suelen estar comprendidos en una de las siguientes categorías:

- **Condiciones ambientales adversas**

Temperatura ambiente
Los motores deben funcionar dentro de la variación límite de su temperatura indicada en su placa de identificación a fin de lograr una larga vida útil. Como ya se mencionó anteriormente: por cada 10°C de aumento en la temperatura de operación del motor por encima de la nominal, la duración de la vida del aislamiento se reduce a la mitad.

El valor normal de la temperatura ambiente (T_A) que se considera al diseñar un motor es de 40C. Si se tiene, por ejemplo, un motor con factor de servicio (es un multiplicador que indica el monto de carga adicional que un motor puede manejar por encima del caballaje escrito en su placa) unitario y aislamiento clase 130, que debe trabajar a una temperatura ambiente de 50°C. Su elevación de temperatura (E_T), la cual normalmente podría ser de 80°C, tendrá que reducirse a:

$$E_T = 0.9 \text{ x}(130 - 50) = 72 \text{ °C}$$

Además de mantener la temperatura ambiente correcta, hay que localizar y eliminar otras fuentes de aumento de temperatura como suelen ser la desalineación, sobrecarga, voltaje incorrecto, presencia de vapores corrosivos, sal suspendida en el aire, suciedad, polvo y otros contaminantes ambientales en exceso. En lugares con tales condiciones es esencial contar con motores cuyas carcasas estén especialmente diseñadas para cada tipo de operación.

La humedad es otra causa común de fallas de motores. Si se condensa en la superficie del aislamiento por cambios de temperatura o por contacto con agua, dicha superficie se volverá altamente conductora, se dañara y producirá la falla inmediata del motor. Además, es posible que el aislamiento absorba humedad con el paso del tiempo, hasta que la resistencia dieléctrica del aislamiento se reduce tanto que ocurre la falla.

Altura sobre el nivel del mar

Además de considerar un valor máximo para la temperatura de ambiente a la que va a operar el motor, el diseñador también debe tener presente la máxima altitud (o metros sobre el nivel del mar, msnm) a la que funcionará; para efectos de cálculos de funcionamiento se supone una altitud de 1.000m.

Puede utilizar la siguiente fórmula para calcular la elevación de temperatura corregida de un motor en función de la densidad del aire.

E_T Corregida = E_T normal + E_T del normal por Factor aire X, donde
E_T Normal es la temperatura de operación del motor según especificación
Factor aire X es el efecto de la altura sobre la temperatura de operación

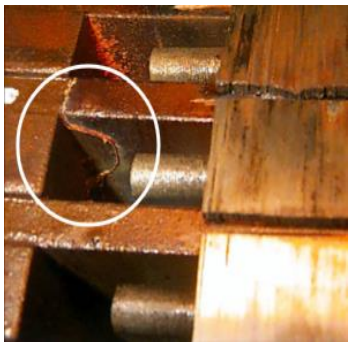
$$Factor\ aire\ X = \left(\frac{100}{densidad\ (en\ \%)\ del\ aire\ a\ la\ altura\ de\ lugar} - 1\right)$$

A grandes altitudes, el aire es menos denso y menos eficaz para el enfriamiento: esto permite que en casi todos los motores la temperatura aumente alrededor de1 5% por cada 300m de altitud.

- **Selección o aplicación incorrectas**

Hay muchas formas en que la selección o aplicación de los motores pueden ser incorrectas. A veces el error es tan pequeño que la máquina opera largo tiempo sin notarse; de nuevo, es esencial seleccionar el tamaño y tipo requerido de motor según la aplicación deseada.

La instalación también puede ser incorrecta, hay numerosos factores que deben considerarse. Por ejemplo, un ciclo severo de trabajo podría ocasionar falla prematura del motor, la marcha irregular a tirones, el frenado por contra marcha (inversión) y un prolongado tiempo de aceleración hacen que los motores trabajen a velocidad más baja de la normal. Debido a que los motores sometidos a este ciclo de servicio toman corrientes muy intensas en el arranque, éstas producen a veces calentamiento excesivo. Además, debido a la baja velocidad, se agrava el problema del sobrecalentamiento.



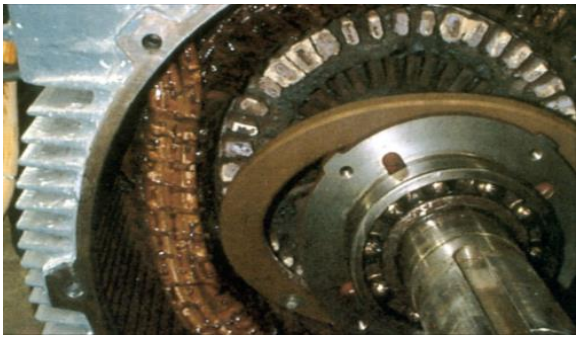


Figura 13

Fallas de rotor

- **Instalación inadecuada**

Las deficiencias en el montaje del motor pueden ocasionar su falla. Si los pernos de montaje no son de la medida correcta o no están bien apretados, puede ocurrir una desalineación y vibraciones que ocasionarán daños en los cojinetes y el eje (flecha) y, en un momento dado la quemadura de los devanados. Las placas de la base de acero, los cimientos y el montaje deben tener suficiente resistencia para soportar los paros y arranques, ambos, los programados y los no programados.

Acoplamiento, bandas, poleas y cualquier otra conexión entre el motor y la carga impulsada deben estar bien alineados para evitar la vibración excesiva, que es tan dañina para los motores.

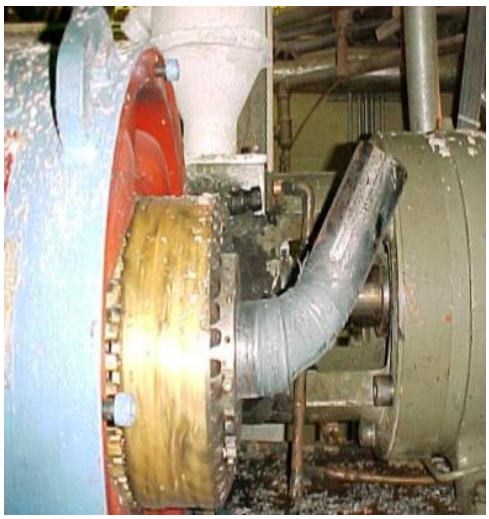


Figura 14
Fractura de eje

- **Desperfectos mecánicos**

Una carga excesiva puede dañar con rapidez un motor; éste quizá haya sido al principio del tamaño apropiado para la carga, pero una variación en ésta o en el mecanismo para la impulsión puede producir sobrecarga del motor.

Los cojinetes empezarán a fallar, los engranes pueden trabarse o pueden presentarse otras causas de fricción o cargas extra. En este caso, el motor consumirá más corriente y se incrementará su temperatura. Si la corriente del motor excede del amperaje nominal a plena carga, aunque sea por un tiempo breve, el rápido sobre-calentamiento reducirá la duración del motor. Si se tienen relevadores de sobre- carga del tamaño correcto, se dispararán en caso de un sobre corriente muy intenso.

Las fallas de los cojinetes se encuentran entre las más comunes en cualquier motor. Se calcula que casi el 50% de las quemaduras de motores se deben a un cojinete dañado. Es necesario conocer a fondo los diversos motivos de las fallas de los cojinetes y los procedimientos correctos de mantenimiento para lograr un mayor aprovechamiento del motor.

La desalineación entre el motor y su carga en acoplamientos, engranajes, poleas y bandas es otra causa de falla mecánica. Debe practicarse el balanceo o equilibrado dinámico de todos los componentes para obtener una larga duración del motor, lo cual además reducirá al mínimo la vibración y problemas asociados.

Figura 15

Fallas en rodamientos

- **Fallas eléctricas**

Si el voltaje de suministro es incorrecto o tiene variaciones notables, ocurrirá una avería prematura del motor. El bajo voltaje hace que la corriente normal se incremente. Si la reducción en la tensión aplicada es considerable, el exceso de corriente producirá sobre calentamiento del motor.

Un alto voltaje de alimentación para el motor reduce las pérdidas en los devanados, pero el flujo magnético más intenso ocasiona mayores pérdidas en el núcleo.

Un pequeño incremento en el voltaje de suministro podría reducir el consumo de corriente, sin embargo, un aumento del orden del 10% o más con respecto al valor de la placa producirá saturación del hierro y una intensificación considerable en la corriente con el consecuente sobre-calentamiento perjudicial del motor.

Figura 16

Fallas en devanados

- **Desbalance de voltaje**

Los voltajes trifásicos desequilibrados o desbalanceados pueden ocasionar una grave alteración en la corriente, que puede producir un rápido sobre-calentamiento del motor. Es necesario instalar una protección contra esta condición externa, para lo cual suelen ser adecuados los relevadores de sobrecarga.

- **Mantenimiento inadecuado**

Generalmente el buen mantenimiento preventivo evita o cuando menos demora, una posible falla del motor. Los técnicos han encontrado en algunas instalaciones condiciones tales como polvo y suciedad en los motores, conductos de ventilación obstruidos, motores sobre-calentados, corriente incorrecta en éstos, cojinetes ruidosos, humedad dentro y fuera de la máquina, debido todo ello a la falta de mantenimiento periódico.
En algunas ocasiones, no todos los motores necesitan ni ameritan mantenimiento preventivo, en particular cuando el costo de este último puede ser mayor que reparar el

motor. Por otra parte, cuando el motor se encuentra en una instalación crítica o es muy grande, costoso o difícil de sustituir, entonces si se justifica un buen programa de mantenimiento adecuado, además la línea de producción no sufre interrupciones, los motores duran más y sus costos totales de operación son más bajos.

- **Una combinación de dos o más de los factores anteriores**

Como cualquier otra máquina, es imposible evitar desperfectos de los motores, pero sí se logra prolongar la duración de su vida útil por medio de un adecuado mantenimiento preventivo.

1.3.2 GUIA DE REFERENCIA PARA CAUSAS PROBABLES DE FALLAS DE LOS MOTORES

Síntoma o falla	Razones
No arranca	1. está abierta la conexión con la línea 2. circuito abierto en un devanado del motor 3. están abiertos uno o más devanados.
No siempre arranca, aun sin carga, pero trabaja en cualquier dirección cuando se arranca en forma manual	1. están abiertos uno o más devanados
Arranca, pero se calienta con rapidez	1. un devanado está en cortocircuito o a tierra
Arranca, pero funciona demasiado caliente	1. un devanado está en corto circuito o a tierra
No arranca, pero trabaja en cualquier dirección cuando se arranca en forma manual (se sobrecalienta)	1. un devanado está en corto circuito o a tierra 2. están abiertos uno o más devanados.
Potencia reducida (el motor se calienta demasiado).	1. un devanado está en cortocircuito o a tierra 2. los cojinetes se pegan o están agarrados 3. hay interferencia entre los miembros

	estacionario y giratorio.
El motor funde el fusible o no se detiene cuando el interruptor es desconectado	1. un devanado está en corto circuito o a tierra 2. hay conexión a tierra en el extremo del devanado que está cerca del interruptor.

Figura 17

1.4. GENERADOR SINCRÓNICO

1.4.1 Control de frecuencia.

La frecuencia de la fem producida por un alternador depende del número de polos de campo y de la velocidad del rotor. Un ciclo es generado cada vez que un par de polos pasa una bobina. Una formula simple para calcular frecuencia es:

$$f = \frac{P \cdot N}{120}$$

Dónde:
f = frecuencia en Hz.
P = número de polos del alternador
N = velocidad del rotor en rpm

Las reglas impuestas por las autoridades requieren que las compañías de distribución eléctricas mantengan una frecuencia relativamente constante. La variación máxima permitida es un 3%. En consecuencia, se debe instalar un gobernador en el motor impulsor para mantener la frecuencia requerida (50 Hz. En Chile) bajo condiciones de carga variables.

El gobernador es un sistema de control asociado a la unidad generadora que permite mantener constante la velocidad de la máquina. En el diagrama esquemático mostrado a continuación:

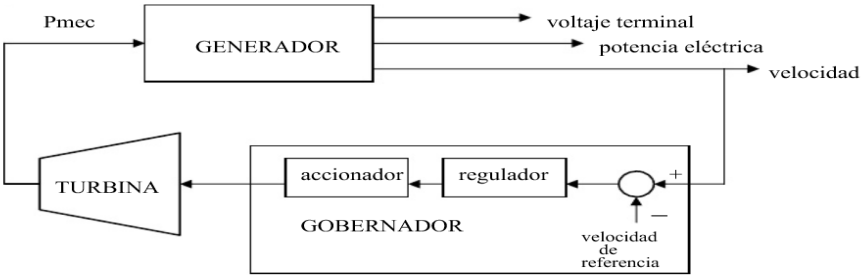


Figura 18

Diagrama esquemático indicando la relación generador-gobernador-turbina.

El gobernador indirectamente permite mantener la frecuencia constante y satisfacer la carga. La expresión que relaciona la velocidad sincrónica con la frecuencia viene dada por:

$$Velocidad = \frac{120 \cdot frecuencia}{número\ de\ polos}/$$

Al analizar esta expresión se concluye que al ser el número de polos una vez que la máquina está construida un parámetro fijo, una velocidad constante indicará una frecuencia constante, es decir, al controlar la velocidad se garantiza el control de la frecuencia.

1.4.2 GOBERNADORES ELECTRONICOS

Los gobernadores electrónicos se utilizan donde se requiera gobernación isócrona (cero caídas) o donde se especifica equipo de sincronización y paralelismo activo. Las RPM del motor son generalmente detectadas por un sensor electromagnético y la alimentación del motor se controla por solenoides impulsados por circuitos electrónicos. Estos circuitos, ya sea autocontenidos o como parte de un control de generador por microprocesador, utilizan sofisticados algoritmos para mantener el control de la velocidad precisa (y por lo tanto la frecuencia). Los gobernadores electrónicos permiten que los generadores se recuperen más rápidamente de los pasos de la carga transición que los gobernadores mecánicos. Los gobernadores electrónicos se deben usar siempre que las cargas incluyan equipos ups.

Figura 19

Gobernadores electrónicos de velocidad

Sistemas de excitación

La excitatriz es un generador de c.c. convencional, en el que a veces se sustituye toda o parte de su excitación por una excitatriz piloto con objeto de mejorar la rapidez de respuesta. En la Figura se aprecia cada uno de estos elementos (la línea de puntos indica que las tres máquinas están situadas en el mismo eje mecánico). Las maquinas síncronas más pequeñas no suelen tener excitatriz piloto y la excitatriz principal trabaja en forma de derivación (shunt), alimentando directamente el inductor o campo del alternador.

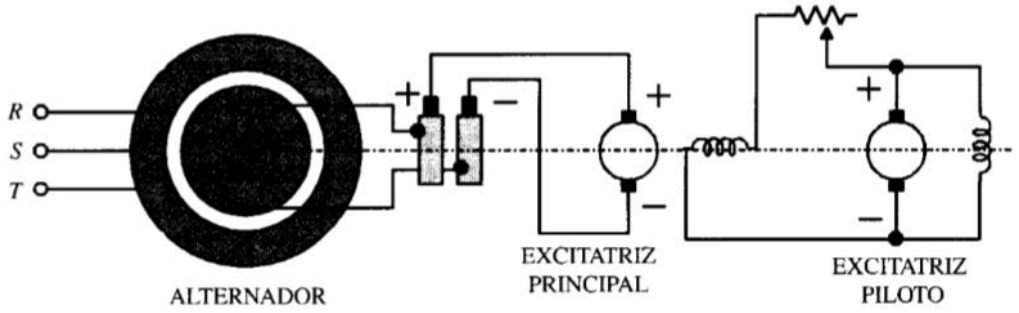


Figura 20

Sistema de excitación con dinamo excitatriz

Debido a las dificultades de conmutación en las dinamos cuando estas giran a grandes velocidades, y en general para evitar la presencia del colector de delgas de las mismas, se han desarrollado desde hace algunos años excitatrices de c.a. que con ayuda de rectificadores de silicio alimentan con c.c. los polos del alternador. El campo de estas excitatrices proviene generalmente de otra excitatriz de c.a. con imán permanente cuya salida se ha rectificado previamente, como se indica en la Figura siguiente.

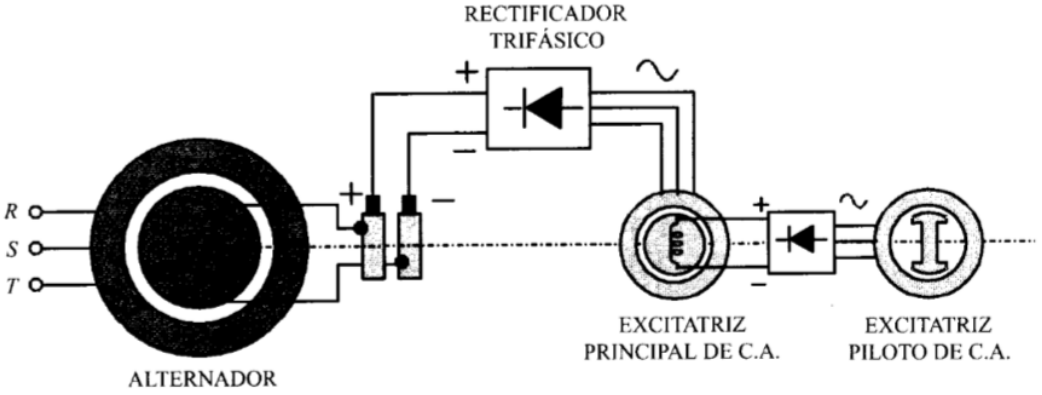


Figura 21

Sistema de excitación electrónico

Modernamente se emplea un sistema de excitación sin escobillas. El esquema es similar al de la Figura anterior pero en el cual la excitatriz principal tiene una disposición inversa a la que se presenta. En este caso el devanado trifásico de la excitatriz está

colocado en el rotor y su devanado inductor en el estator. La salida de c.a. de la excitatriz se convierte en c.c. por medio de rectificadores montados en el eje y que alimentan directamente el rotor del alternador sin necesidad de anillos y escobillas (rectificadores giratorios).

Hoy día la **regulación de tensión** es electrónica y se realiza por medio de tiristores o rectificadores controlados de silicio que permiten obtener un c.c. de amplitud variable sin que existan perdidas apreciables, a base de actuar sobre un electrodo auxiliar denominado puerta (gate).

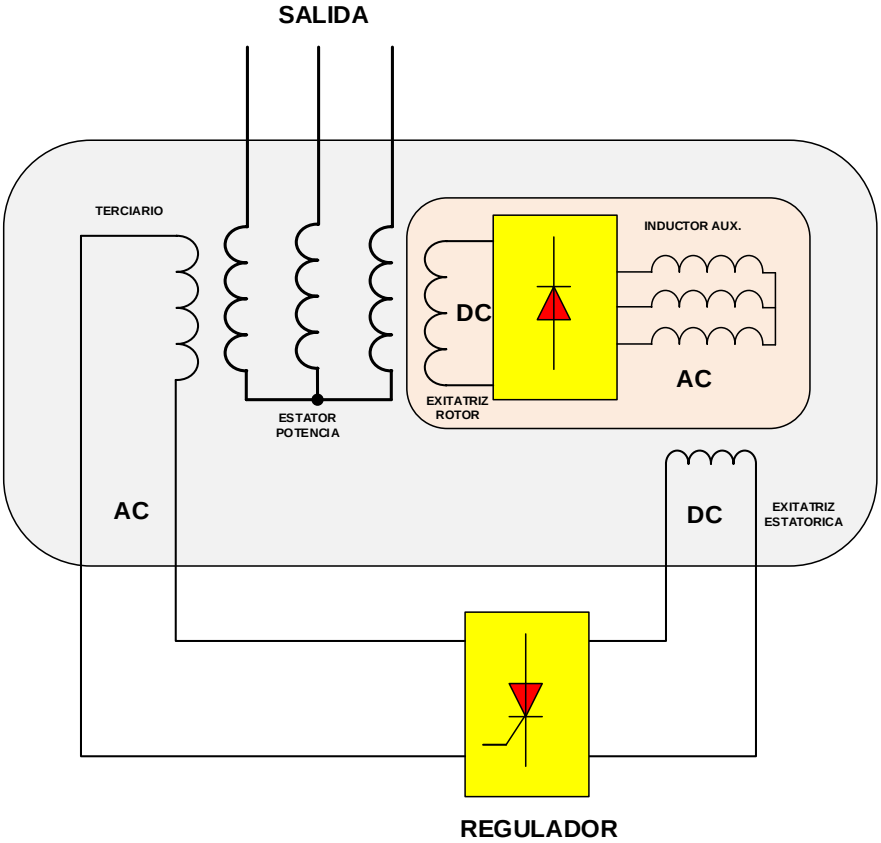


Figura 22

Regulador de tensión

Cada uno de los alternadores que aparecen en sus respectivas estaciones generadoras de energía consta de varias unidades que trabajan en paralelo, independientemente del sistema primario de combustible que se use para impulsarlas. La frecuencia a la cual funcionan (teniendo un número fijo de polos) es únicamente función de la velocidad de estos alternadores.

Cada estación generadora tiene la obligación de mantener su voltaje y frecuencia iguales a las de un sistema interconectado, o red de potencia, para dar continuidad de servicio y mejor estabilidad en el caso de sobrecargas y/o salidas de otras estaciones.
Cuando la carga del sistema varía en las diversas horas, es necesario que los primomotores de todos los alternadores se aceleren o desaceleren. En consecuencia,

se necesita algún método de control automático para hacer regresar la frecuencia que se tenga como básica en el sistema.

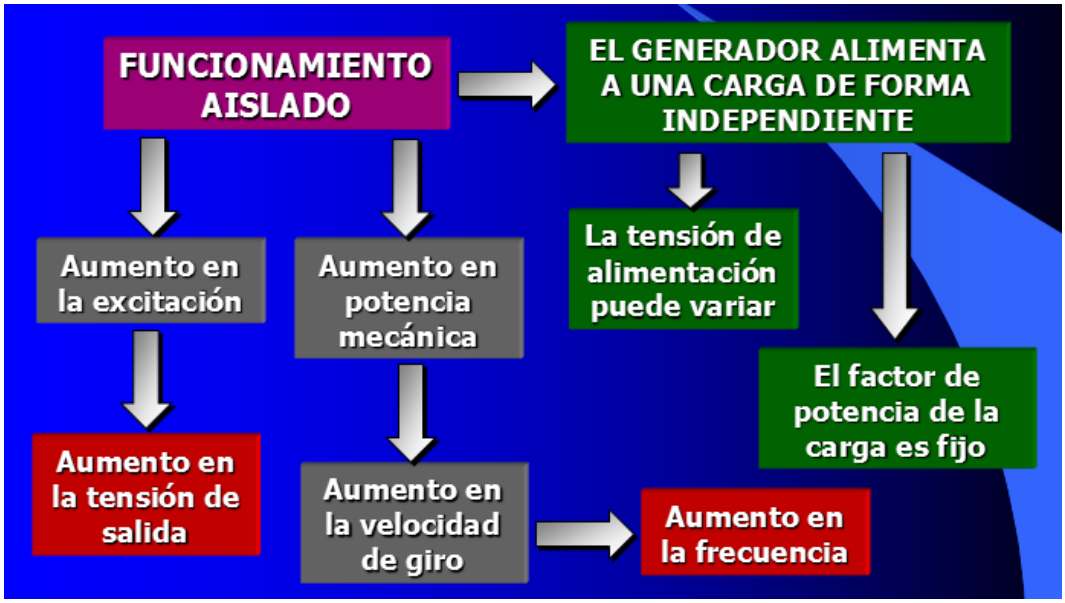


Figura 23

El generador síncrono en carga: funcionamiento aislado

1.5 Características de la regulación de voltaje

Si no hay una carga conectada al alternador, su voltaje terminal es exactamente el mismo que el voltaje generado, pero cuando se conecta una carga a este, la corriente de la carga fluye a través de las bobinas del estator. Esto hace entrar en escena la impedancia interna del alternador.

Tres factores determinan la impedancia interna:

- La resistencia de los conductores del estator
- La reactancia inductiva de las bobinas del estator
- La reacción de la armadura

Estos factores afectan el voltaje terminal. Como lo hacen depende del factor de potencia de la carga. La Figura siguiente muestra los efectos del factor de potencia en el voltaje de salida de un alternador, a un mismo valor de corriente de excitación del campo. A partir de esta información, usted puede ver que, tanto la cantidad de carga como el tipo de carga afectan el voltaje de salida.

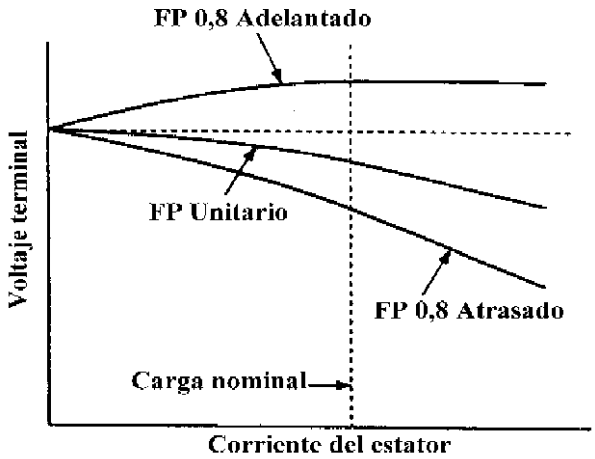


Figura 24

Efectos de la carga y del factor de potencia en el voltaje terminal.

Este cambio en el voltaje terminal, desde condición de plena carga (FL) a sin carga (NL), a velocidad constante y excitación de campo fija, es denominado *porcentaje de regulación de voltaje.*

1.6 Porcentaje de regulación de voltaje

El porcentaje de regulación de voltaje de un alternador es definido como *"el cambio porcentual en el voltaje de salida a medida que la corriente de carga decrece desde plena carga a un valor cero, con velocidad y excitación de campo mantenidas a valores constantes"*

$$Porcentaje\ de\ regulación\ de\ voltaje = \frac{Voltaje\ NL - Voltaje\ FL}{Voltaje\ FL} \cdot 100$$

Ejemplo;

El voltaje sin carga de cierto generador es 250 V, y su voltaje de plena carga es 220 V.

$$Porcentaje\ de\ regulación\ de\ voltaje = \frac{250\ V - 220\ V}{220\ V} \cdot 100 = 13{,}6\ \%$$

1.7 Pérdidas de voltaje en el estator

En las bobinas de estator de un alternador hay una caída de voltaje provocado por la resistencia efectiva de las bobinas (ER), y otra caída de voltaje provocado por la reactancia inductiva de las bobinas (EX). La combinación de estas dos caídas de voltaje es llamada la caída de voltaje por impedancia del estator (EZ). Para determinar el voltaje inducido en las bobinas del estator (EG) se debe sumar vectorialmente la caída de voltaje por impedancia en las bobinas del estator al voltaje terminal, como muestra la Figura siguiente.

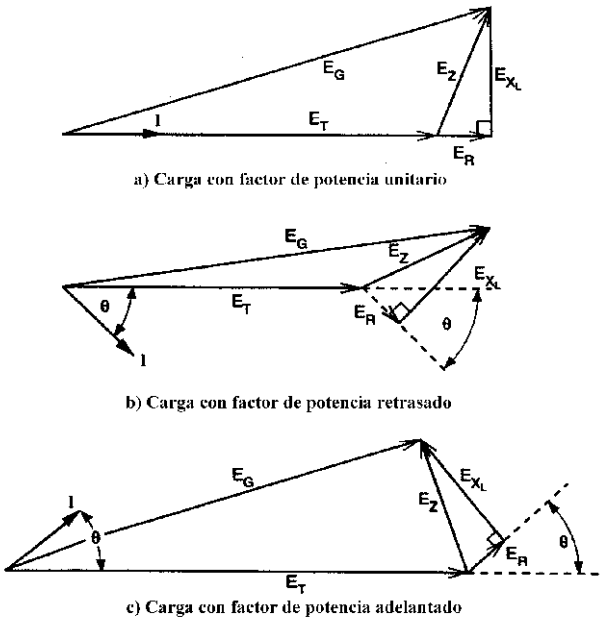


Figura 25

Efecto combinado de la resistencia y reactancia del estator sobre el voltaje de salida del alternador.

1.8 Factores de potencias

1.8.1 Factor de potencia unitario

La Figura 25 (a) muestra el diagrama de vectores para un alternador monofásico con factor de potencia unitario. Observe que la bobina del estator es tratada como un circuito serie formado de resistencia y reactancia inductiva, con la corriente de carga (I) usada como línea de referencia.

La corriente de línea está en fase con el voltaje de salida (ET), y la caída de voltaje (ER) en las bobinas del estator es provocada por la resistencia. La caída de voltaje (EXL) provocado por la reactancia inductiva de las bobinas del estator se adelanta a la corriente de la carga en 90 grados.

La combinación vectorial de las caídas de voltaje causadas por la resistencia efectiva y la reactancia inductiva es representada como EZ, o caída de voltaje por impedancia del estator. El resultado neto es que el voltaje terminal (ET) estará usualmente un 8-20% por debajo de su valor sin carga (EG)

1.8.2 Factor de potencia retrasado

La Figura 26(b) es un diagrama vectorial para el mismo alternador con una carga a factor de potencia retrasado. La corriente de carga (I) está retrasada respecto del voltaje terminal (ET) en un ángulo θ (theta). La caída de voltaje por impedancia (EZ), resultante de ER y EXL, se suma vectorialmente al voltaje inducido (EG) para obtener el voltaje terminal (ET). El diagrama vectorial muestra que cuando la corriente se retrasa al voltaje terminal, el pequeño triángulo de impedancia se desplaza en dirección del sentido del reloj, y da como resultado un voltaje terminal reducido. Un factor de potencia retrasado causará que el voltaje terminal de un alternador caiga un 25-50% por debajo de su valor sin carga (EG)

1.8.3 Factor de potencia adelantado

En la Figura 26(c) tenemos un ejemplo con la corriente de carga adelantándose al voltaje terminal por un ángulo θ (theta). La relación de fase entre la caída de voltaje por impedancia del estator (E_z) y el voltaje inducido (E_g) causará que el voltaje terminal (E_t) sea mayor que el voltaje inducido (E_g). A medida que aumenta el ángulo de avance entre la corriente de línea y el voltaje terminal, el triángulo de impedancia del estator se mueve en contra del sentido del reloj, haciendo la magnitud del voltaje terminal mayor para el mismo valor de voltaje inducido.

1.9. Reacción de la armadura

Otro factor que afectará la salida de voltaje de un alternador es la reacción de la armadura. A factor de potencia unitario, la reacción de la armadura consiste de una distorsión mínima del flujo del campo principal.

Cuando un alternador opera a un factor de potencia retrasado, una fuerza magnetomotriz (fmm) es generada por la corriente en los conductores del estator, la cual se opone a la fuerza de magnetización del campo principal, y causa una disminución en el flujo del campo principal. Esto, como resultado, resulta en una *disminución del voltaje inducido.* Mientras más bajo sea el factor de potencia retrasado, mayor será la fmm del estator, la que se opondrá y debilitará el campo (Figura 26).

En las escasas ocasiones en que un alternador alimenta una carga con factor de potencia adelantado, la corriente del estator establece una fmm en el estator que ayuda la fmm del campo principal, y causa un incremento del flujo del campo principal. En consecuencia, el voltaje del alternador aumentará con un aumento en la corriente de la carga. Mientras más bajo sea el valor del factor de potencia adelantado, mayor será la ayuda del estator al campo principal para lograr un aumento del flujo del campo principal. Exactamente cuánto subirá o caerá el voltaje terminal dependerá de:

La magnitud de la carga

El factor de potencia actual de las cargas combinadas.

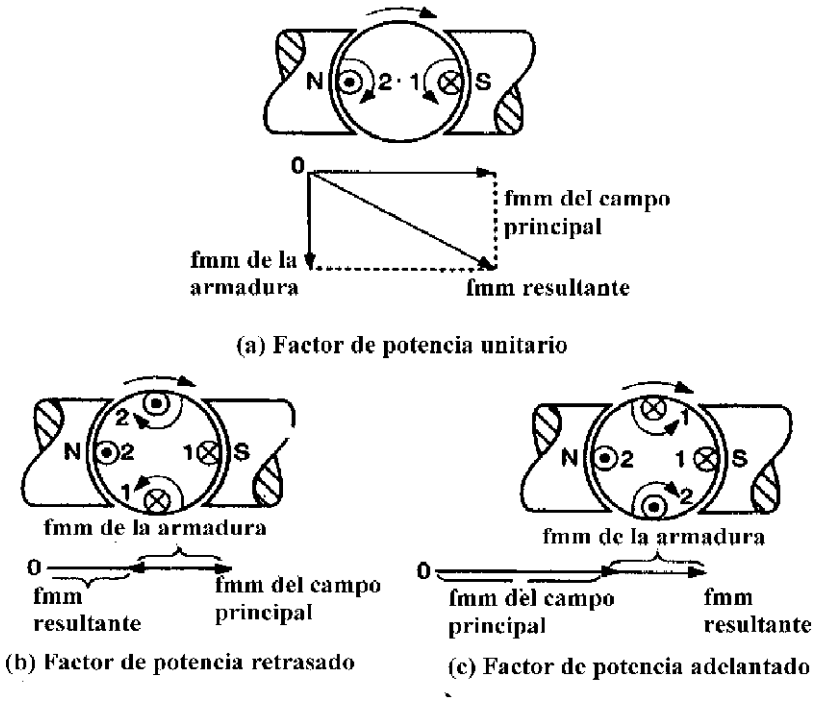


Figura 26

Factores de potencia.

En general:

- *A mayor carga, mayor el incremento o caída*
- *A menor FP retrasado, mayor será la caída de voltaje*
- *A menor FP adelantado, mayor será la subida de voltaje* ***Control de voltaje automático***

1.10. Control de voltaje automático

Los efectos combinados de la reactancia de la armadura y la reacción de la armadura causan un cambio considerable en el voltaje de salida de un alternador a medida que cambian la corriente y el factor de potencia de la carga. Para mantener un voltaje de salida relativamente constante a diferentes condiciones de carga, se usan los reguladores de voltaje automáticos.

Ellos cambian la corriente de campo del alternador para compensar los cambios en la corriente de carga. Por ejemplo, si el voltaje de salida disminuye, el regulador percibe este cambio y aumenta la corriente del campo. Este aumento en la corriente de campo causa un incremento en el flujo del campo y en el voltaje inducido, de esta manera, el voltaje de salida CA retorna a su valor original.

Actividad N°8

MANTENCION DE MOTORES Y GENERADORES ELECTRICOS (ESPECIALISTA)

INTRODUCCION

Los términos generador de corriente alterna, generador síncrono, alternador síncrono y alternador, a menudo se utilizan indistintamente en libros de ingeniería. Puesto que los generadores síncronos se utilizan mucho más que los generadores de inducción en esta obra, el término alternador se aplica solo a los primeros.

Los alternadores son la fuente más importante de energía eléctrica. Los alternadores generan un voltaje c-a cuya frecuencia depende totalmente de la velocidad de rotación. El valor del voltaje generado depende de la velocidad, de la excitación del campo en c-d y del factor de potencia de la carga.

Si se mantiene constante la velocidad de un alternador y se aumenta la excitación de campo de c-d, el flujo magnético y, por tanto, el voltaje de salida, aumentaran en proporción directa a la excitación. No obstante, con incrementos progresivos en la corriente de campo de c-d, el flujo alcanzara finalmente un valor lo suficientemente alto para saturar el hierro del alternador.

La saturación del hierro significa que, para un incremento dado de la corriente de campo de c-d, se tendrá un incremento menor en el flujo. Para conocer el grado de saturación se puede medir el voltaje generado, ya que este también se relaciona directamente con la intensidad del flujo magnético.

Las tres fases del alternador están espaciadas mecánicamente a intervalos idénticos unas de otras y, por lo tanto, los voltajes respectivos generados no están en fase, sino que están desfasados entre sí en 120 grados eléctricos.

Cuando un alternador que trabaja produciendo su voltaje nominal de salida se somete repentinamente a un corto circuito, habrá momentáneamente corrientes de gran intensidad. Sin embargo, al subsistir el corto circuito, las corrientes intensas disminuirán rápidamente a valores seguros.

APRENDIZAJE ESPERADO QUE DESARROLLA

Identificar las fallas mediante el análisis de variables medidas en las maquinas eléctricas.

ESTRATEGIAS METODOLOGICAS PARA EL INSTRUCTOR

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso plataforma web	
Recurso audiovisual	
Formulación de preguntas	X
Taller de trabajo	X
Propuestas de situaciones problemáticas	X

MATERIALES Y RECURSOS

Módulo motor/generador síncrono
Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla
Módulo de fuente de alimentación (220/380 V3, 0-220 Vc-d)
Módulo de medición de c-a (250/500V)
Módulo de medición de c-a (1.5A)
Módulo de medición de c-d (0.3/1.5A)
Cables de conexión
Banda

DESARROLLO

1. Conecte el circuito ilustrado en la Figura 1, usando los módulos EMS de motor/generador síncrono, motor de jaula de ardilla, fuente de alimentación y medición. El motor de jaula de ardilla, se usara para impulsar el motor/generador síncrono como alternador; durante este experimento de laboratorio, se supondrá que tiene velocidad constante. Observe que el motor de jaula de ardilla está conectado a la salida fija de 380 V3 de la fuente de alimentación, terminales 1, 2 y 3. El rotor del alternador va conectado a la salida variable de 0-220 V c-d de la fuente de alimentación, terminales 7 y N.

2. A) acople el motor de jaula de ardilla al alternador, mediante la banda. B) ajuste el reóstato del campo del alternador a su posición extrema moviendo el control en el sentido de las manecillas del reloj (para una resistencia cero). C) ponga la perilla de control del voltaje de la fuente a su posición extrema haciéndola girar en sentido contrario a las manecillas del reloj (para un voltaje en c-d igual a cero).

3. A) conecte la fuente de alimentación. El motor debe comenzar a funcionar. B) siendo nula la excitación de c-d, (el interruptor s está abierto) mida y anote E1, E2 Y E3 (use las escalas más bajas de los voltímetros).

E1=__15___Vc-a, E2=__15___Vc-a, E3=_15____Vc-a

C) explique por qué se genera un voltaje de c-a cuando no hay excitación en c-d. Hay algún magnetismo remanente en el rotor, así que algún flujo corta los devanados del estator, generando un pequeño voltaje.

4. A) cierre el interruptor S y gradualmente aumente la excitación de c-d de cero hasta 0.05ª c-d. B) mida y anote en la tabla 1, los tres voltajes generados E1, E2 Y E3. C) repita (B) para cada una de las corrientes directas indicadas en la tabla x. D) reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación.

I1 (amps)	E1 (volts)	E2 (volts)	E3 (volts)	Ec-a (promedio)
0	15	15	15	15
0.05	86	87	88	87
0.10	160	161	162	161
0.15	235	235	235	235
0.20	290	290	293	291
0.25	340	340	340	340
0.30	378	378	381	379
0.35	400	401	402	401
0.40	420	421	422	421
0.50	450	450	453	451

Tabla 1: voltajes generados

5. Calcule y anote en la tabla 1 el voltaje de salida promedio del alternador, para cada Corriente directa indicada.

6. A) Conecte la fuente de alimentación y ajuste la excitación de c-d hasta que E1=380Vc-a. Mida y anote E2 y E3. E1=_380____Vc-a, E2=_380____Vc-a, E3=_383____Vc-a

   B) Desconecte la fuente de alimentación sin tocar el control de ajuste del voltaje.
   C) Vuelva a conectar los tres voltímetros de c-a de tal manera que midan los voltajes a través de cada uno de los tres devanados del estator.
   D) conecte la fuente de alimentación. Mida y anote los voltajes generados en cada devanado del estator conectado en estrella.
   E1a4=_220____Vc-a, E2a5=_221____Vc-a, E3a6=_220____Vc-a
   E) reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación.
   F) compare los resultados de (A) y (D). ¿Coinciden con los que se obtendrían normalmente de una fuente de alimentación trifásica convencional? Si

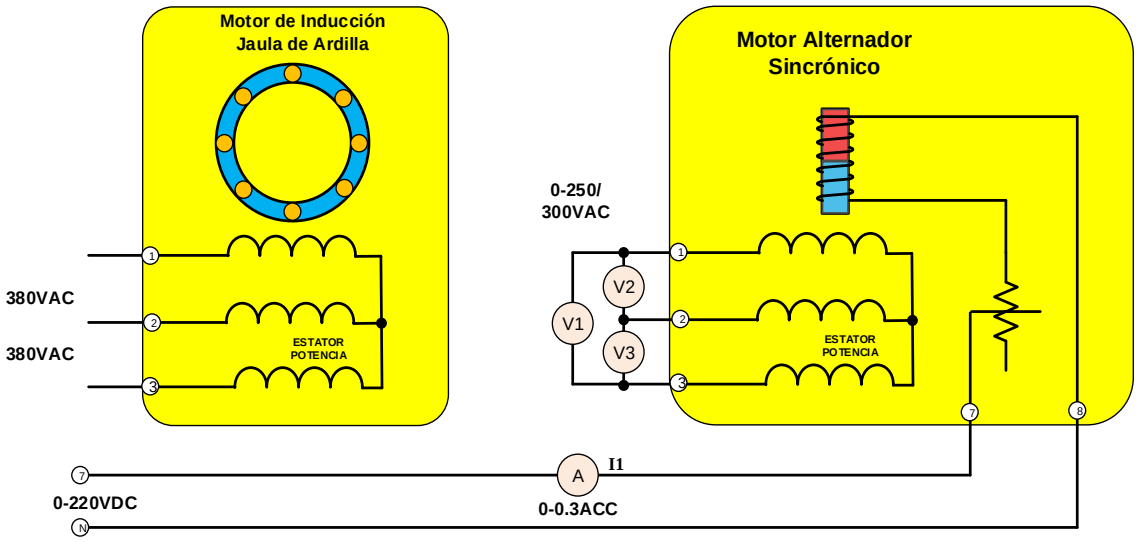


Figura
Motor asíncrono / generador síncrono

CIERRE

Los participantes deben comprender la importancia de saber interpretar las curvas que se grafican con las variables que se analizan en las maquinas eléctricas.

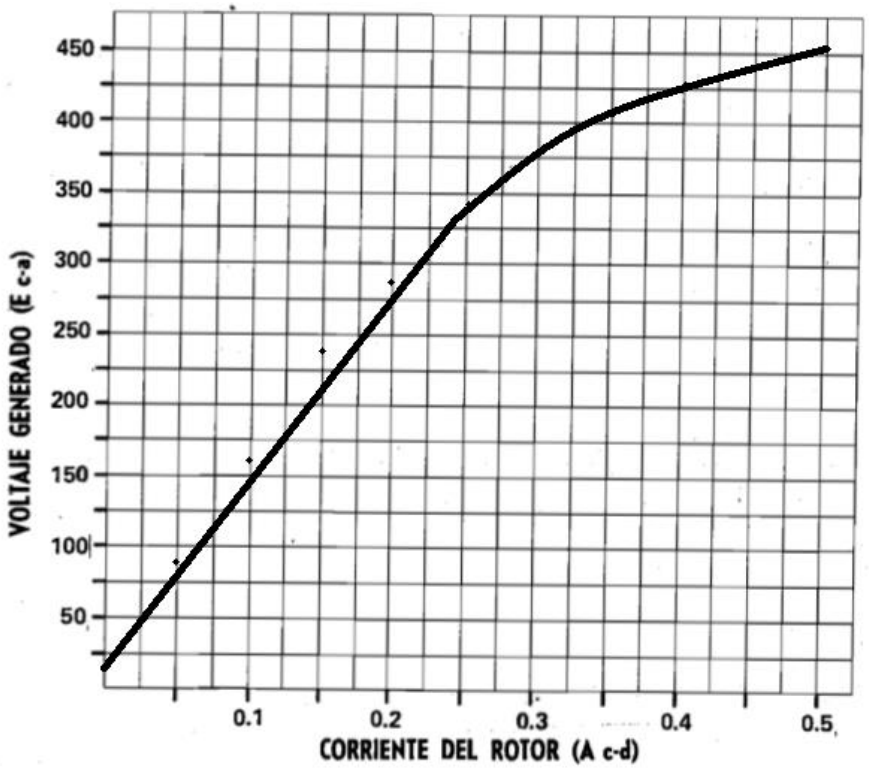


Figura
Grafica de la curva de saturación en vacío del alternador.

EVALUACION

1. A) En la gráfica de la Figura 2, marque los valores promedio de voltaje en función de los valores de corriente de c-d, tomados de la tabla 1.
B) Trace una curva continua que pase por los puntos marcados.
C) ¿Hasta qué valor forma una línea más o menos recta la curva del voltaje?_350V__
D) ¿en dónde se encuentra el codo de la curva de saturación?_350Vc-a__
E) Explique por qué el voltaje aumenta con menor rapidez cuando se incrementa la corriente de c-d.
Al incrementarse la corriente de cd del rotor a 0.25A, el hierro dentro del rotor se pone saturado. Por eso, cuando la corriente de excitación se incrementa sobre este valor, habrá un pequeño incremento del flujo magnético y el voltaje generado.

2. De algunas de las razones por las que no se debe operar un alternador cerca del codo de su curva de saturación.
Se requeriría un aumento de excitación de cd relativamente grande, para sobreexcitar el alternador. La eficiencia del alternador bajaría debido al aumento de potencia de cd en el rotor. El rotor tendería a sobrecalentarse, debido a la corriente de cd más alta. Esto reduciría los factores de tolerancia de la calidad de los devanados y el hierro, y posiblemente no operaria correctamente en condiciones de sobrecarga.

3. Un alternador tiene menos probabilidades de quemarse cuando está en un corto circuito permanente, que un generador en derivación de c-d con excitación independiente. Explique esto.
La corriente de la armadura en cortocircuito baja a un valor ileso relativamente bajo, debido a su alta impedancia (resistencia del devanado). El generador en derivación de c-d con excitación independiente tiene muy baja resistencia de la armadura. Por eso, las corrientes altas de cortocircuito pueden fluir, quemando los devanados, conmutador y escobillas.

1.11 Variadores de frecuencia

Un Drive AC, Variador de Frecuencia VDF o Variador de Velocidad, son todos términos comunes para referirse al equipo diseñado para el control de velocidad de un motor AC. Un VDF recibe una alimentación principal de voltaje y frecuencia fija y convierte estas en un voltaje y frecuencia ajustables para controlar la operación del motor. Los tres tipos de variadores más comunes son el Inversor de voltaje Variable (VVI) “Variable VoltageInverter”, Inversor fuente de corriente (CSI) “Current Source Inverter” y por modulación por ancho de pulsos (PWM) “Pulse Width Modulation”.

1.12 El convertidor del tipo vvi

VVI: utiliza un puente con SCR de entrada que convierte la potencia AC en potencia DC. Los SCRs proporcionan el medio para controlar el valor medio del voltaje DC. La inductancia L1 y el capacitor C1 componen la sección del circuito intermedio y cumplen la función de filtrar el voltaje DC entregado por el puente de SCRs. La sección del inversor consiste de seis dispositivos de conmutación. Se pueden utilizar una variedad de conmutadores de estado sólido tales como tiristores, transistores bipolares, MOSFETS e IGBTs siendo estos últimos los que se aplican en el gran porcentaje de los convertidores que se encuentran disponibles en el mercado. La siguiente Figura muestra el esquema de un convertidor de frecuencia que utiliza transistores bipolares en el inversor. La lógica de control (no mostrada) usa un microprocesador para controlar la apertura y cierre de los interruptores de estado sólido para proporcionar voltaje y frecuencia variable al motor.

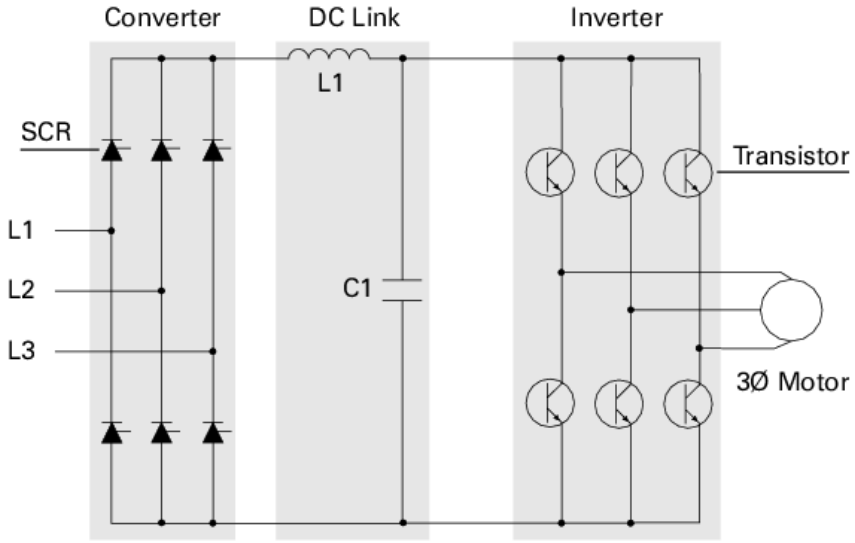


Figura 27

Etapas de un Variador de Frecuencia VVI

El tipo de conmutación en un VVI a menudo se conoce como de seis pasos porque toma seis pasos de 60º para completar un ciclo de 360º. Aunque el motor funciona mejor con una señal senoidal, una salida de seis pasos puede ser utilizada en forma satisfactoria. La principal desventaja es la pulsación de torque la cual ocurre cada vez que se conmuta un transistor. Las pulsaciones del motor se pueden notar a bajas velocidades. Estas variaciones de velocidad pueden son inadmisibles en la gran mayoría de los casos y causan un calentamiento extra en el motor que requiere de ventilación adicional y además se debe sobre dimensionar en potencia.

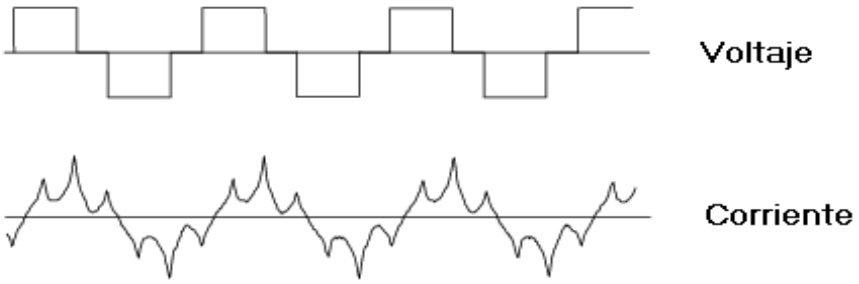


Figura 28

Forma de Onda de voltaje y corriente a la salida de un VDF

1.13 El convertidor fuente de corriente (csi)

CSI: Utiliza también un puente de SRCs a la entrada para producir un voltaje continuo variable en el circuito intermedio. La sección del inversor también utiliza SCRs para conmutar a la salida del motor. El inversor fuente de corriente por tanto controla la corriente del motor. El motor por tanto se debe escoger cuidadosamente en conjunto con el convertidor.

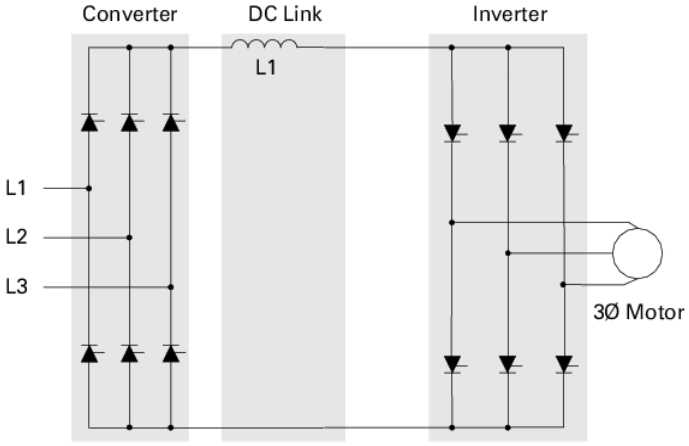


Figura 29

Convertidor de Frecuencia CSI

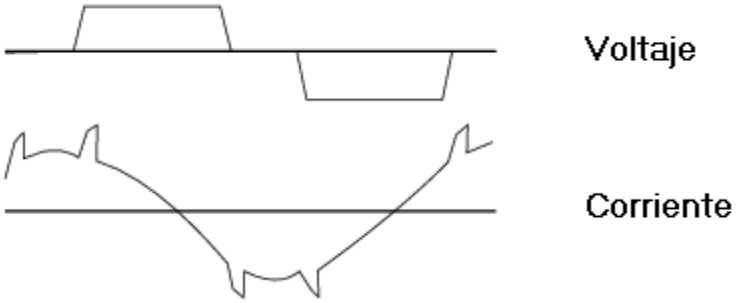


Figura 30

Onda eléctrica del Convertidor de Frecuencia CSI

1.14 Modulación por Ancho de Pulsos (PWM).

PWM: Este tipo de convertidor entrega una forma de onda de corriente más sinusoidal al motor para el control de frecuencia y voltaje. Los convertidores con PWM son más eficientes y tienen mayores índices de comportamiento que el sistema descritos con anterioridad. El convertidor PWM consiste de un conversor o rectificador con diodos, un enlace o circuito intermedio Dc, lógica de control e inversor. (Cada SW, tiene que conectar en anti paralelo un diodo volante)

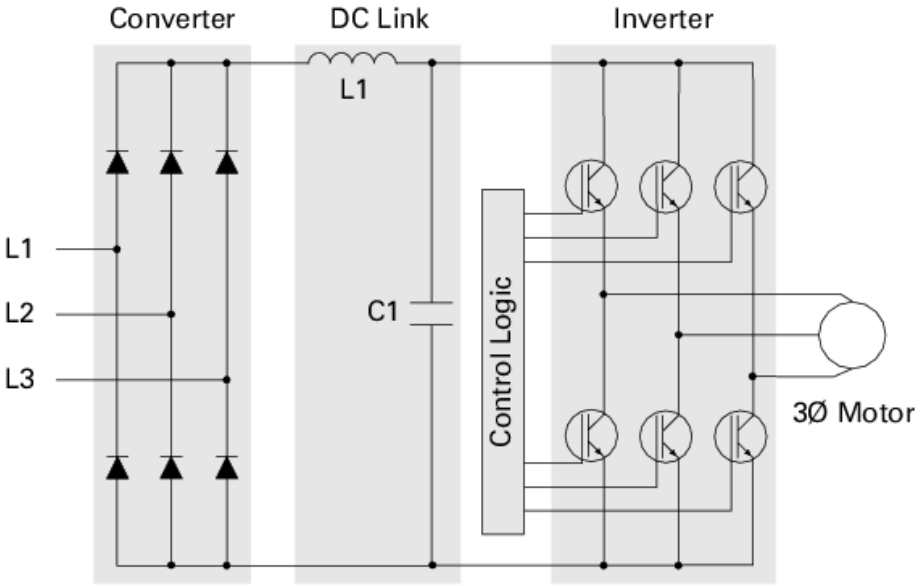


Figura 31

Convertidor de Frecuencia PWM

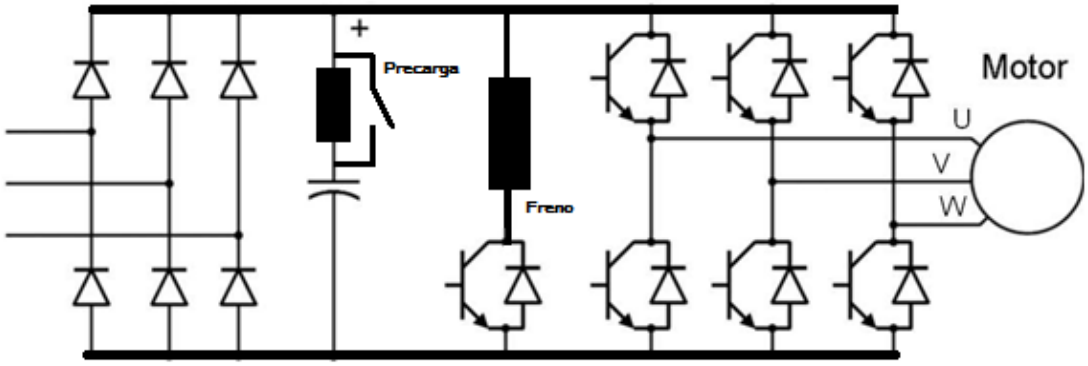


Figura 32

Detalle VDF Industrial

Detalle del puente anti paralelo en el inversor, sirve para controlar la CFEM del motor, proteger las bobinas del motor, los SW (IGBT) y a la vez como rectificador en caso de que el motor se vuelva un generador asincrónico, el SW (Chopper) con la resistencia, es para el frenado dinámico y también podemos ver la resistencia de precarga del banco de condensadores intermedio.

1.15 Lógica de control del inversor.

El voltaje y la frecuencia de salida al motor son controlados por la lógica de control y la sección del inversor. La sección del inversor consiste de seis dispositivos de conmutación. El siguiente esquema muestra un inversor que utiliza IGBTs. La lógica de control utiliza un microprocesador para conmutar los IGBTs y proporcionar un voltaje y frecuencia variables al motor.

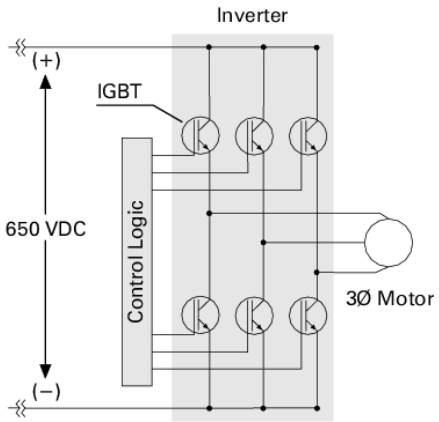


Figura 33

Inversor

Existen varias técnicas de modulación PWM y el siguiente texto describe una de ellas; un IGBT pasa al estado encendido y conecta al motor el valor positivo del voltaje DC por lo tanto la corriente fluye al motor y se incrementa. Por un corto período de tiempo se desconecta el IGBT y la corriente decrece. Este proceso se repite y el estado de conducción a no conducción sigue la referencia de una forma de onda senoidal y la corriente presentara incrementos y decrementos alrededor de una banda de histéresis.

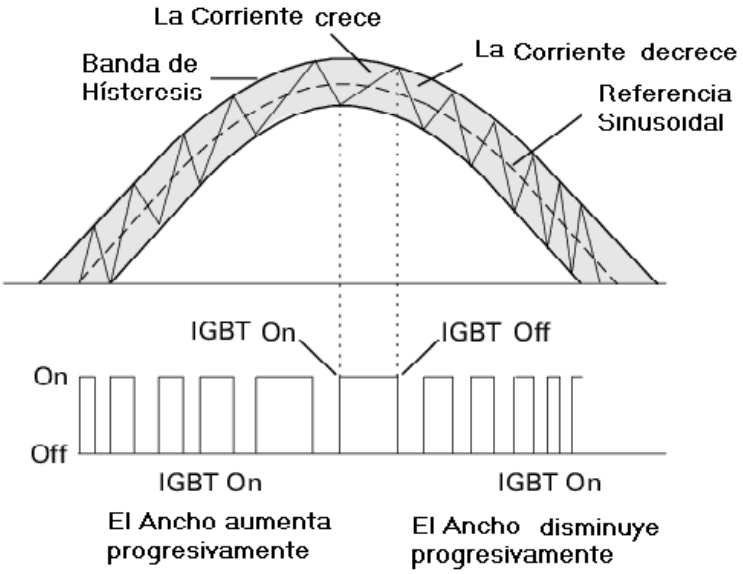


Figura 34

Modulación por Ancho de Pulsos PWM

La corriente de salida más sinusoidal producida por la PWM reduce las pulsaciones de torque y las pérdidas del motor en comparación al esquema VVI.

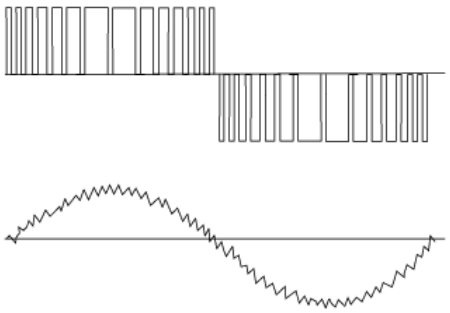


Figura 35

Formas de Onda de voltaje y corriente producidas por PWM

El voltaje y la frecuencia de salida se controlan mediante la lógica de control del inversor de modo que el voltaje fijo DC, por ejemplo de 650 VDC se modula con el método de PWM para proporcionar la variación de voltaje y frecuencia. Para conseguir un voltaje de salida bajo los IGBTs entran en conducción por periodos cortos de tiempo de modo que el área efectiva redunda en un voltaje RMS bajo y en contraposición aumentando el ancho de los pulsos se consigue mayor área y por ende se aumenta el voltaje RMS de salida al motor.

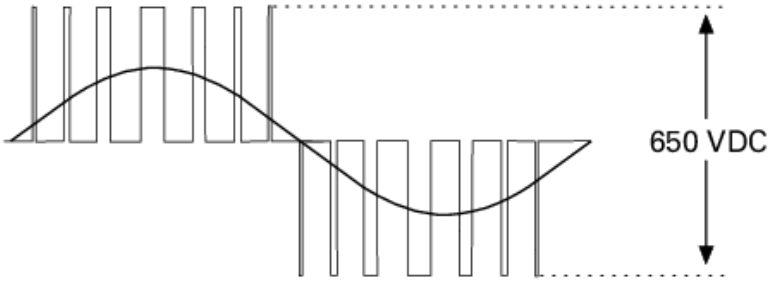


Figura 36

Anchos de pulsos de menor duración: menor voltaje

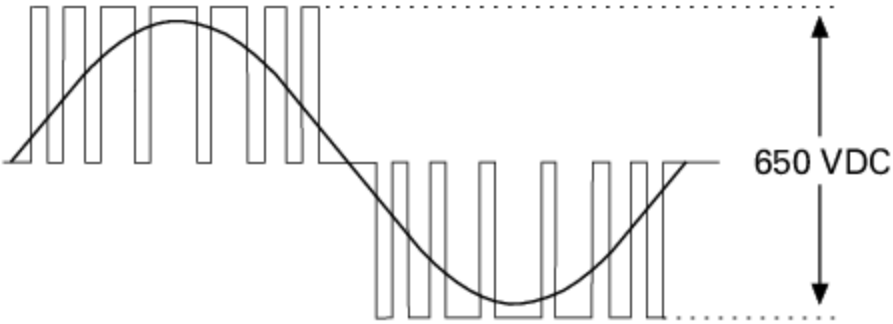


Figura 37

Anchos de pulsos de mayor duración: mayor voltaje

1.15.1 Control vectorial

Cuando se requiere control de torque y control de posición hay se hace necesario un control retroalimentado que sólo lo puede entregar un variador de frecuencia vectorial. Sólo aplicable a un motor por VDF.

1.15.2 Control escalar

El control escalar solo se preocupa de mantener la relación “voltaje frecuencia” sin sobrepasar el nivel de voltaje comprometido por el aislamiento del equipo. Aplicable en sistemas multimotor.

Lineal Voltaje/Frecuencia

En este modo de control el variador de frecuencia opera utilizando una curva V/Hz estándar y a este modo también se le llama CONTROL ESCALAR. Por ejemplo un variador de frecuencia alimentado desde una red de 380 VAC, 50 Hz, proporcionará voltaje y frecuencia al motor en una relación constante y lineal V/f. Este tipo de control es simple y se utiliza para aplicaciones de propósito general. Este tipo de control no identifica los parámetros del motor y debido a que impone una curva V/f presenta problemas cuando el motor trabaja a velocidades cercanas a cero. Se utiliza también en aplicaciones de motores en paralelo debido a que como se verá más adelante los controles vectoriales o DTC no están diseñados para identificar los parámetros de un sistema de múltiples motores. En general este tipo de control se utiliza cuando el motor no trabaja en bajas velocidades y el sistema es multimotor.

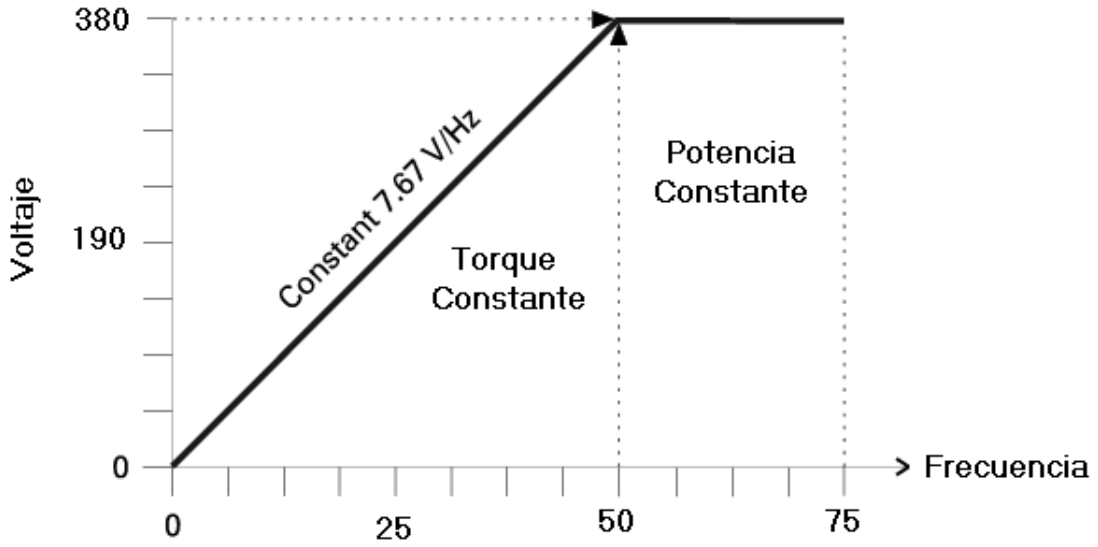
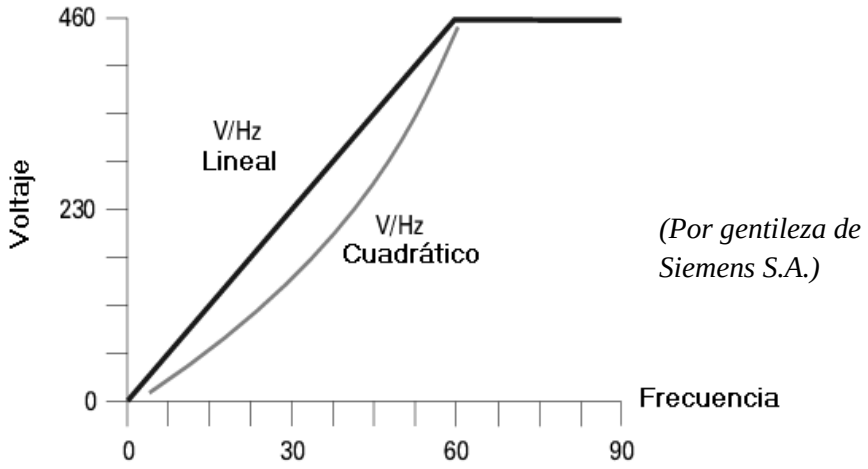


Figura 38

Modo de control lineal V/f

Cuadrático Voltaje/Frecuencia

Un segundo modo de control se refiere a la curva de Voltaje/frecuencia del tipo cuadrático. Este tipo de control se utiliza para aplicaciones en donde la carga tiene este comportamiento como por ejemplo en bombas y ventiladores. El control de todos modos sigue siendo escalar.



(Por gentileza de Siemens S.A.)

Figura 39

Modo de control cuadrático V/f

Control de Flujo de Corriente

Este tercer modo de control, *"flux current control"* (FCC) se basa en que la corriente de estator (Is) se compone de una corriente activa y una reactiva. La componente reactiva de la corriente de estator produce el campo magnético giratorio y la componente activa produce el trabajo. Al variador de frecuencia mediante un parámetro se ingresa la corriente nominal del motor que aparece en la placa y el variador estima el flujo magnético del motor basado en la medición de la corriente reactiva de estator y la corriente nominal ingresada vía en forma previa. Algoritmos internos del variador de frecuencia se encargan de mantener el flujo magnético estimado constante.

Si la corriente nominal que aparece en la placa del motor ha sido ingresada en forma correcta al equipo y el variador ha sido bien programado, el control de flujo de corriente proporciona una mejor dinámica en comparación al control escalar o V/f. El control del flujo de la corriente en forma automática adapta la salida del variador con la carga. El motor opera con su mejor eficiencia y la velocidad permanece constante aún bajo condiciones de variaciones de carga. Sin embargo se debe tener presente que este modo de control estima el flujo magnético y no identifica los parámetros del motor.

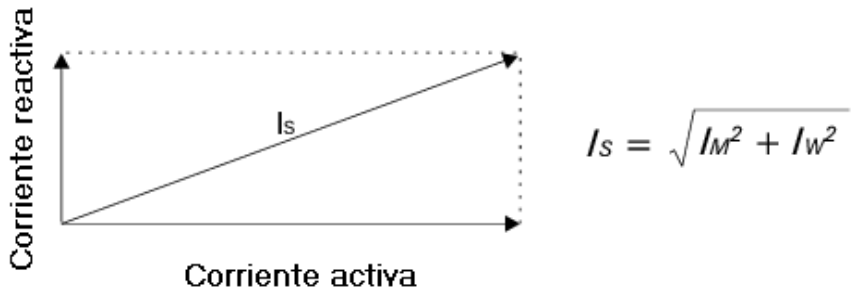


Figura 40

Modo de Control FCC

1.16 Explicación de la generación asincrónica.

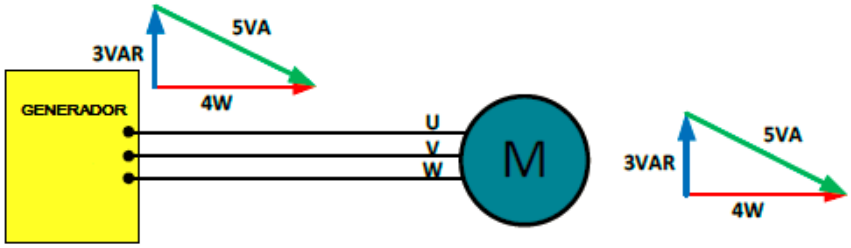
Si la interacción de la corriente estatórica magnetiza al rotor, entonces la corriente magnetizante (VAr), los provee la misma fuente, es decir:

Figura 41

La fuente provee la potencia "Reactiva", la que magnetiza el estator y rotor, y esta energía se mueve entre fuente y motor, si se desconecta la fuente el motor se desmagnetiza, se pierde el campo girante y el motor se apaga.

Por otro lado si quisiéramos independizarnos de la fuente y convertir el motor jaula de ardilla en un generador asincrónico, entonces sólo hay que compensar el motor y colocar un banco de condensadores que provea el reactivo necesario para mantenerlo magnetizado. Para ejemplificar supongamos un análisis por corriente para el siguiente motor de inducción trifásico:

Figura 42



En este caso el requerimiento de los motores 5 Amperes. **Aparentes**, 3 **Reactivos** y 4 **Activos** y toda la energía la entrega el Generador. Si este motor es compensado entonces pasara lo siguiente:

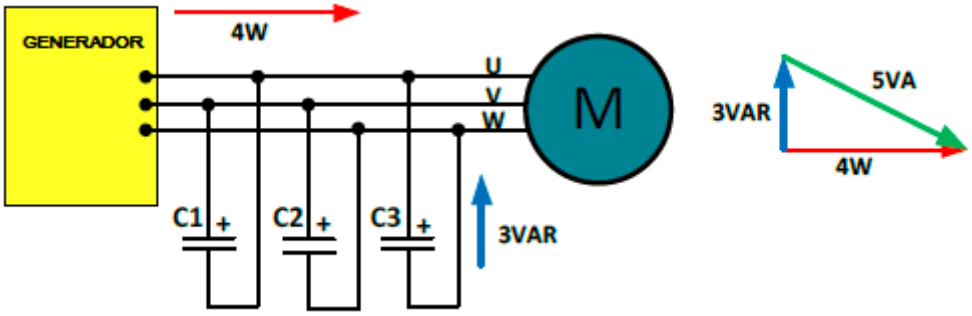


Figura 43

Ahora que el motor esta compensado, el generador entrega de manera permanente sólo la potencia activa, entrega inicialmente la energía reactiva al banco de condensadores y después esta energía se mueve entre los condensadores y la bobina del motor (energía de magnetización).

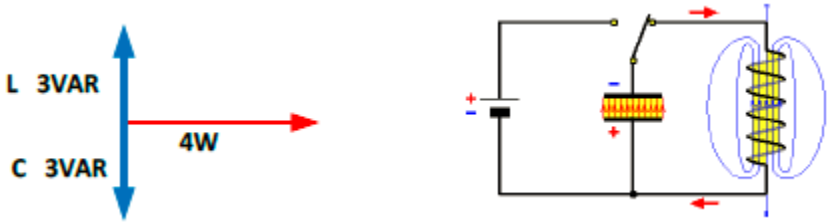


Figura 44

Este fenómeno, cuando la energía capacitiva es igual a la inductiva se conoce también como resonancia electromagnética y no requiere de reactivo de la fuente. No significa que desaparece el reactivo, solo que se está moviendo entre condensador y bobinas. Como la fuente está en paralelo con el condensador, la secuencia de conmutación en un VDF, genera la siguiente disposición de los componentes en el tiempo.

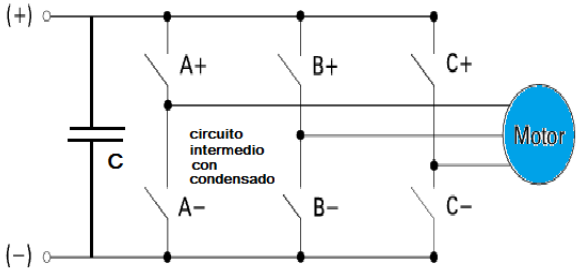


Figura 45

Circuito de conmutación de un VDF, con banco de condensador en la barra CC

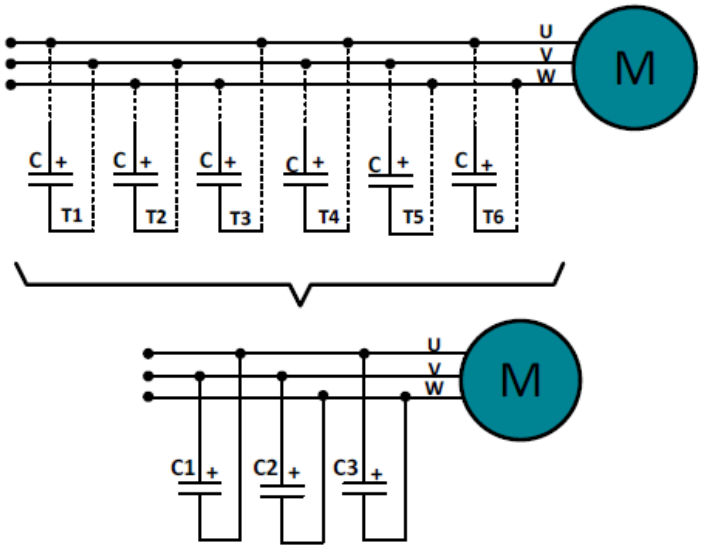


Figura 46

Un sistema discreto que conmuta con suficiente velocidad se comporta como un sistema continuo

Vale decir, que el VDF con filtro intermedio, presenta un motor compensado.

1.17 Rectificador y enlace dc.

La sección del convertidor de entrada consiste de un puente rectificador de diodos, SRC o IGBT que convierte el voltaje AC trifásico de entrada en un voltaje DC. La inductancia L1 y el capacitor C1 suavizan o filtran la corriente y el voltaje DC. El voltaje rectificado es aproximadamente 1.35 veces el voltaje de línea aplicado. El voltaje DC es aproximadamente 650 VDC para una alimentación de 480 VAC.

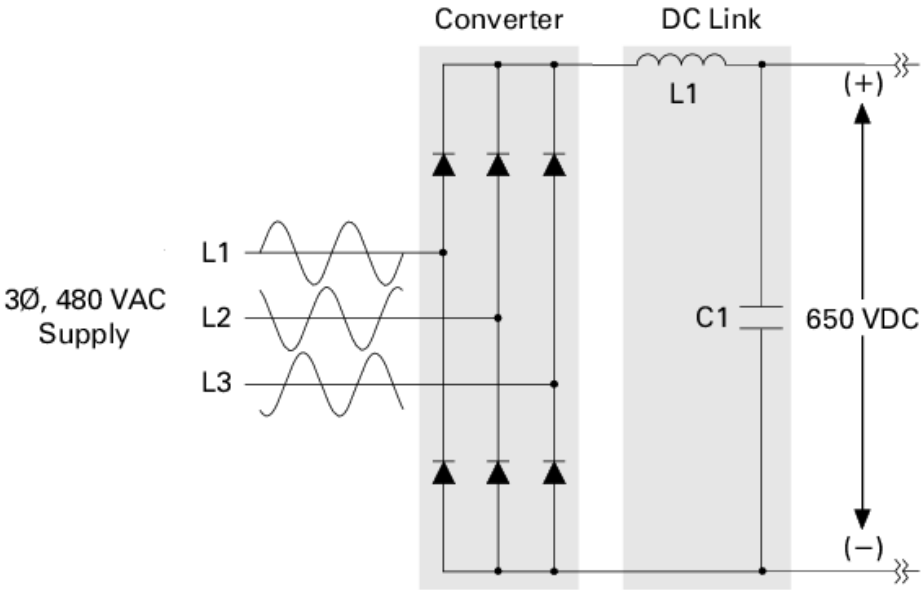


Figura 47

Rectificador y enlace DC

1.17.1 Armónicos:

Las cargas no lineales tales como: las de rectificadores, inversores, variadores de velocidad, hornos, etc.; absorben de la red corrientes periódicas no senoidales (No tienen la misma forma de onda que el voltaje). Estas corrientes están formadas por un componente fundamental de frecuencia 50 o 60 Hz, más una serie de corrientes superpuestas de frecuencias, múltiplos de la fundamental, que denominamos **ARMÓNICOS ELÉCTRICOS**, que generan **costes técnicos y económicos importantes**

Por ejemplo: si se analiza el siguiente circuito:

Puente rectificador de 6 pulsos, 380AC voltaje de línea y 42 Amperes RMS.
Si analizamos las curvas de voltaje y corriente tenemos:

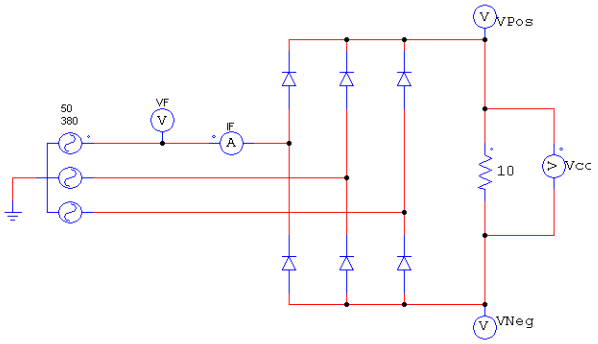


Figura 48

Rectificador con carga resistiva

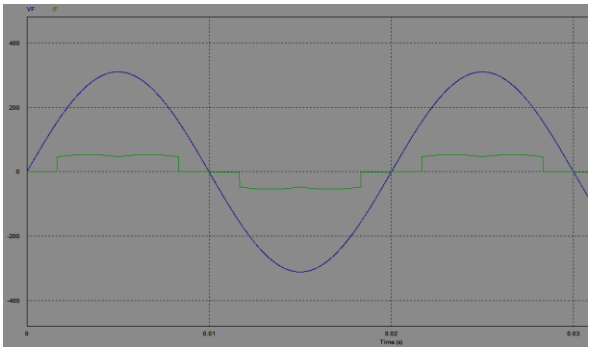


Figura 49

Voltaje y Corriente no lineal, note que hay corriente cero

Al realizar un análisis de armónicos tenemos la siguiente grafica de las componentes.

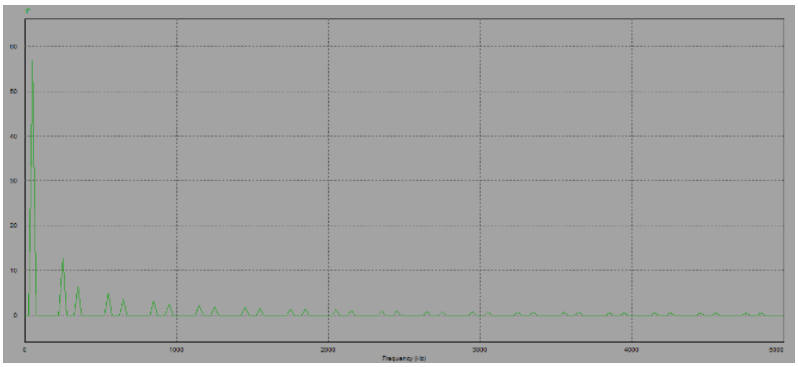


Figura 50

Grafica de armónicos

Se aprecia:
La fundamental 50Hz

5°	250Hz
7°	350Hz
11°	550Hz
13°	650 Hz y sucesivamente

Recordemos que si la corriente del sistema aumenta, el voltaje tiende a bajar, si la fuente no es lo suficientemente poderosa para mantener el voltaje con los incrementos de corriente, entonces se contamina la fuente y todo nuestro sistema queda contaminado por armónicos.

Una forma de solucionar este problema es instalar filtros de corrientes (reactores) a la entrada del rectificador.

Ejemplo:

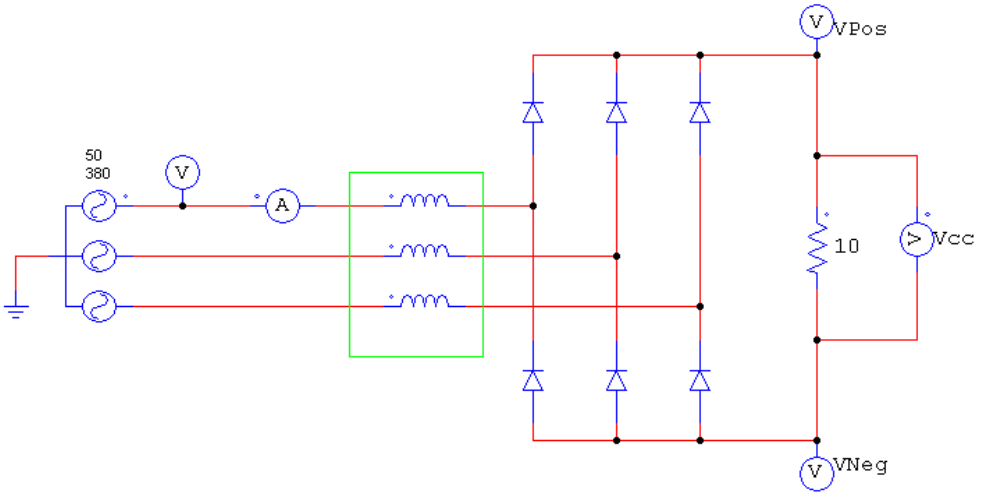


Figura 51

Rectificador con filtro de corriente de entrada (Reactores), el problema ya no sería armónicos.

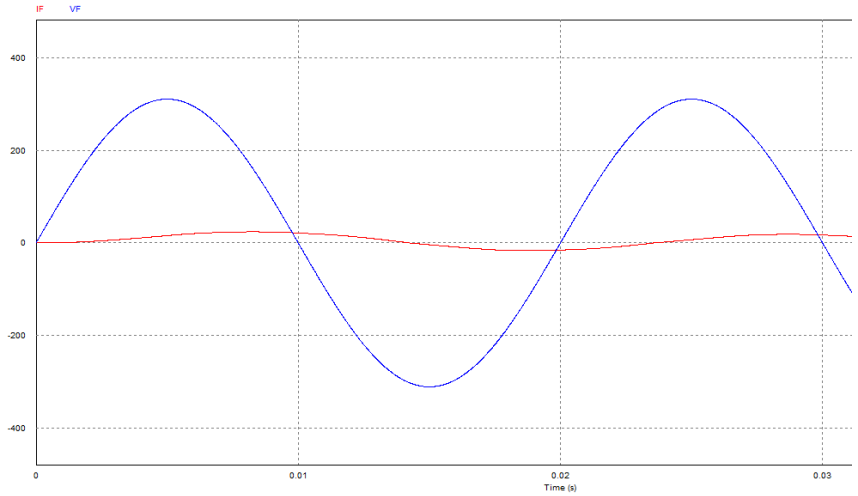


Figura 52

Ahora la corriente es lineal, pero desfasada por el aporte del reactivo.

1.17.2 Estudio de la cem

Si dos aparatos son electromagnéticamente incompatibles, entonces puede reducirse la emisión de perturbaciones de la fuente o aumentar la inmunidad a las perturbaciones del receptor. Las fuentes de perturbaciones son generalmente aparatos electrónicos de potencia de gran consumo. La reducción de las perturbaciones emitidas exige filtros costosos. Los receptores de perturbaciones son esencialmente aparatos de control y sensores, inclusive su circuito de procesamiento. El aumento de la inmunidad a las perturbaciones de los aparatos de baja potencia es menos costoso. Por ello, en la industria es más económico aumentar la inmunidad a las perturbaciones que reducir las perturbaciones emitidas. Ejemplo: para respetar la clase de valor límite A1 especificada en EN 55011, la tensión perturbadora radioeléctrica en el punto de conexión a la red no debe superar 79 dB (?V) entre 150 kHz y 500 kHz y 73 dB (?V) entre 500 kHz y 30 MHz (respectivamente 9 mV y 4,5 mV).En la industria, la compatibilidad electromagnética de los aparatos debe basarse en un equilibrio entre la emisión de perturbaciones y la inmunidad a las perturbaciones.

La medida de antiparásita más económica consiste en separar espacialmente los emisores de los receptores de perturbaciones, lo que deberá considerarse al diseñar la máquina o la instalación.

Para cada aparato conviene responder de partida a la cuestión de si se trata de un emisor o de un receptor de perturbaciones. Los emisores de perturbaciones son p. ej. Los convertidores estáticos y los contactores, mientras que los receptores de perturbaciones son p. ej. Los autómatas programables, emisores y sensores.

En el armario eléctrico, los emisores y receptores de perturbaciones deberán separarse espacialmente y eventualmente interponiendo mamparas de chapa o instalándolos en cajas metálicas todo conectado a tierra.

1.17.3 instalación de accionamientos según las reglas de la cem (consejos)

Generalidades

Como está dado, de una parte, que los accionamientos pueden utilizarse en los entornos más variados y que, por otra parte, los componentes eléctricos utilizados (autómatas, fuentes de alimentación conmutadas, etc.) pueden presentar diferencias muy acusadas en materia de inmunidad a las perturbaciones y a perturbaciones emitidas, una directiva de instalación solo puede representar en todos los casos una solución de compromiso. Según el caso en cuestión y tras una verificación individual es posible, por consecuencia, desviarse de las reglas de CEM.

A fin de asegurar la compatibilidad electromagnética en sus armarios eléctricos en entorno eléctrico rudo y para respetar las normas especificadas por el legislador, durante el diseño y la realización de la instalación es necesario seguir las reglas de CEM siguientes.

1.17.4 Reglas de compatibilidad electromagnética

Regla 1
Todas las partes metálicas del armario deberán enlazarse mutuamente con una gran superficie de contacto que asegure una buena continuidad eléctrica (¡nunca pintura sobre pintura!). Dado el caso usar arandelas de contacto o "rascadores". La puerta del armario deberá conectarse al bastidor del mismo por medio de trenzas de masa lo más cortas posibles (arriba, en el centro y abajo).

Regla 2
Los contactores, relés, electroválvulas, contadores electromecánicos, etc. instalados en el armario y eventualmente en armarios vecinos deberán equiparse con dispositivos supresores, p. ej. Circuitos RC, varistores o diodos. El circuito supresor deberá conectarse directamente en la bobina del aparato.

Regla 3
La entrada de los cables de señal 1) en el armario deberá efectuarse si es posibles en un mismo plano.

Regla 4
Retorcer si son posibles los hilos no apantallados de un mismo circuito (hilos de ida y retorno) o hacer que la superficie encerrada entre los hilos de ida y retorno sea la más baja posible para evitar el efecto de antena.

Regla 5
Conectar los hilos (conductores) de reserva a la masa del armario (tierra 2) en los dos extremos. De esta forma se obtiene un efecto de pantalla suplementario.

Regla 6
Evitar longitudes de cable innecesarias. Esto minimiza las capacidades e inductancias de acoplamiento.

Regla 7
De manera general, el hecho de tender los cables próximos a la masa del armario reduce el efecto de diafonía. Por consecuencia, evitar un cableado libre en el interior del armario, sino tender los cables lo más cerca de la envolvente del armario o sobre chapas de montaje. Esto se aplica también a los cables de reserva.

Regla 8
Tender por separado los cables de señales y los cables de potencia (¡Evitar las secciones de acoplamiento!) Distancia mínima: 20 cm.
Si no es posible separar espacialmente los cables del motor y del sensor, el cable de este último deberá desacoplarse por medio de una chapa de separación o teniéndolo en un conducto metálico. La chapa de separación o conducto metálico deberá ponerse a tierra en varios puntos de su recorrido.

Regla 9
Las pantallas de los cables de señales digitales deberán ponerse a tierra en sus dos extremos por medio de una gran superficie de contacto que asegure la continuidad eléctrica. En caso de desequilibrio de potenciales entre los elementos de conexión de las pantallas en los dos extremos, es necesario tender en paralelo a la pantalla un conductor suplementario de equipotencialdad de sección mínima 10 mm² a fin de reducir la corriente por la pantalla. De forma general, las pantallas pueden conectarse en diferentes puntos al bastidor del armario (tierra). En el exterior del armario, las pantallas pueden conectarse a tierra en varios puntos.

Las pantallas de lámina presentan inconvenientes. Comparadas con las pantallas trenzadas, su afecto de blindaje es como mínimo 5 veces inferior.

Regla 10
En el caso de una buena equipotencialidad, la pantalla de los cables de señales analógicas puede conectarse a tierra en los dos extremos (con una gran superficie que asegure una buena continuidad de los circuitos). Las condiciones de equipotencialidad se cumplen si todos los elementos metálicos están interconectados correctamente y si todos los componentes electrónicos son alimentados a partir de una misma fuente.

La conexión unilateral de la pantalla evita el acoplamiento capacitivo de perturbaciones de baja frecuencia (p. ej. ruido de 50 Hz). En este caso, la conexión de la pantalla deberá efectuarse en el armario eléctrico, dado el caso por medio de un hilo piloto o independiente.

Precaución: Cuando se trabaja con variadores de velocidad (VDF) se debe esperar al menos 5 minutos después de apagado el equipo antes de intervenir los circuitos debido a que los condensadores del circuito intermedio almacenan carga

1.18 Funciones especiales de los variadores de frecuencia

(Referencia Variadores MM440 de SIEMENS)

1.18.1 Aclaración técnica de control:

SIEMENS especifica en sus variadores de velocidad 3 maneras diferentes de detención de motores:

Desconexión 1(DES.1), Es la desconexión controlado por rampa, por defecto está asignado el tiempo de 10s para llegar a frecuencia cero y desconectar el accionamiento electrónico (VDF Off).

Desconexión 2(DES.2),Es la desconexión sin control, consiste en desconectar el accionamiento electrónico (VDF Off) y dejar al motor libre para que se detenga por su propio roce.

Desconexión 1(DES.3), Es la utilizada como parada de emergencia y por defecto está asignada una rampa de desaceleración de 5s

A continuación se explican brevemente algunas funciones especiales de los variadores de velocidad que permiten en la práctica solucionar situaciones que con los equipos estándar a veces son difíciles de enfrentar.

1.18.2 Regulación Udmáx.

Con esta función se puede dominar una carga generatórica que aparezca brevemente sin que se desconecte con el mensaje de fallo "sobretensión en el circuito intermedio". Con esto se regula la frecuencia de tal forma que el motor no llegue a un funcionamiento sobre sincrónico demasiado grande (Para evitar la generación). Si se produce una carga estacionaria, se eleva de este modo la frecuencia de salida del equipo obligatoriamente. Cuando una carga generatórica permanece demasiado tiempo, se produce una desconexión con fallo al alcanzarse la frecuencia máxima. Si la carga generatórica se produce al desacelerar el motor con un tiempo de deceleración demasiado rápido, este disminuye automáticamente de tal modo, que el convertidor puede funcionar en el límite de tensión. La regulación Udmáx. Es, además ideal para

controlar el funcionamiento generatórico que se puede derivar del fenómeno transitorio de la velocidad al final de un proceso de aceleración. A continuación se explican brevemente los parámetros más importantes de este tipo de regulación

1.18.3 Frenado por inyección de corriente continua (freno CC)

Con el frenado por inyección de corriente continua (freno CC) se puede inmovilizar el accionamiento en corto tiempo. Para eso se aplica en las bobinas del motor una corriente continua que en los motores asíncronos conlleva a un fuerte par de frenado. La función "frenado por inyección de corriente continua" solo tiene sentido aplicarla a motores síncronos. En el frenado por inyección de corriente continua, la energía cinética del motor se transforma en el motor en calor. Si este estado permanece demasiado tiempo se puede producir un sobrecalentamiento del accionamiento.

1.18.4 Tiempo de desexcitación del motor

Campo de valores de 0,01 s a 10,00 s
Con el parámetro se ajusta el tiempo de espera mínimo entre el bloqueo y la liberación de impulsos. De esta manera se trata de asegurar que el motor se desmagnetice en un 90 % en la liberación de impulsos. El parámetro es ajustado en la parametrización automática y en la identificación del motor.

1.18.5 Frenado CC, conexión/desconexión

Campo de valores de 0 a 1
0: El freno CC no está activo.
1: Con la orden DES.3 (paro rápido) se realiza un frenado por inyección de corriente continua.

1.18.6 Intensidad del frenado CC

Con este parámetro se ajusta la consigna de intensidad que se aplica a un frenado por inyección de corriente continua. Se puede introducir un máximo de 4 veces la intensidad asignada del motor.
Duración del frenado CC
Campo de valores de 0,1 s a 99,9 s
Con el parámetro se ajusta la duración del frenado por inyección de corriente continua.

1.18.7 Frecuencia de aplicación del frenado CC

Campo de valores de 0,1 Hz a 600,0 Hz
Con la orden DES.3 se realiza un frenado por inyección de corriente continua a partir de esta frecuencia.

1.18.8 Activar el frenado CC con la orden DES.3.

El convertidor desacelera con la rampa parametrizada DES.3 hasta la frecuencia de aplicación de frenado CC. Con esto se puede reducir en primer lugar la energía cinética del motor sin peligro para el accionamiento. Si se selecciona un tiempo de deceleración DES.3 demasiado pequeño existe el peligro de que se produzca un fallo por sobretensión en el circuito intermedio.

Durante el transcurso del tiempo de desexcitación se bloquean los impulsos del convertidor.

Después se ajusta la intensidad de frenado deseada para la duración de frenado que se ha ajustado. El convertidor cambia al estado BLOQUEO DE CONEXION o LISTO PARA CONEXION

1.18.9 Captar o Función de Arranque al Vuelo

Esta función permite conectar el convertidor a un motor que aún está en movimiento. Si se enciende el convertidor sin la función captar se produce una sobre intensidad ya que primero se tiene que formar el flujo del motor y ajustar el control y la regulación según la velocidad del motor. En los accionamientos multimotor no es posible aplicar la función "captar" a causa de las diferentes formas de rodaje por inercia de cada uno de los motores. Independientemente de si un taco está liberado se realiza lo siguiente:

1.18.10 Captar con Característica U/f:

La tensión de salida de consigna del convertidor necesaria para la intensidad de rastreo se compara con el valor de la tensión de la característica U/f correspondiente a la frecuencia de rastreo. Una vez que se ha encontrado, con ayuda de esta comparación, la frecuencia del motor, se mantiene constante la frecuencia de rastreo y se modifica (al valor de tensión de la característica U/f) la tensión de salida con las constantes de tiempo de excitación (dependiente del tiempo de excitación).

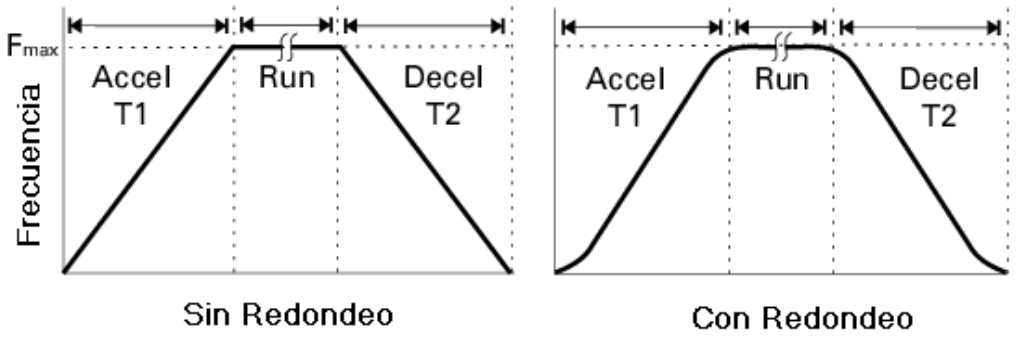


Figura 53

Rampas con y sin redondeo inicial aceleración

Se recomienda el tiempo de redondeo, para prevenir ante respuestas bruscas, así que se eviten efectos en detrimento de la mecánica.

Los tiempos de redondeo no son recomendables cuando se utilizan las entradas analógicas, ya que se producirían efectos de exceso/no alcance de la respuesta del convertidor.

1.18.11 Elevación continúa

Define el nivel de elevación en [%] relativo a intensidad nominal del motor aplicable a ambas curvas V/f lineal y cuadrática de acuerdo al diagrama siguiente:

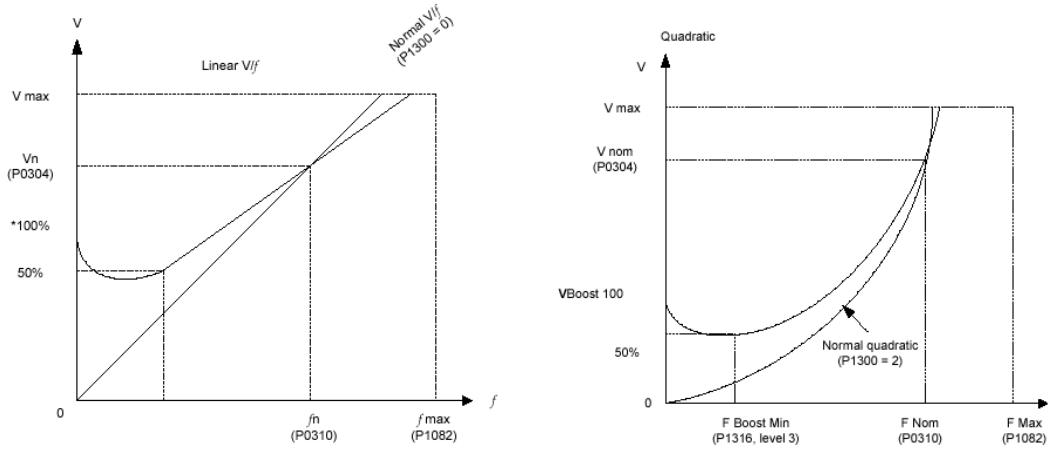


Figura 54

1.18.12 Frecuencia umbral 1 para Correa

La frecuencia de la envolvente de par se define con 9 parámetros – 3 son parámetros de frecuencia (P2182 – P2184), y los otros 6 definen el límite inferior y superior (P2185 – P2190) para cada frecuencia (véase el diagrama de abajo)

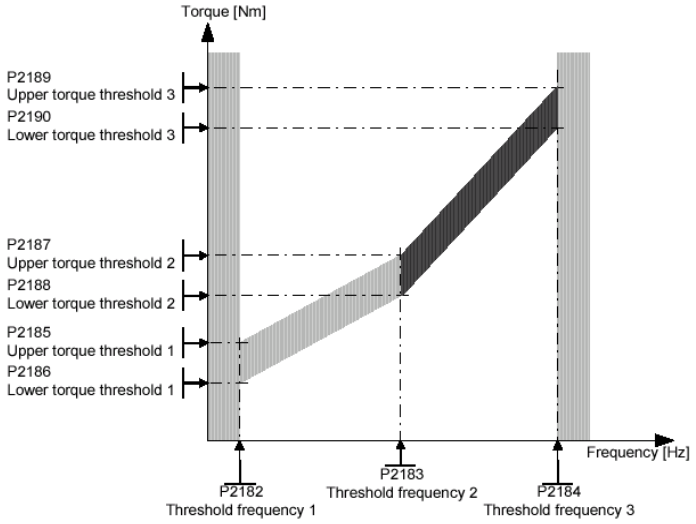


Figura 55

Parámetro para vigilancia de correa

1.19 Modos de control:

Regula la relación entre la velocidad del motor y la tensión suministrada por el convertidor

1.19.1 Tipos de ajustes para regulación, ajustes posibles:

0 V/f con característica lineal
1 V/f con FCC
2 V/f con característica cuadrática
3 V/f con característica programable
4 V/f con modo ECO
5 V/f para aplicaciones textiles
6 V/f con FCC para aplicaciones textiles
10 V/f con regulador de velocidad y característica lineal
11 V/f con regulador de velocidad y FCC
12 V/f con regulador de velocidad y característica cuadrática
13 V/f con regulador de velocidad y característica programable
14 V/f con regulador de velocidad y modo Eco
19 Control V/f con consigna de tensión independiente

20 Control vectorial sin sensor
22 Control vectorial de par sin sensor

1.19.2 Selecciona la aplicación del convertidor.

- Par constante (CT): Se selecciona CT si la aplicación necesita un par constante en todo el rango de frecuencia.
- Par variable (VT): Se selecciona VT si la aplicación demanda una característica par-frecuencia parabólica como la mayoría de Ventiladores y bombas.

El par variable permitido por el mismo convertidor dependerá de:

- Intensidad nominal máxima del convertidor
- Potencia nominal máxima del convertidor
- Umbral máximo para la protección I2t.

Si se ajusta la corriente del motor en la puesta en servicio básica, se calculan inmediatamente varios parámetros del motor

- Intensidad nominal del motor
- Potencia nominal del motor
- Factor sobrecarga motor (FS) [%]

El ajuste seleccionado debe ser de acuerdo a la aplicación industrial del motor AC

IMPORTANTE: El éxito de toda aplicación donde se utilice un variador de velocidades para establecer adecuadamente el torque o par (quien dará el trabajo requerido).

Caso:

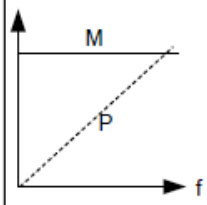
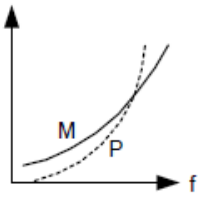
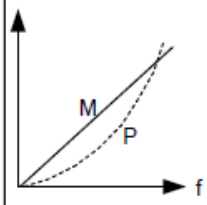
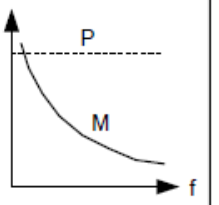
par de giro	M = const.	$M \sim f^2$	$M \sim f$	$M \sim \frac{1}{f}$
Potencia	$P \sim f$	$P \sim f^3$	$P \sim f^2$	P = const.
Característica				
Aplicación	Unidad levadiza Cintas transportadora Máquinas de proces. Con moldeado Rodillos amoladores Máquinas acepillad. Compresores	Bombas Ventiladores Centrifugas	Calandras con fricción viscosa Frenos de corriente de Foucault	Bobinadores Tornos encarados Cortadoras rotatorias

Figura 56

Figura de par en aplicaciones industriales

Dónde: M = Torque, P = Potencia, f = Frecuencia

Observación: En estos ejemplos solo el primero califica para CT (Par Constante)

A.- TORQUE CONSTANTE:
En este tipo de máquinas o aplicaciones, el torque se mantiene constante a cualquier velocidad. Aplicaciones: Correas transportadoras, grúas, ascensores, prensas de imprenta, etc.

B.- TORQUE VARIABLE O CUADRÁTICO:
En este tipo de máquinas o aplicaciones el torque varía de forma cuadrática con respecto a la velocidad del motor: bajas velocidades implicará muy bajo torque y un bajísimo consumo de energía. Mayores velocidades, implicará mayor torque y consumo de energía cercano al de placa del motor.

C.- TORQUE PROPORCIONAL
En este tipo de máquinas el torque crece de manera directamente proporcional a la velocidad. Aplicaciones: Mezcladoras/agitadoras, bombas de desplazamiento positivo, calandrias, extrusoras (plásticos y alimentos).

D.- POTENCIA CONSTANTE (PAR INVERSO)
El par demandado por la carga aumenta a medida que la velocidad disminuye (inversamente proporcional), de forma que la potencia (par x velocidad) permanece constante. Aplicaciones: Bobinadoras y desbobinadores, máquinas de corte, tornos, taladros, sierras eléctricas, molinos.

1.20 Explicación del control vectorial de motores ac trifásicos

1.20.1 Introducción al control vectorial

Durante los últimos años el campo de los accionamientos eléctricos ha tenido una rápida expansión debido principalmente a las ventajas de los semiconductores tanto en el campo de la Electrónica de Potencia como en el de señales y su culminación en los microprocesadores. Estas tecnologías han permitido el desarrollo de controles efectivos en accionamientos AC con una baja disipación de potencia y más precisas estructuras de control. El control de campo orientado también llamado control vectorial se basa en tres puntos: corrientes y voltajes de la máquina en vectores espaciales, la transformación del sistema trifásico dependiente del tiempo en dos coordenadas invariantes en el tiempo y la generación de un patrón de PWM. Gracias a estos factores, el control de las máquinas de AC adquiere las ventajas del control de la máquina DC

El control de campo orientado (FOC) consiste en el control de las corrientes de estator representadas por un vector. Este control se basa en proyecciones las cuales transforman un sistema trifásico dependiente del tiempo y la velocidad en un sistema de dos coordenadas (d y q) invariantes en el tiempo. Estas proyecciones consiguen una estructura similar al control de la máquina DC. El control vectorial necesita dos parámetros como entradas de referencia: la componente de torque (alineada con la coordenada q) y la componente de flujo (alineada con la coordenada d). Es fácil aplicar control directo de torque porque en el plano d,q la expresión para el torque está dada por:

$$m \propto \Psi_R i_{Sq}$$

Si se mantiene la amplitud del flujo del rotor (ΨR) en un valor fijo se tiene una relación lineal entre el torque y la componente de torque (iSq). Entonces se puede controlar el torque controlando la componente de torque del vector de corriente del estator.

Los voltajes, corrientes y flujos trifásicos se pueden analizar en términos de vectores en el espacio complejo. Con relación a las corrientes el espacio vectorial se define como sigue. Asumiendo que ia, ib, ic son las corrientes instantáneas en las fases del estator, entonces el vector complejo de corriente está definido por:

$$\bar{i}_S = i_a + \alpha i_b + \alpha^2 i_c$$

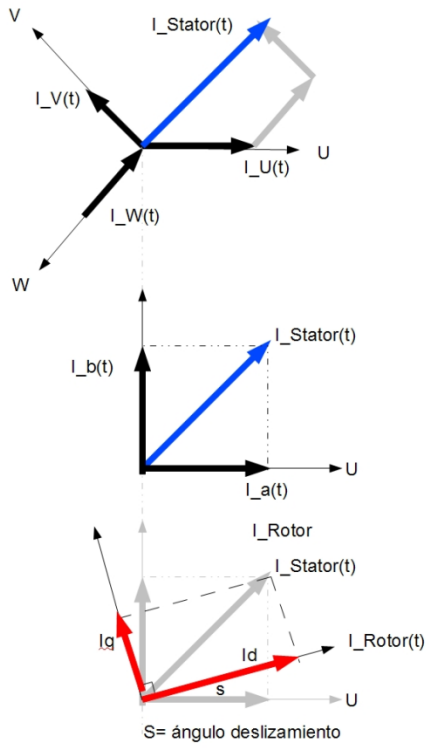


Figura 57

Proyección vectorial de un Sistema trifásico

La suma vectorial de las corrientes del sistema trifásico del estator da como resultado un vector corriente que se utilizará para:

- Genera Par
- Genera corriente inducida en el rotor. (y a su vez flujo en el rotor)

Es decir… tenemos tres vectores de corriente (que varían con el tiempo), uno por fasel_U(t), I_V(t), I_W(t), que sumados… nos darán una corriente resultante I_Stator(t) (que varía con el tiempo) .
La corriente I_Stator a su vez se puede proyectar adecuadamente sobre el eje U (el de la fase I_U(t)) y un nuevo eje 'imaginario' ortogonal a U. Este es un simple artilugio matemático para pasar de tres vectores de corriente a dos vectores:

- El primero I_a(t) sobre el eje U
- El segundo I_b(t) sobre el eje ortogonal

Esta transformación (llamada de Clarke) se trata de un paso intermedio.
¿Por qué gira un motor de inducción?

Porque el flujo del rotor intenta 'alcanzar' al flujo del estator, existe pues un desfase (deslizamiento) entre estator y rotor. La transformación a los vectores d-q , (llamada de Park) consiste en proyectar las corrientes I_a(t), I_b(t) sobre una nueva base, solidaria

al vector flujo del rotor, de este modo, se consigue pasar de tres corrientes trifásicas a dos:

- Una siempre alineada con el flujo del rotor, la corriente de flujo (**Id**)
- Otra ortogonal a la misma, dedicada a generar par. (**Iq**).

De este modo, ahora el convertidor es capaz de controlar de una forma eficiente la corriente destinada a par, por tanto es posible reaccionar de una forma muy fina ante una variación en la demanda de par o, directamente aplicar par prácticamente constante durante todo el rango de operación (recordemos que en el control escalar, el par a bajas RPM, cae por los suelos)

Deslizamiento

El cálculo del deslizamiento es fundamental para poder alinear el vector 'I_d' con el flujo del rotor y así hacer cierto que la corriente de par se corresponda con el vector ortogonal 'I_q'.

Existen varios métodos para poder calcular o estimar este ángulo.

Los variadores vectoriales llamados de lazo abierto, sensorless vector, 'estiman' el valor del ángulo sin utilizar sistemas de realimentación adicionales (como un encoder)

Los variadores vectoriales con lazo cerrado, precisan de un sistema de realimentación (generalmente encoder o resolver) para determinar (que no es estimar) el desplazamiento entre estator y rotor.

En un variador sin realimentación nos ahorramos el coste del encoder pero el resultado dependerá de la del algoritmo utilizado por el fabricante del equipo

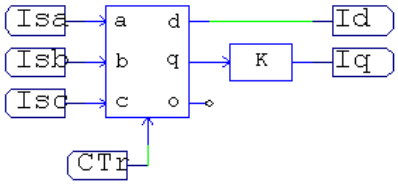


Figura 58

Módulo electrónico de transformación vectorial abc-dqCTr es el captador de las RPM, velocidad real del eje del motor

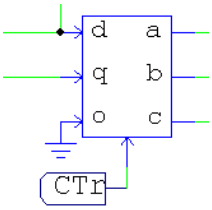


Figura 59

Figura: Módulo electrónico de transformación vectorial inversa dq-abcCTr es el captador de las RPM, velocidad del eje del motor

Esquema Básico del Control Orientado de Campo FOC

El siguiente diagrama muestra el esquema básico del control de torque con Control Vectorial

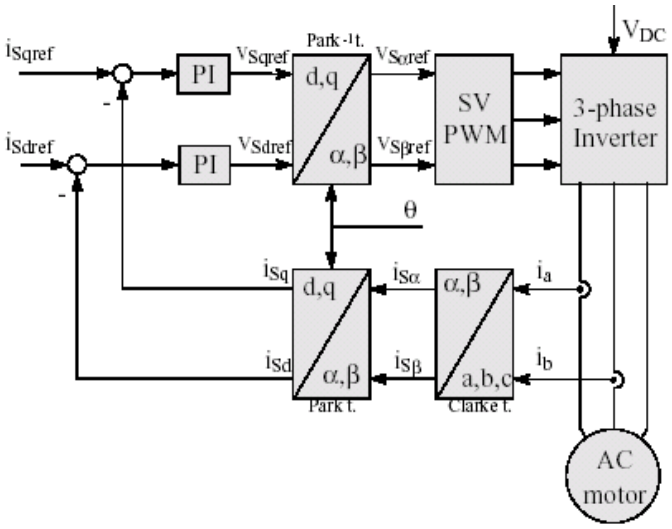


Figura 60

Esquema Básico de Control Vectorial para un Motor AC

1.20.2 Conclusión

Gracias al control vectorial es posible controlar directa y separadamente el torque y el flujo en máquinas AC. El control vectorial de máquinas AC tiene las ventajas del control las máquinas DC: control instantáneo de variables desacopladas que permite mayor precisión en los estados transientes y estacionario. En adición a esta ventaja el control vectorial de máquinas AC resuelve los problemas de conmutación mecánica inherentes a las máquinas DC. **Controlamos un motor AC como si fuera un Motor CC de excitación independiente.**

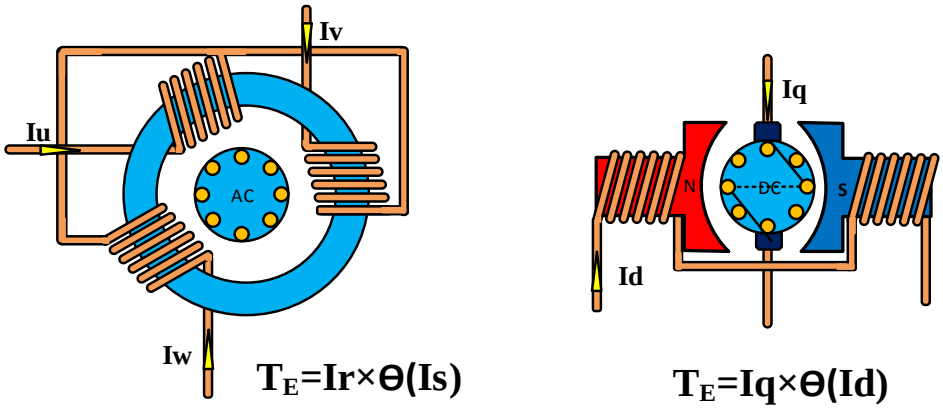


Figura 61

Motor Inducción AC y su proyección vectorial DC

<u>Datos Medibles</u>:
Iu, Iv, Iw: Corrientes de línea
Voltaje de línea
RPM del eje

<u>Datos calculables</u>
Is: Corriente Estatórica
Ir: Corriente del rotor
Θ: Flujo Magnético)

Controlar un motor de inducción AC es complicado ya que no se tiene la corriente real que circula por el rotor (Ir), sin embargo, controlar un motor DC de excitación independiente es más fácil ya que se tiene toda la información para lograr el control.

1.21 Conexiones eléctricas:

1.21.1 Preformado de los condensadores del circuito intermedio

Después de no funcionar el aparato durante más de un año se tienen que formar de nuevo los condensadores del circuito intermedio. Si esta medida no se toma en cuenta pueden producirse daños en el aparato al conectarlo a la red. Si la puesta en servicio se realiza antes de haber pasado un año de su fabricación, no es necesario formar de nuevo los condensadores del circuito intermedio. La fecha de fabricación se puede deducir del número de serie.

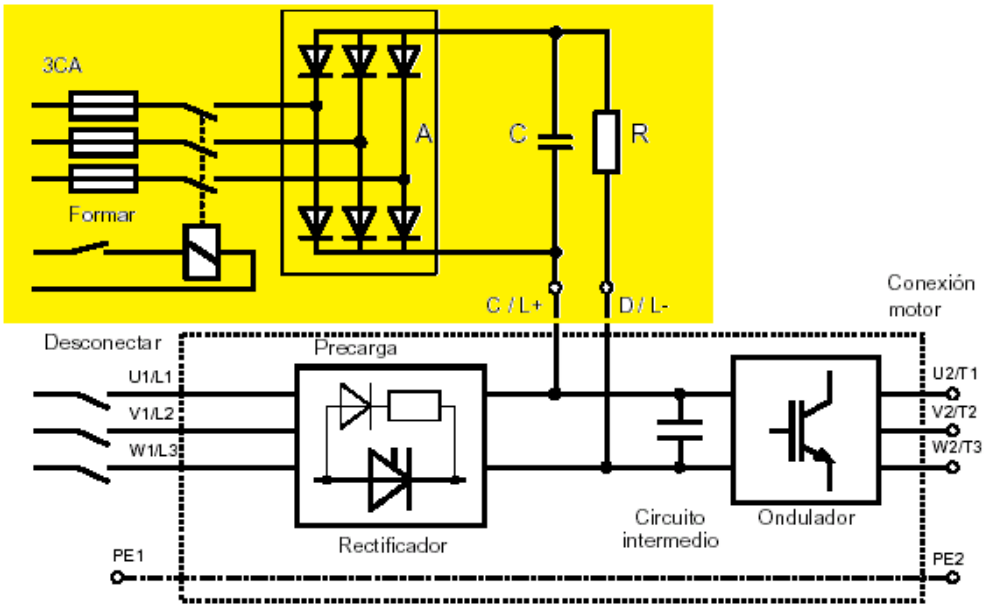


Figura 62

Circuito para preformar condensadores

SIEMENS, recomienda una hora por cada año que el VDF ha estado en almacenamiento o fuera de servicio.

1.21.2 Recomendaciones adicionales derateos

El completo cumplimiento del grado de protección IP20 según EN 60529 está en relación con la cantidad de cables de mando y de salida que obturan la abertura en la parte inferior del equipo. Si el grado de protección IP20 debe cumplimentarse también en servicio se debe reducir la abertura posteriormente en caso de que esto sea necesario.

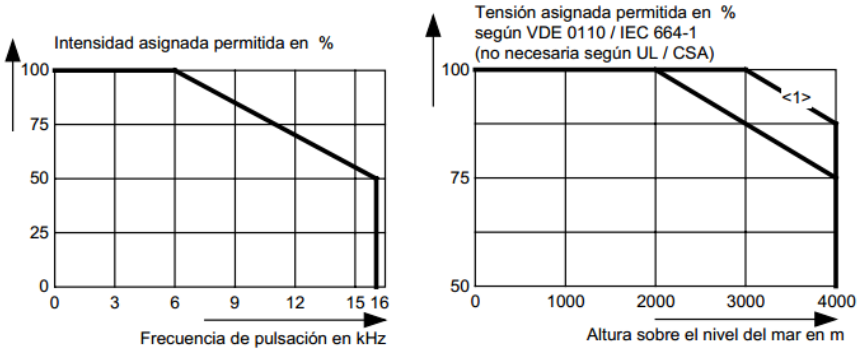
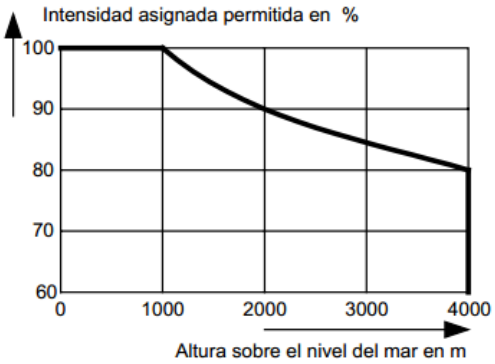


Figura 63

Es recomendable aumentar la frecuencia de pulsación solo si se tiene potencia disponible en el equipo. (En equipos MM440 se puede modificar entre 2KHz y 16KHz)

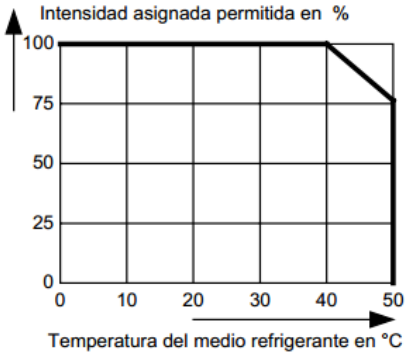


<1>
La curva derating más favorable es válida solo para los tamaños de B a D con una tensión de entrada asignada de 510 - 540 V

Altura [m]	Factor derating K_1
1000	1,0
2000	0,9
3000	0,845
4000	0,8

Figura 64

La potencia en sistemas autoventilados se debe deratear según la altura geografía en la que trabaje el equipo (si no se tienen datos se puede castigar un 10% por cada 1000 metros de altura geográfica)



Temp [°C]	Factor derating K_2
50	0,76
45	0,879
40	1,0
35	1,125 *
30	1,25 *
25	1,375 *

* Véase la siguiente indicación

Figura 65

*Se debe tener en cuenta que el derateo total no sea mayor a 1

También se recomienda castigar la potencia del equipo en función de la temperatura ambiente o temperatura del medio refrigerante.

El derateo de la intensidad asignada permitida para alturas mayores de 1000 m sobre el nivel del mar y temperaturas medioambientales por debajo de 40 °C se puede calcular de la siguiente forma:
Derateo total = Derateo Altura x Derateo Temperatura medio ambiental.
K = K1 x K2
Ejemplo:
Altura: 3000 m K1 = 0,845

Temperatura medioambiental: 35 °C K2 = 1,125
⇒ Derateo total = 0,845 x 1,125 = 0,95

1.21.3 Recomendaciones para una correcta instalación de fuerza

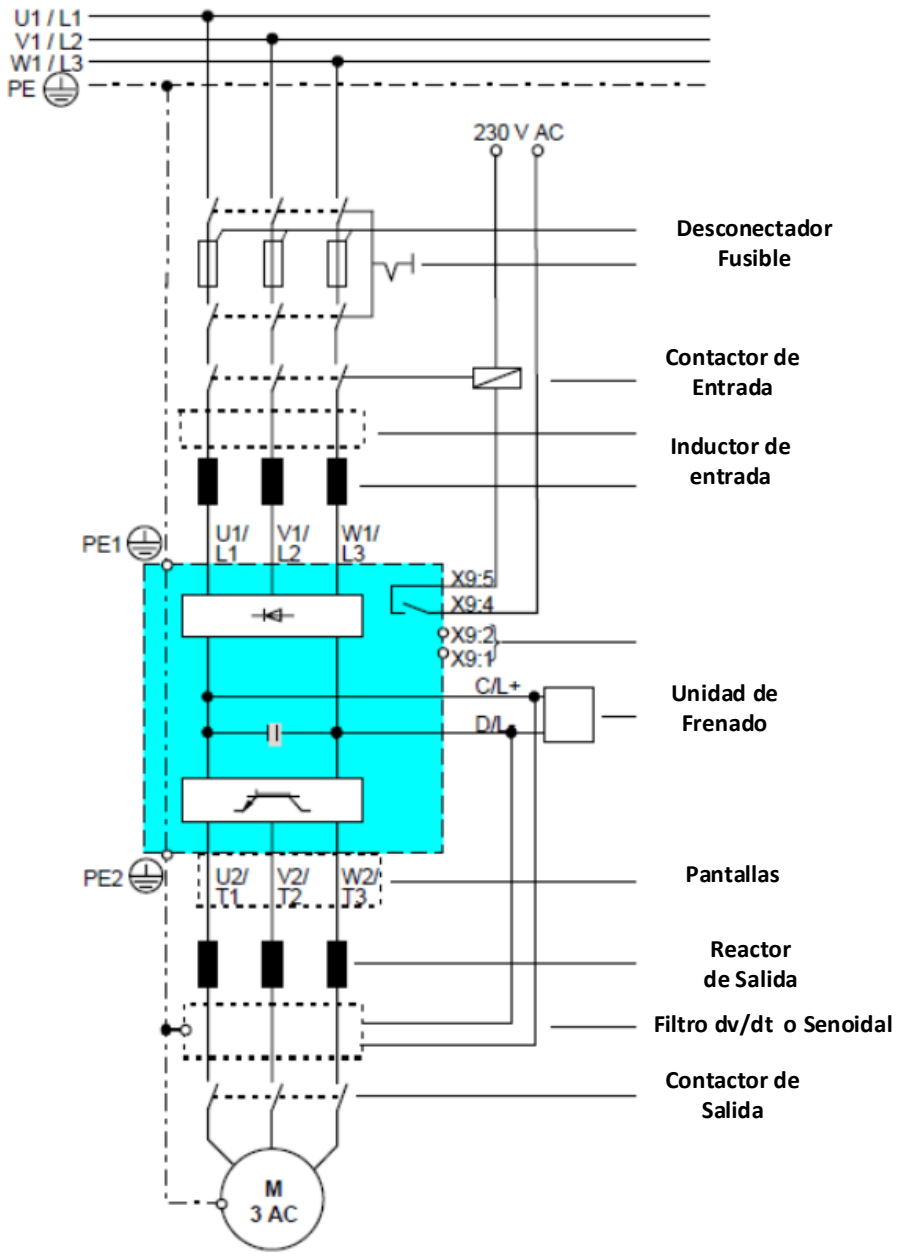


Figura 66

Lo que podemos destacar del circuito es:

- Fusibles rápidos para semiconductores.
- Contactor de entrada, controlado por el VDF.
- Reactores de entrada, permiten suavizar las corrientes y eliminan las componentes armónicas que puedan afectar a la fuente principal.

El convertidor (VDF) contiene componentes sensibles a las cargas electroestáticas. Estos componentes se pueden averiar con facilidad si no son bien tratados. Si se tiene que trabajar con tarjetas electrónicas, tenga en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Las tarjetas electrónicas solo se tocarán cuando sea imprescindible el trabajar en ellas
- Si es imprescindible el tocar las tarjetas electrónicas, hay que descargar el propio cuerpo con anterioridad.
- Las tarjetas electrónicas no deben entrar en contacto con materiales altamente aislantes, p.ej. plásticos, mesas aisladas, embalajes de fibra etc.
- Las tarjetas electrónicas solo se pueden apoyar en partes conductoras
- Al soldar en las tarjetas electrónicas, hay que conectar a tierra la punta del soldador
- Tanto las tarjetas como los componentes electrónicos se transportarán y se almacenarán solo dentro de embalajes metálicos (Por Ejemplo: Bolsas antiestáticas, cajas de plástico metalizadas o cajas de metal).
- Si los embalajes no son metálicos, las tarjetas y los componentes electrónicos se cubrirán con un material conductor antes de embalarlos. Para tal fin se puede utilizar p.ej. espuma de goma conductora o papel de aluminio del que se emplea en la cocina.

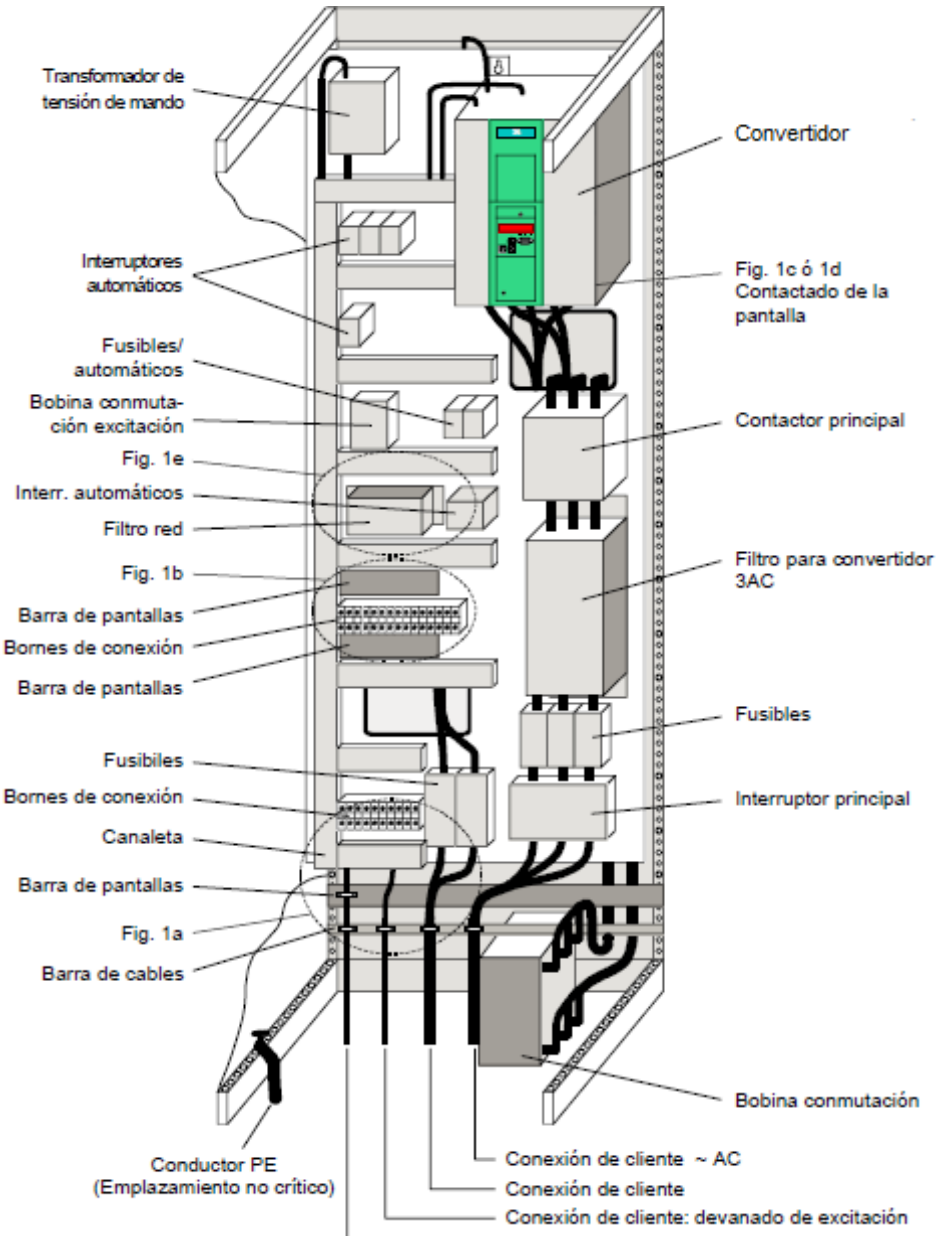


Figura 67

Siempre es recomendable separar los cables de control, señales análogas y cables de comunicación de las líneas de potencia.

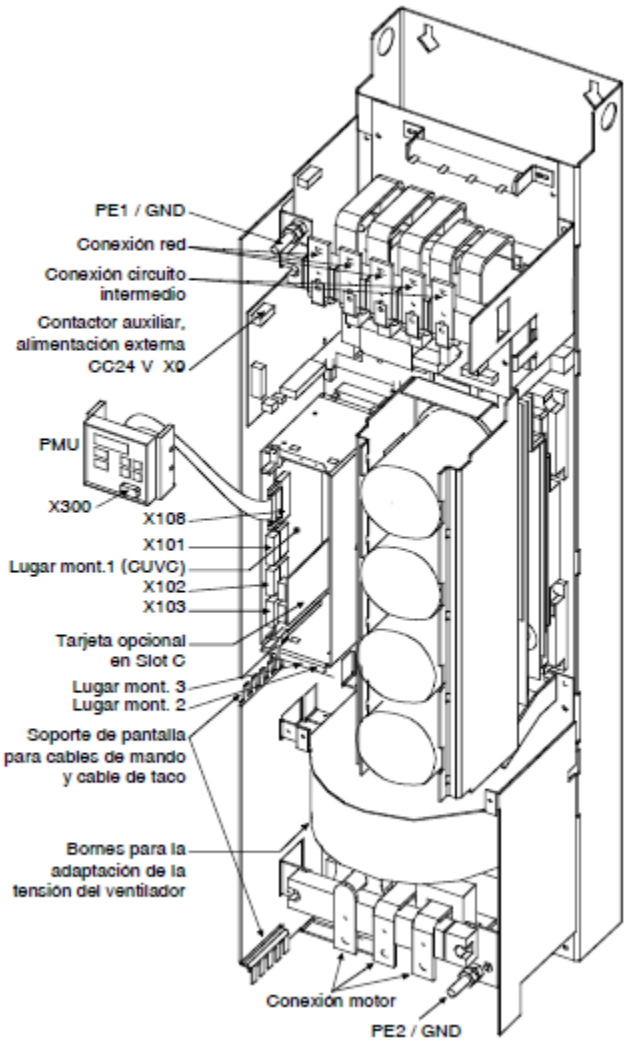


Figura 68

Cuando se trata de variadores de mayor tamaño, es sistema de control queda separado por el mimo armazón del convertir de frecuencia, la precaución hay que tomarla en las tuberías y bandejas pasa cables.

1.21.4 Conexiones de control

Básicamente todos los variadores tienen el mismo esquema de control digital

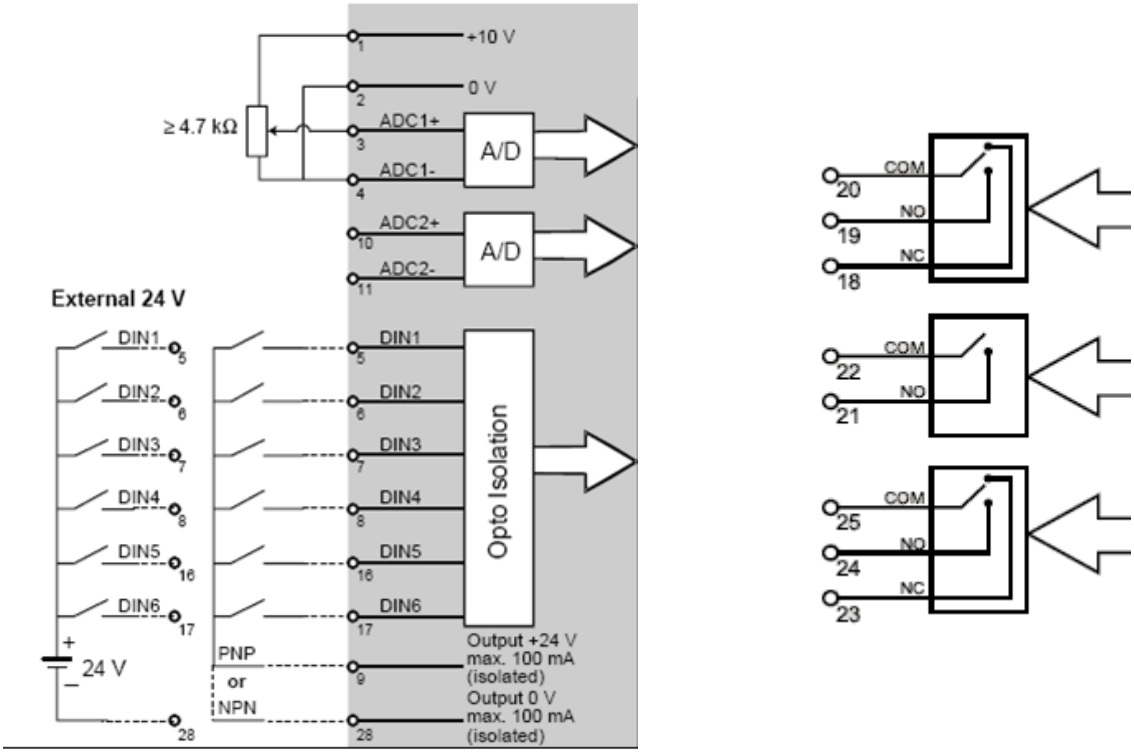


Figura 69

En este caso podemos ver 6 entradas discretas de 24 V. Estas se pueden referencias internamente (Pin9) o externa con una fuente de 24V. Las entradas y salida discretas pueden asumir diferentes roles, dependiendo del comisionado realizado.

<u>ENTRE OTRAS FUNCIONES DE ENTRADA ENCONTRAMOS:</u>

- Partir/Parar
- Subir velocidad
- Bajar velocidad
- Invertir marcha
- Parada de Emergencia
- Local /Remoto
- Condiciones de seguridad (Pull-Cord, Desalineamiento)

EN LAS FUNCIONES DE SALIDA:

- VDF Falla
- VDF Motor corriendo
- VDF Listo

ENTRADAS ANALOGAS

También observamos dos entradas análogas para usos programados por el cliente entre los cuales podemos ejemplificar:

- Referencia de velocidad
- Referencias para el torque
- Retroalimentación de sensores externos (integración)

SALIDAS ANALOGAS

Las salidas análogas para usos programados por el cliente entre los cuales podemos ejemplificar:

- Velocidad en Voltaje de 0-10V o corriente de 0-20 mA o 4-20 mA
- Corriente tomada por el motor
- Frecuencia de motor

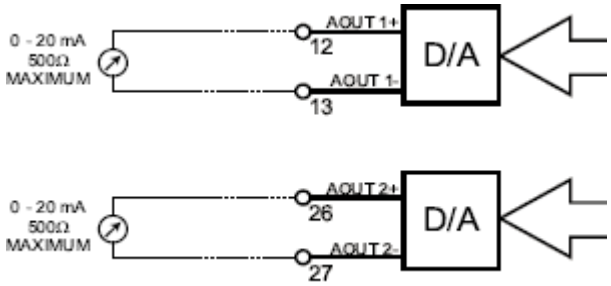


Figura 70

1.21.5 Comisionado (puesta en marcha)

El comisionado inicial consiste en parametrizar los valores eléctricos pertinentes al motor y VDF (Voltajes, Corrientes, potencia, RPM). Asignar la función a las entradas y salidas. También definir el modo de trabajo del variador. Un paso muy importante especialmente si la configuración es para aplicaciones de control vectorial, consiste en sintonizar el motor AC con el VDF.

El parametrizado se puede realizar directamente desde el panel frontal, Por Software del fabricante utilizando un PC.

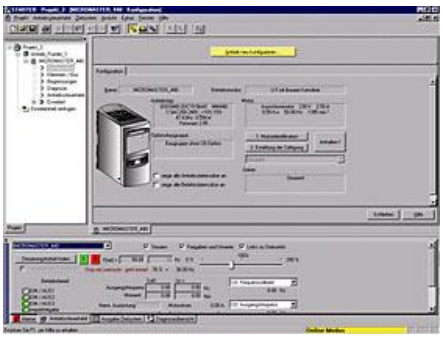


Figura 71

Software de parametrización para VDF SIEMENS,

1.22 Configuración del variador de frecuencia

1.22.1 Diagrama de Bloque del equipo

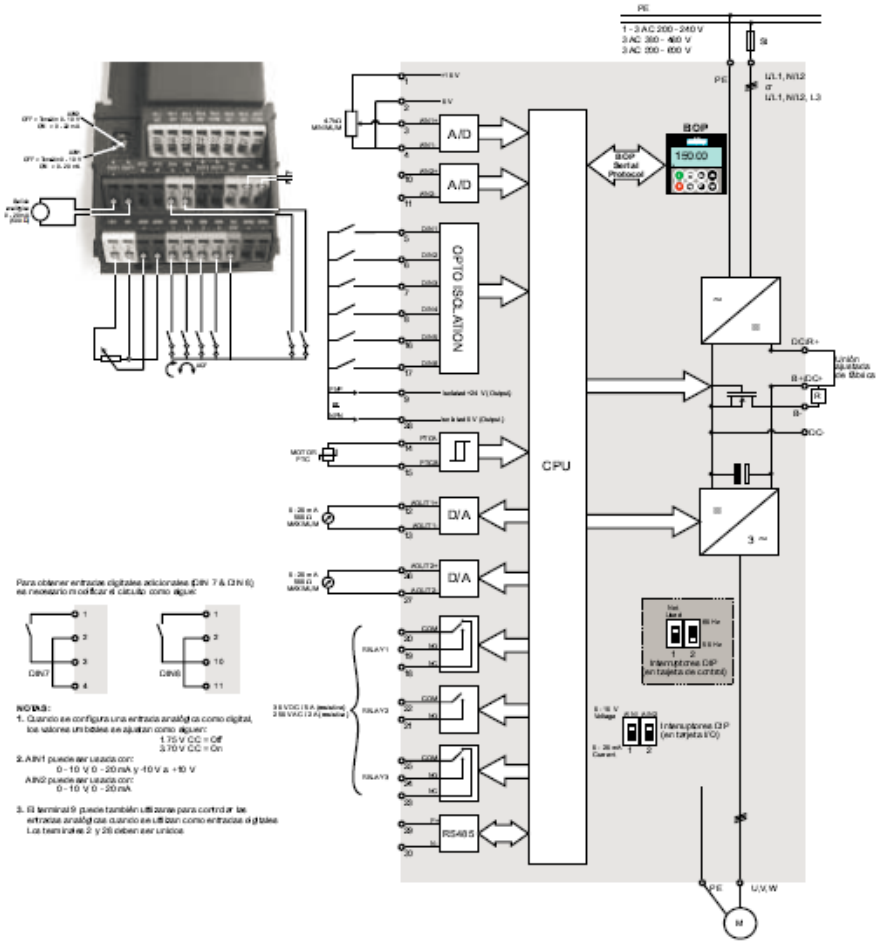


Figura 72

Diagrama de bloque del equipo

ADVERTENCIA

- Durante el funcionamiento de dispositivos eléctricos es imposible evitar la aplicación de tensiones peligrosas en ciertas partes del equipo.
- Los dispositivos de Parada de Emergencia de acuerdo a EN 60204 IEC 204(VDE 0113) deberán permanecer operativos en todos los modos de operación del equipo de control
- . Cualquier rearme del dispositivo de “Parada de Emergencia no deberá conducir a un re arranque incontrolado o indefinido”.
- Determinados ajustes de parámetros pueden provocar el re arranque automático del convertidor tras un fallo de la red de alimentación.
- Los parámetros del motor se deben configurar con precisión para que la protección de sobrecarga del motor funcione correctamente.

1.22.2 Modos de puesta en servicio

En la versión estándar, el MICROMASTER 440 cuenta con un DISPLAY. Este panel permite una aplicación múltiple del convertidor con el pre ajustes efectuados en fábrica. Si dichos pre ajustes no se adaptan a las condiciones de su instalación, puede modificarlos con ayuda de los paneles opcionales BOP. Además, los ajustes de fábrica pueden readaptarse con las herramientas PC-IBN.Drive Monitor.o.STARTER. Este Software está contenido en el CD-ROM que se adjunta con la documentación del equipo.

Figura 73

Panel BOP de visualización y programación

1.22.3 Funcionamiento básico con el panel SDP o BOP

Con el pre ajuste de fábrica es posible realizar lo siguiente:

- Arrancar y parar el motor (DIN1 mediante interruptor externo)
- Invertir el sentido de giro del motor (DIN2 mediante interruptor externo)
- Reposición o acuse de fallos (DIN3 mediante interruptor externo)
- El control de la velocidad del motor se realiza conectando las entradas analógicas como se muestra en la siguiente Figura.

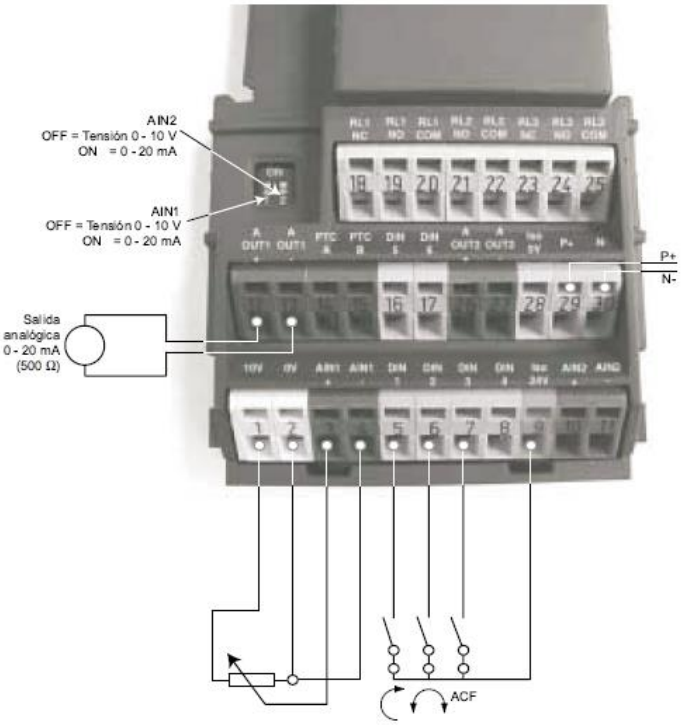


Figura 74

Fuente de mando por bornera y fuente de consigna por entrada análoga.

Nota: La fuente de mando se selecciona con el parámetro P=0700 = 2
La fuente de consigan (Velocidad) con el parámetro P=1000 = 2

1.22.4 Funciones de puesta en marcha con el BOP / AOP

Puesta en servicio rápida (P0010=1)
Es importante que el parámetro P0010 se use para la puesta en servicio y elP0003 para seleccionar el número de parámetros a los que es posible acceder. Este parámetro permite seleccionar un grupo de parámetros para facilitar la puesta en servicio rápida. Entre ellos se incluyen los parámetros de ajuste del motor y delos tiempos de rampa. Al acabar la secuencia de puesta en servicio rápida es necesario seleccionarP3900, el cual, si está ajustado a 1, activa el cálculo del motor necesario y pone el resto de parámetros (no incluidos en P0010=1) a los ajustes por defecto. Esto sólo ocurre en el modo de puesta en servicio rápida.

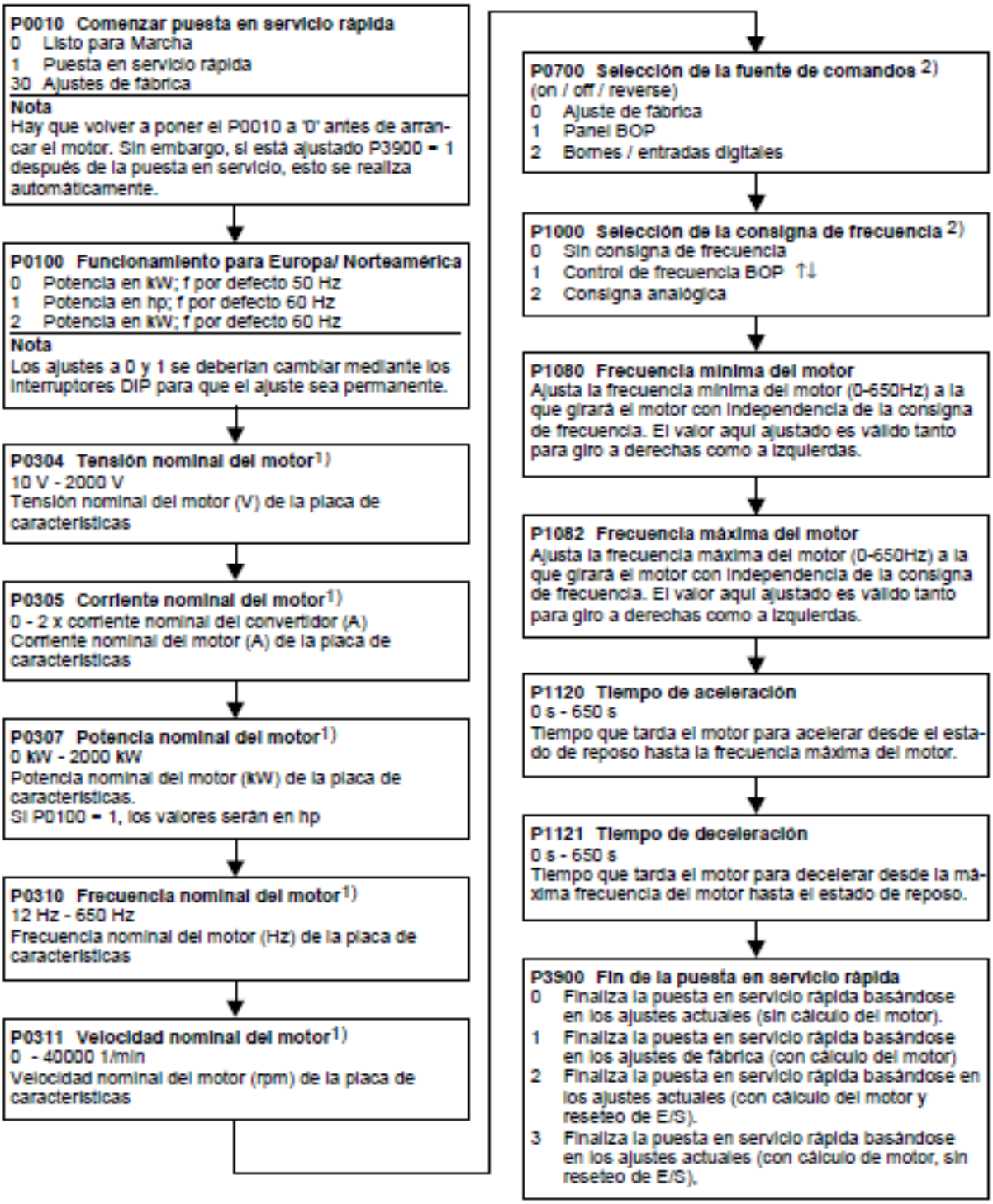


Figura 75

Puesta en servicio rápida VDF SIEMENS MM440

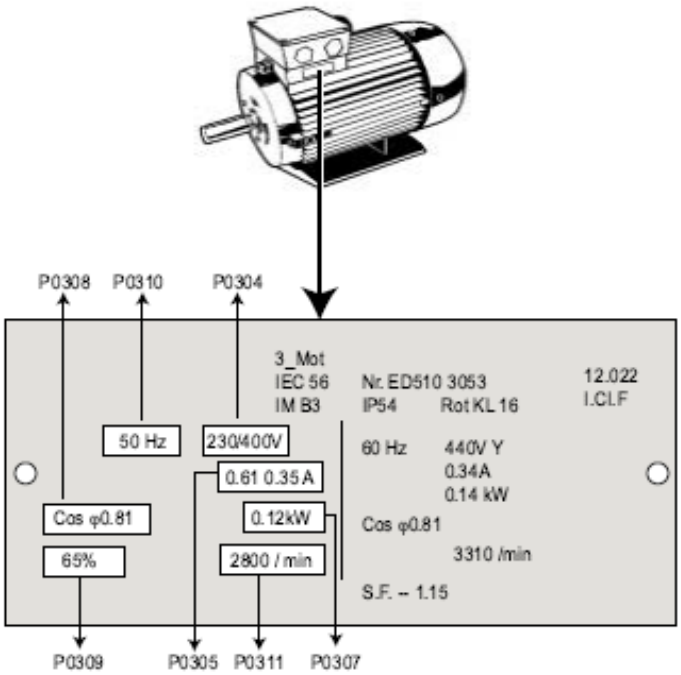


Figura 76

Parametrización de los datos de placa del motor

ATENCIÓN
El convertidor no lleva ningún interruptor de alimentación, por lo que está bajo tensión en cuanto se conecta la alimentación de red. Espera, con la salida bloqueada, hasta que se pulse el botón 'Marcha' o la presencia de una señal digital ON en el borne 5 (DIN1).

1.22.5 Operación básica con el panel BOP

Prerrequisitos
P0010 =0(a fin de iniciar correctamente la orden de marcha).
P0700 =1(habilita el botón Marcha/Parada en el panel BOP).
P1000=1(habilita las consignas del potenciómetro motorizado).

Pulsar el botón verde para poner en marcha el motor.
Pulsar el botón mientras que gira el motor. La velocidad del motor sube a 50Hz.
Cuando el convertidor alcanza 50Hz, pulsar el botón. Con ello baja la velocidad del motor.
Cambiar el sentido de giro con el botón.
El botón rojo para el motor.

1.22.6 Control LOCAL /REMOTO y lógica de alambrado

En muchas situaciones industriales se requiere gobernar el VDF desde dos o más puntos distintos. Los variadores SIEMENS MM440 disponen de un comando para seleccionar diferentes fuentes de órdenes y diferentes motores
Nota: Parámetros CDS (P0810 y P0811) juego de datos de órdenes.
Parámetros CDS (P0820 y P0821) juego de datos de convertidor.
Esto se puede utilizar como se muestra a continuación.

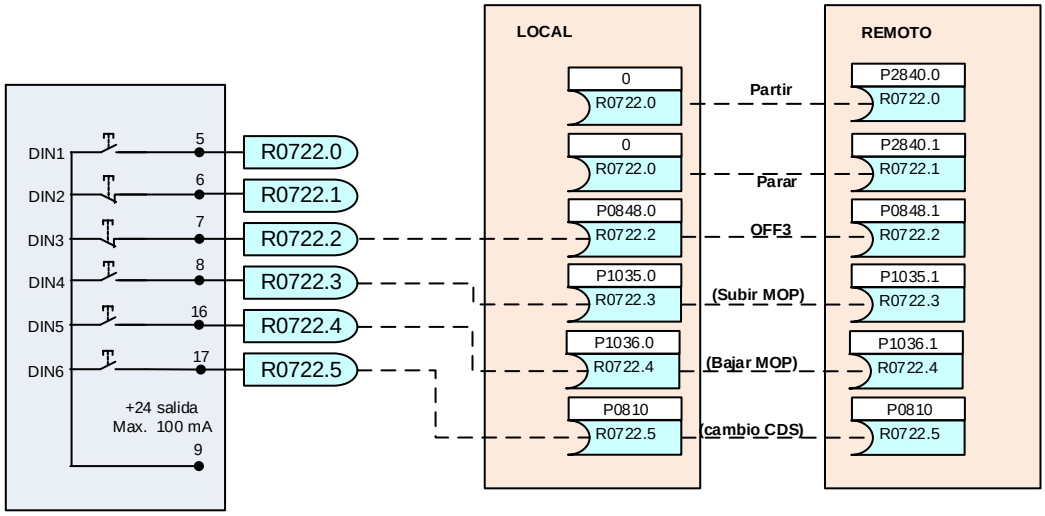
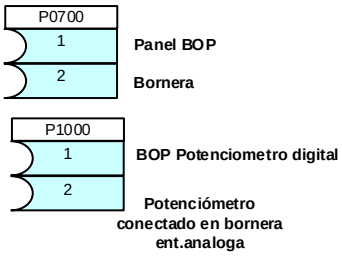


Figura 77

En este caso el mando lo podemos tener el comando P=0700[2] para las dos fuentes de órdenes y de igual modo las dos fuetes de consigna P 1000[2], vale decir, se deben programar los dos index del comando respectivo.



P0810 = R0054 & P0811 = R0055			IDEX
	P0811	P0810	R0050
1.CDS	0	0	0
2.CDS	0	1	1
3.CDS	1	0	2
3.CDS	1	1	2

Figura 78

La selección del INDEX se realiza como muestra la tabla

El Sistema escogerá uno entre los índex [3] de acuerdo a la condición del parámetro P0810 y P0811

De igual manera la lógica de cableado para bloques de programación

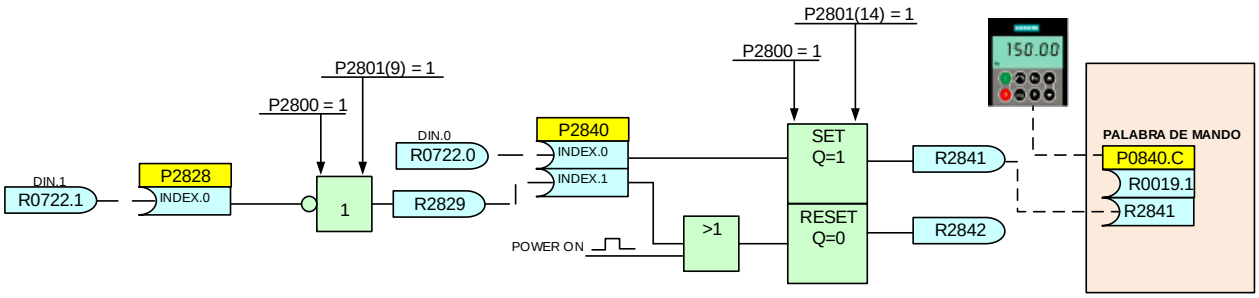


Figura 79

Mando LOCAL por BOP y Mando REMOTO por bornera

Partida local mando por panel BOP utiliza el BIT R0019 y Mando remoto por Bornera, utiliza el BIT R2841, que es la salida del FF1 y que está en SET por la DIN.0 y RESET por DIN.1 . Note que al encender el VDF el FF1 pasa automáticamente a RESET por la señal POWER ON.

1.23 Topologías de convertidores de frecuencia

1.23.1 Convertidores para un cuadrante

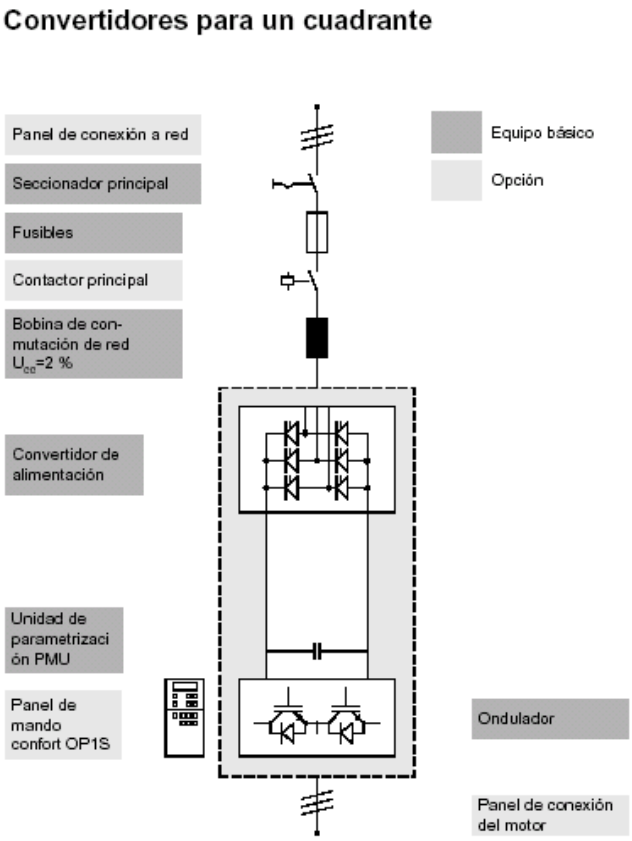


Figura 80

Convertidor de cuadrante, 6 pulsos

- Conocido como convertidor de 6 pulsos
- Cuando ocurre regeneración es necesario conectar un “chopper” y resistencia de frenado

1.23.2 Convertidores para un cuadrante 12 pulsos (Requiere de un transformador desfasado D-Y)

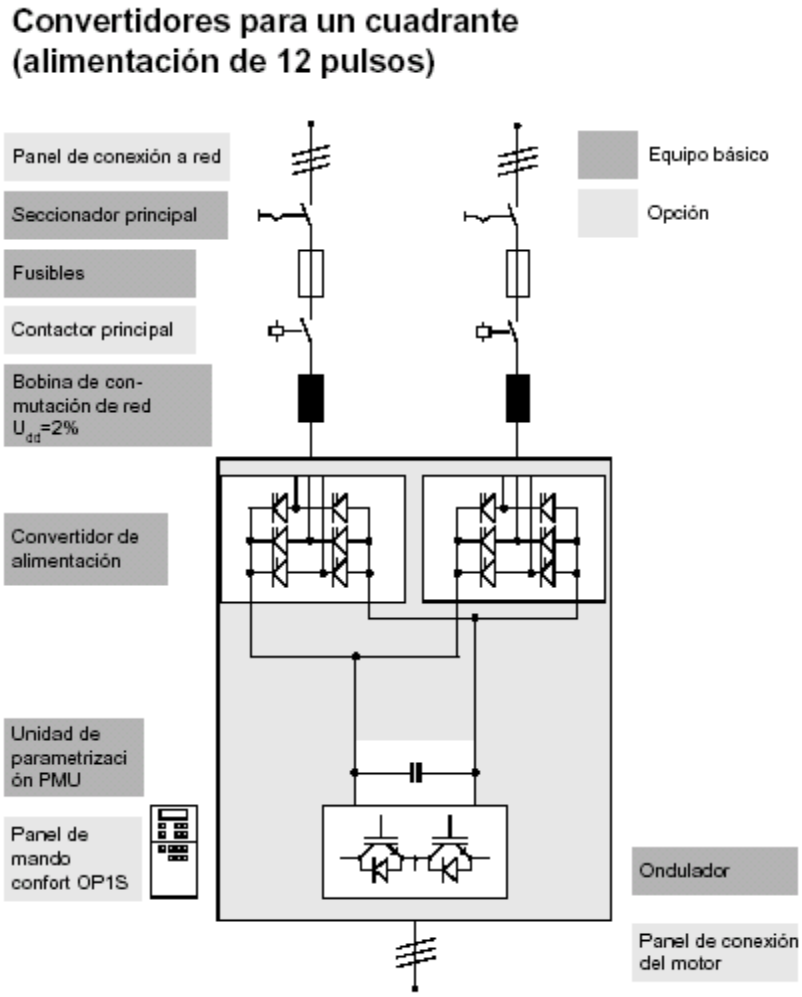


Figura 81

Convertidor de un cuadrante, 12 pulsos

- Conocido como convertidor de 12 pulsos
- Necesita un transformador de entrada con dos secundarios conexión en delta y estrella
- Se utiliza para minimizar el efecto de los armónicos en comparación con un convertidor de 6 pulsos-

1.23.3 Convertidores para cuatro cuadrantes

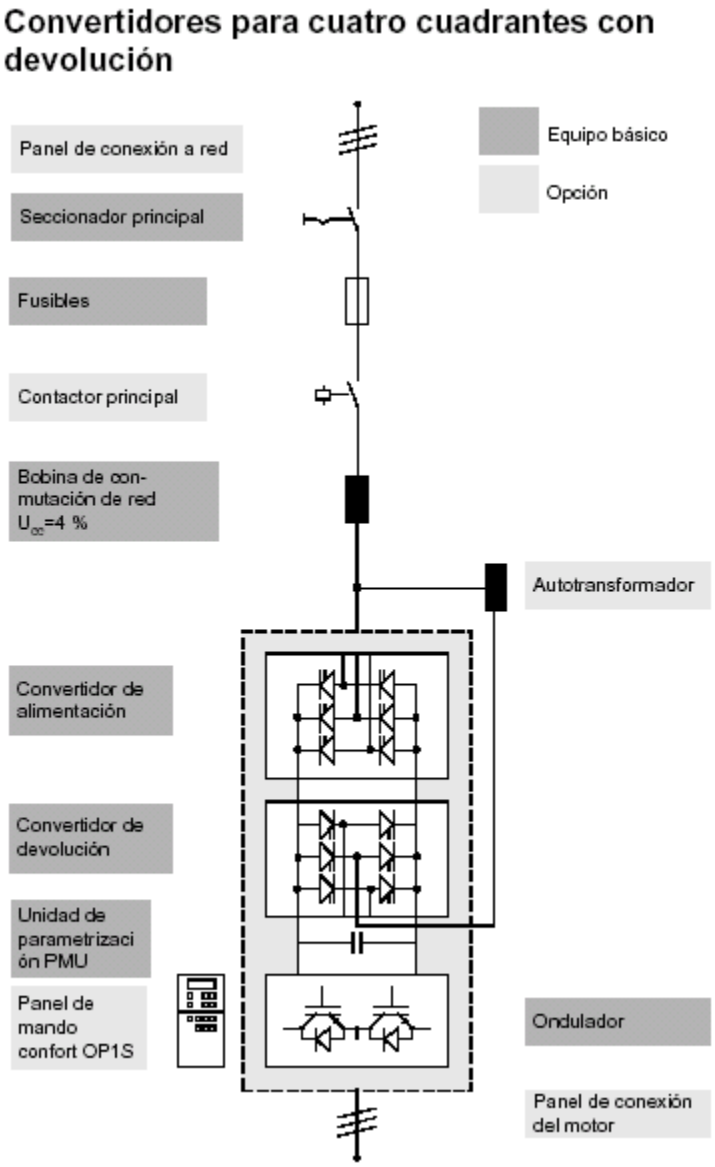


Figura 82

Convertidor para cuatro cuadrantes

- Es la combinación de dos convertidores de 6 pulsos en antiparalelo de modo que cuando ocurre regeneración funciona el segundo conversor y la energía se devuelve a la red a través del autotransformador.

1.23.4 Convertidores de alimentación/devolución afe

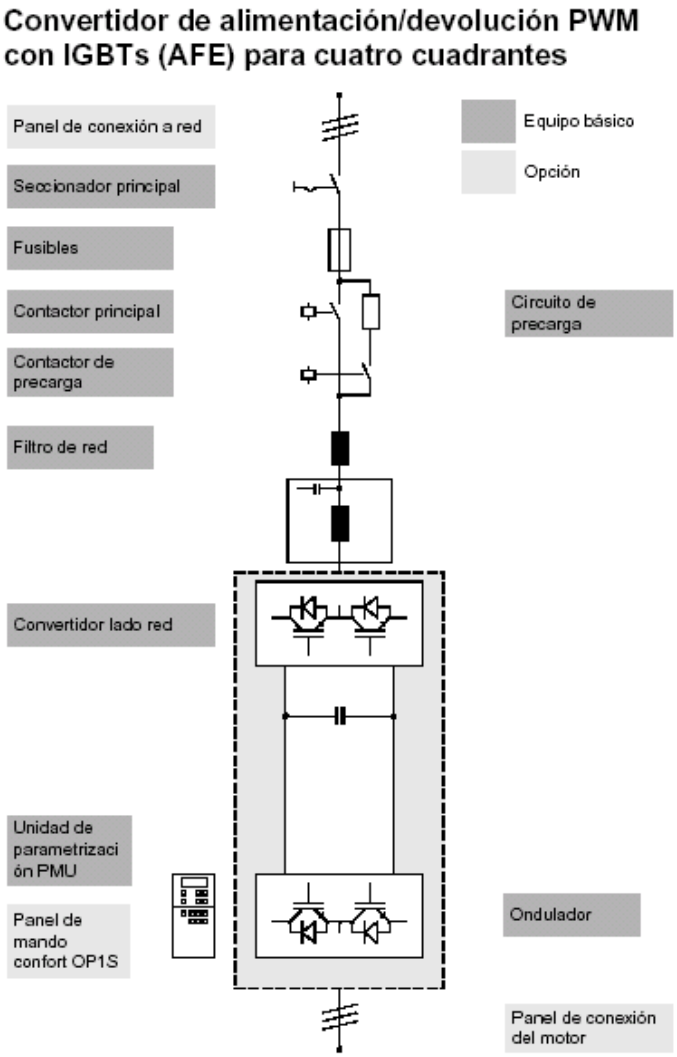


Figura 83

Convertidor AFE

- Convertidor libre de armónicos THD a la entrada prácticamente cero
- Conversor de 4Q que devuelve la energía a la red en caso de regeneración
- Utiliza IGBTs tanto para el inversor como para el rectificador
- Puede controlar factor de potencia de entrada de 0,8 inductivo a 0,8 capacitivo
- La ventaja de tener IGBTs en la etapa rectificadora es que no ocurren fallas de fusibles debido a la conmutación del caso clásico de rectificadores con diodos
- El rectificador con IGBTs también cumple la función de chopper sep up, es decir eleva el nivel de la continua en el circuito intermedio cuando se produce una caída transiente del voltaje de entrada-

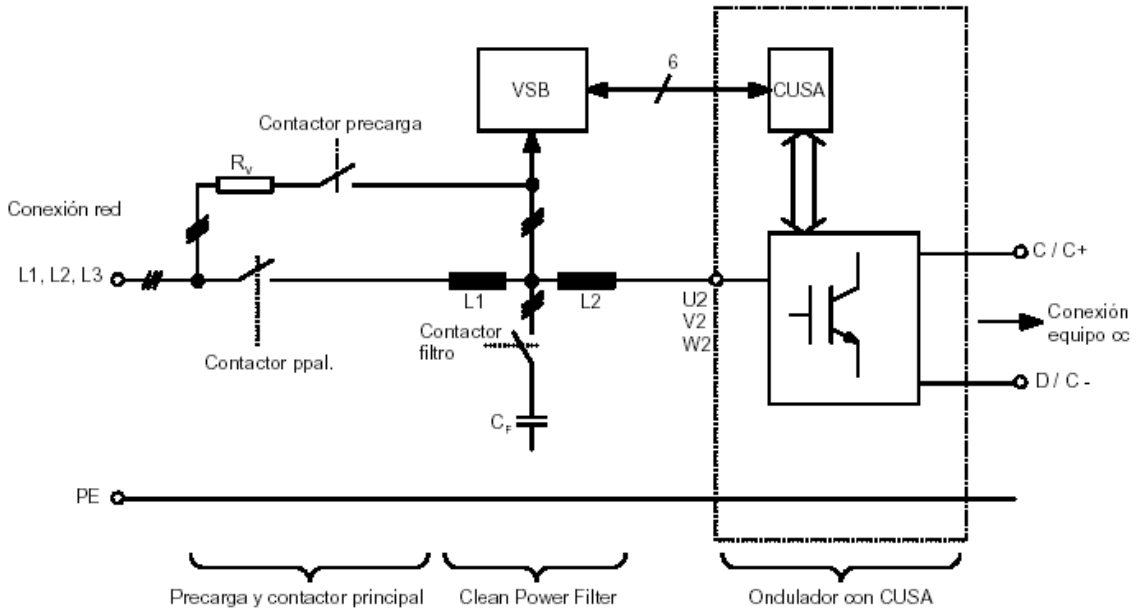


Figura 84

Esquema de circuitos del AFE

Al contrario de las unidades de alimentación / realimentación convencionales con diodos o tiristores, los AFE poseen un ondulador con módulos IGBT. Esto permite regular la corriente de red de forma senoidal, es decir, las repercusiones sobre la red son mínimas. El AFE está preparado para acoplar varios onduladores en un embarrado conjunto de continua. Ello facilita el intercambio de energía entre accionamientos con servicio como motor o como generador y facilita con ello un ahorro de energía. A la salida se le pueden conectar uno o varios onduladores. La suma de las potencias efectivas de los onduladores no debe sobrepasar la potencia nominal del AFE. Asegúrese de ello al hacer la configuración del sistema general.

El principio funcional del Active Front End resulta más esclarecedor en el esquema equivalente monofásico de la Figura 18. Se parte de la base que las magnitudes son senoidales. La red se representa en forma idealizada mediante la fuente de tensión Ured, el AFE por medio de la fuente de tensión UAFE y la bobina L. La tensión UAFE es variable con lo cual se puede ajustar la corriente de la red Ired. La bobina L absorbe la diferencia de tensión UL = Ured – UAFE, de tal manera que fluya la corriente de red Ired = UL/jwL deseada. Si la corriente de la red Ired se quiere ajustar por ejemplo. En fase con la tensión de red, la fuente de tensión UAFE debe producir una tensión apta, como se muestra en el diagrama vectorial de la Figura 19

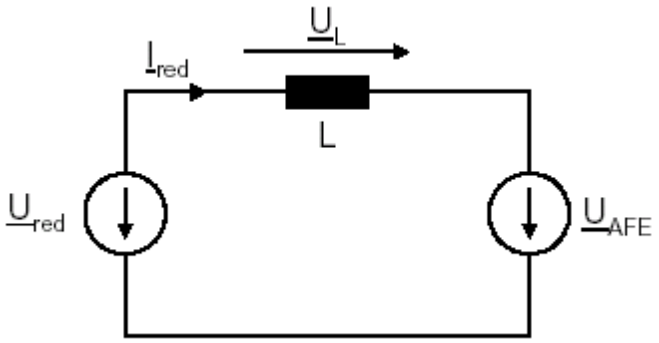


Figura 85

Esquema equivalente monofásico del AFE

O sea: $$\underline{U}_{AFE} = \underline{U}_{red} - \underline{U}_L = \underline{U}_{red} - j\omega L \cdot \underline{I}_{red}$$

Esto funciona exactamente igual en sistema trifásico si, las magnitudes monofásicas Ured, Ired y UAFE, se sustituyen por los vectores espaciales correspondientes ured, ired y uAFE. La fuente de tensión UAFE trifásica necesaria se genera mediante un ondulador (de pulsos) con tarjeta de regulación CUSA. La potencia efectiva, que es absorbida o suministrada por la red, es transferida por el ondulador de red al circuito intermedio y cumple de esta forma la función de una unidad de alimentación / realimentación. El ondulador de red tiene la capacidad de conmutar entre la alimentación o realimentación con dinámica acorde a la frecuencia de pulsación Los choques de carga, que origina el ondulador del motor en el circuito intermedio de corriente continua, son asimismo regulados con dinámica acorde a la frecuencia de pulsación. Dinámica acorde a la frecuencia de pulsación significa en este caso que la regulación puede activarse e intervenir, a más tardar después de 333 µs. Lo que corresponde a una frecuencia de pulsación de 3 kHz.

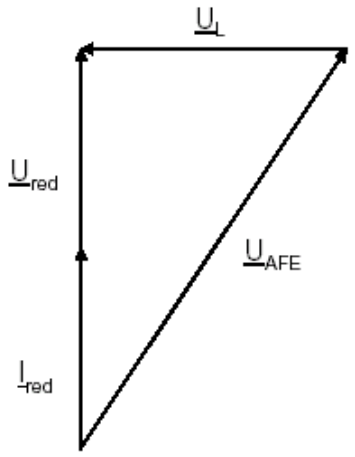


Figura 86

Diagrama Vectorial para cos = 1

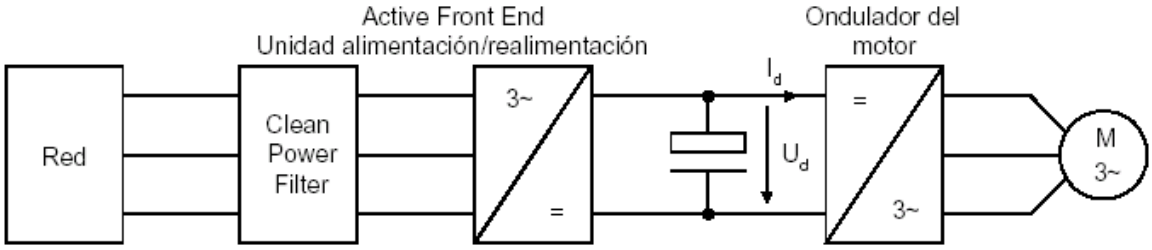


Figura 87

Esquema general de un convertidor AFE

Debido al principio de operación pulsado del ondulador, se originan, junto a la oscilación fundamental – sujeta a la intensidad de la red – armónicas en el rango de la frecuencia de pulsación y en el múltiplo de la misma. El **Clean Power Filter** filtra las armónicas en la corriente y en la tensión. Las repercusiones que se crean sobre la red son mínimas, independientemente de las condiciones de la misma. Las armónicas de baja frecuencia (p. ej. 5. o 7.), prácticamente ni se producen (normalmente < 0,1 % de la tensión nominal). En la Figura x se encuentra un esquema general de un convertidor AFE. La unidad de alimentación / realimentación AFE para accionamientos polimotóricos se puede fabricar a pedido. El AFE opera según el principio de un regulador step-up, es decir, la tensión del circuito intermedio Ud siempre se encuentra por encima del valor de cresta de la tensión de alimentación. Conmutando activamente el AFE se tiene además la posibilidad de mantener la tensión del circuito intermedio a un valor constante. Esto ocurre en el AFE mediante un regulador de la tensión del circuito intermedio, que predetermina la consigna de la corriente de la red. La corriente de la red es entonces regulada sinusoidalmente por un regulador de intensidad vectorial de alta rapidez. Por medio del modo operativo step-up de tensión es posible solventar caídas de tensión de red sin que cambie el valor de la tensión del circuito intermedio. Esto solo se puede conseguir (sin medidas auxiliares) si la tensión de red no baja de un 65 % de la tensión de red nominal y mientras se pueda mantener el balance de potencia de acuerdo a la igualdad

$$\sqrt{3} \cdot U_{red} \cdot I_{máx} = U_d \cdot I_d$$

Si la tensión de red tiende a caer por debajo del 65 % de la tensión de red nominal se tiene que conectar una fuente de corriente a prueba de interrupción (UPS o algo parecido) como apoyo a la alimentación auxiliar para que no salten los contactores. El **Line Current Management** reduce la corriente reactiva, cuando se alcanza la intensidad máxima. Con esto se mantiene, el mayor tiempo posible, la tensión del circuito intermedio constante y con ello la potencia efectiva necesaria. Naturalmente el AFE también puede suministrar energía reactiva a la red (inductiva y capacitiva). Pudiéndose elegir entre un factor de potencia constante cosø (de 0,8 ind. A 0,8 cap.) o una potencia reactiva determinada Q en kVar. La potencia reactiva se puede determinar del 0 % al 140 % de la potencia aparente nominal AFE

$$Q[Var] = \frac{Q[\%] \cdot \sqrt{3} \cdot U_{red} \cdot I_{nominal}}{100}$$

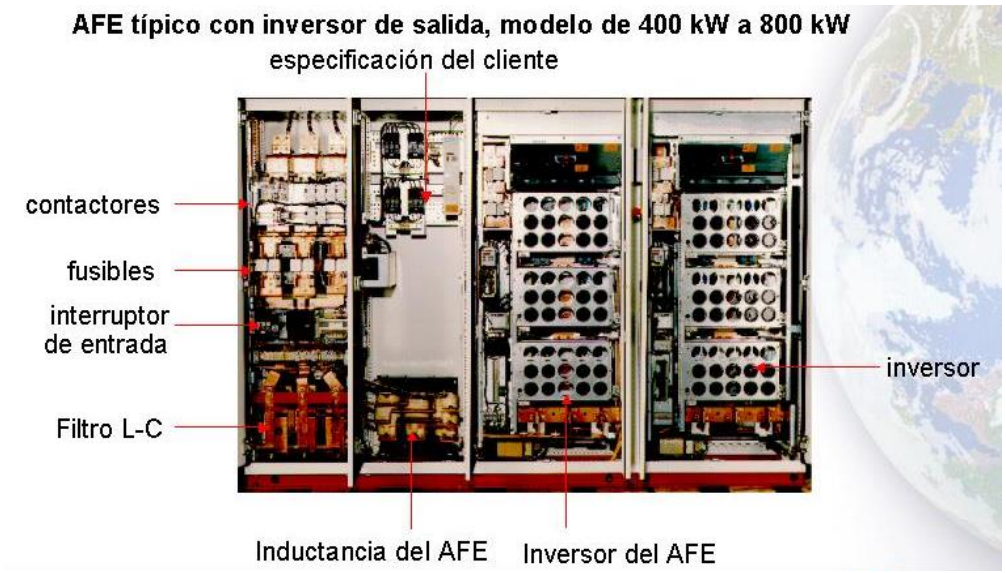


Figura 88

Fotografía de un variador del tipo AFE

(Gentileza de SIEMENS)

1.23.5 Convertidores de media tensión

ROBICON PERFECT HARMONIC

Un variador de media tensión PEFECT HARMONIC es una serie de variadores de frecuencia de modulación por ancho de pulsos para motores AC diseñado por ROBICON. Proporciona una alimentación con energía limpia eliminando la necesidad de emplear filtros Proporciona un alto factor de potencia de u 95% o mejor a través de todo el rango de velocidades. Proporciona una salida casi sinusoidal, eliminando la necesidad de deratear el motor.

Cada fase del motor se acciona por tres celdas de potencia conectadas en serie. Los grupos de celdas de potencia están conectadas en estrella con un neutro flotante. Cada celda esta potenciada por un devanado secundario aislado de un transformador de aislamiento integral. Los 9 secundarios están diseñados para 480 V, cada uno a una novena parte de la potencia total. Las celdas de potencia y sus secundarios están aislados entre sí y de la tierra para el servicio de clase 5 kV.

Para un variador de 300 V, se tendría que extender la Figura para incluir 4 celdas de potencia en serie dentro de cada fase, con 12 secundarios en el transformador. Para un variador de 4160 V, habría 5 celdas de potencia en serie dentro de cada fase, con 15 secundarios en el transformado. Cada celda es un convertidor de potencia estático. Es capaz de recibir la potencia de la entrada de 480 V trifásicos 50/60 Hz, y de suministrar dicha potencia a una carga monofásica a cualquier voltaje hasta 480 V y a frecuencias hasta 120 Hz. Con tres celdas de potencia en serie con cada fase, un variador de la serie harmonic puede producir tanto como 1440 V línea a neutro. Con 5 celdas de potencia por cada fase, el variador puede producir tanto 2400 V línea a neutro o 4160 V línea a línea. Las celdas de potencia reciben todos los comandos desde un controlador central. Estos comandos con transmitidos a las celdas a través de cables de fibras ópticas para mantener el aislamiento de 5 kV.

Los secundarios del transformador que alimentan las celdas en cada fase de salida están construidos para obtener una pequeña diferencia en el ángulo de fase que existe entre ellas. Esto cancela la mayoría de las corrientes armónicas generadas por las celdas individuales, de manera que las corrientes primarias con casi sinusoidales. El factor de potencia es muy alto, típico 94% a plena carga.

TOPOLOGÍA DE 3 ETAPAS CON UN SISTEMA DE 2400 VAC

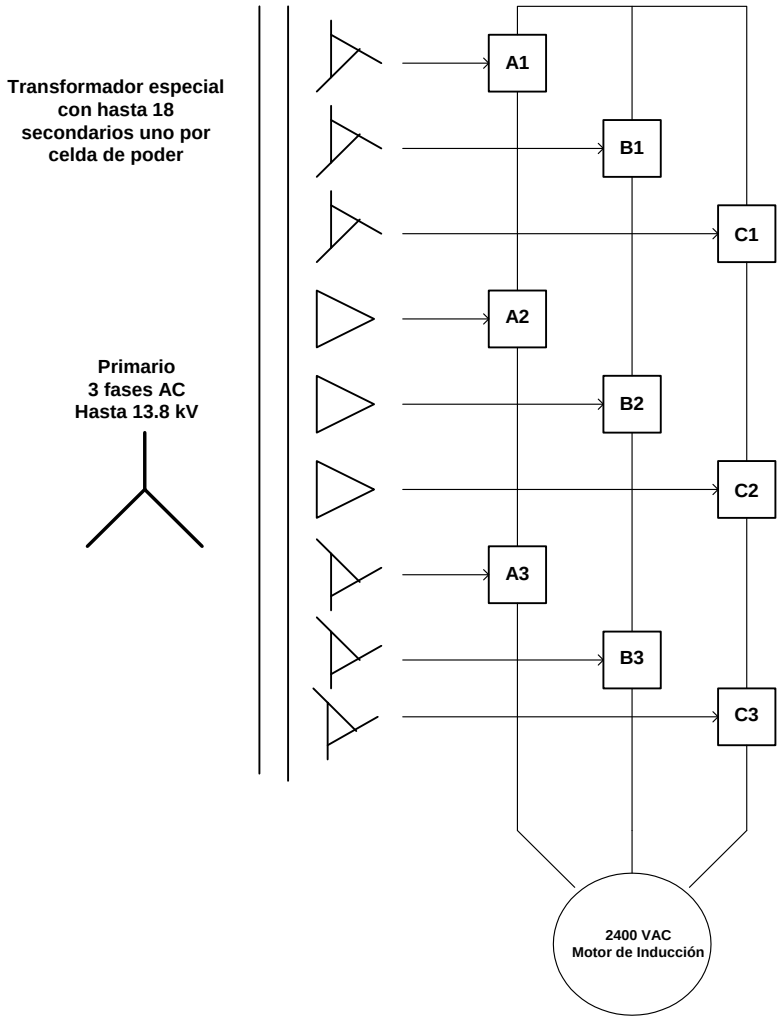


Figura 89

Topología de un variador de media Tensión Robicon de tres etapas

REPRESENTACIÓN DE LAS CELDAS

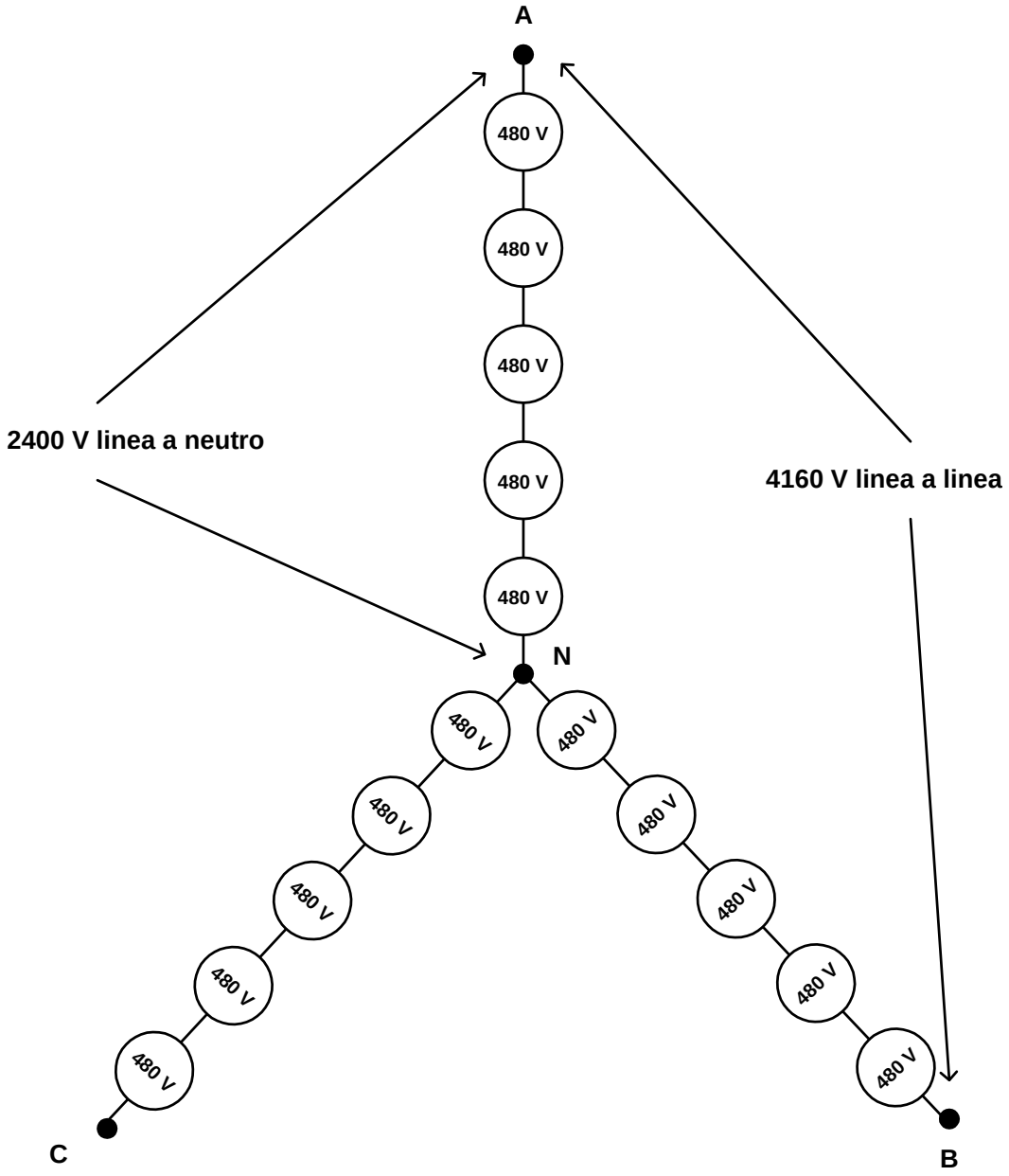


Figura 90

Representación de las celdas para un variador Robicon de 4160 V

CONFIGURACIÓN DE UN VARIADOR HARMONY

Nº de etapas	Voltaje Nominal	Voltaje en el secundario del transformador	Voltaje de salida de la celda	Desplazamiento de fase
3	2400 VAC	460 VAC	+/- 650 VDC	20º
4	3300 VAC	460 VAC	+/- 650 VDC	15º
5	4160 VAC	460 VAC	+/- 650 VDC	12º
6	4800 VAC	460 VAC	+/- 650 VDC	10º
5	6000 VAC	690 VAC	+/- 975 VDC	12º
6	6600 VAC	690 VAC	+/- 975 VDC	10º

Figura 91

Variador de Media Tensión Robicon

Actividad N°9

Variadores de frecuencia

Introducción a la actividad

La siguiente actividad es parte del capítulo “mantención de variadores de frecuencia” y trata sobre nociones para “puesta en marcha de un VDF - modo discreto “y se divide en instalación, programación (comisionado) y pruebas finales, común a las dos secciones.

Estrategias metodológicas para el instructor
Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el Aprendizaje a través de las actividades.

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	
Recurso audiovisual.	√
Propuestas de situaciones problemáticas.	√
Formulación de preguntas.	√

<u>Instalación y comisionado variador de frecuencia</u>

Objetivos de aprendizaje
Identificar los terminales eléctricos del motor y sus recomendaciones para la instalación así como las principales características de este, basados en los datos encontrados en la placa motor.

Determinar las características necesarias para el accionamiento VDF, así como, la característica de la aplicación que realizara el motor AC y la mejor estrategia de control para la programación del VDF.

Descripción de la Actividad:
El participante utilizando un VDF y un motor trifásico adecuado. Conectará el equipamiento de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y datos de placa del motor. Trabajará bajo el concepto de configurar la aplicación industrial “**moto bomba centrifuga”** y el mando debe ser en modo LOCAL-REMOTO. Solo se utilizara control discreto, para el mando “LOCAL” y este será el panel BOP para mando ON/OFF y la

consigna de velocidad. En modo “REMOTO” se utilizaran botoneras estándar para el mando ON/OFF y botonera estándar para la consigna de velocidad. En todo momento el participante deberá respetar las condiciones de seguridad eléctricas y criterios de seguridad para el control digital.

Materiales y recursos

- Lentes de seguridad.
- Guantes de cuero y trabajo liviano.
- Fuente eléctrica trifásica protegida 380VAC 10 Amp Max, con diferencial de 30mA
- VDF 380/480 3KW
- Motor Trifásico 380 2KW
- Cable TAC N°18
- Botoneras STAR/STOP
- Parada de Emergencia con retención
- Dos Botoneras amarillas NA
- Un interruptor 2 posiciones
- 2 pilotos 24V verde
- 1 piloto 24V Rojo
- 1 piloto 24V Amarillo
- Un tester Estándar
- Comprobador de lazo 0-20 mA,4-20mA, 0-10V
- Desatornilladores
- Cortante
- Pelacables

Desarrollo

El instructor formará grupos de acuerdo a la disponibilidad de equipamiento y leerá junto a ellos los requerimientos y explicara la a filosofía de control requerida con el variador, este debe activar dos mandos separados “MODO LOCAL y REMOTO”.

Utilizar mando LOCAL por Panel frontal (BOP) del VDF: ON/OFF, SUBIR BAJAR VELOCIDAD por medio de botones del potenciómetro motorizado del panel frontal BOP y se debe inhibir inversión de marcha.

Utilizar en modo REMOTO un sistema de botonera estándar, partir (verde) parar (rojo) a demás utilizar una parada de emergencia “**botón Zeta rojo**”, es requisito que la parada de emergencia funcione en los dos modos LOCAL y REMOTO (**Nunca debe quedar desactivada una parada de emergencia**).

De igual modo las luces pilotos deben trabajar en los dos modos LOCAL y REMOTO

- Partir con rampa de aceleración de 10 seg.
- Para con desaceleración de 10 seg. (OFF1)
- Parada de Emergencia con rampa rápida de 5 seg. (OFF3)
- Botón amarillo DIN4 para incrementar velocidad
- Botón amarillo DIN5 para decremento velocidad

- Utilizar un interruptor DIN6 para realizar cambio Local/Remoto
- Utilizar piloto Verde para indicar motor corriendo
- Utilizar piloto rojo para indicar motor detenido
- Utilizar Piloto para indicar comando en modo remoto
- Utilizar piloto un piloto amarillo para indicar defecto del VDF

Conceptos básicos:
Asistido por el instructor identifiquen los datos fundamentales del motor de inducción

a) Datos Relevantes de motor que deben ser anotados:

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Voltaje Y/D		Hz	
Corriente Y/D		Autoventilado	
Potencia		Factor de servicio	
RPM			
Factor Potencia			
N° de Polos			
Factor Servicio			

Ejecute los siguientes pasos:

a) Realice inspección de los bornes del motor y determine la conexión apropiada.
b) Revise los requerimientos eléctricos necesarios para la instalación.
c) Verifique los puntos de conexiones de tierra del motor y VDF.
d) Determine la potencia requerida por VDF para satisfacer la aplicación.
e) Determine si la aplicación es de torque constante “CT” o torque variable “VT”.
f) Recomiende un tipo de control para la motobomba “Escalar – Vectorial”, verifique con el manual del variador.

Conectar VDF y MOTOR.

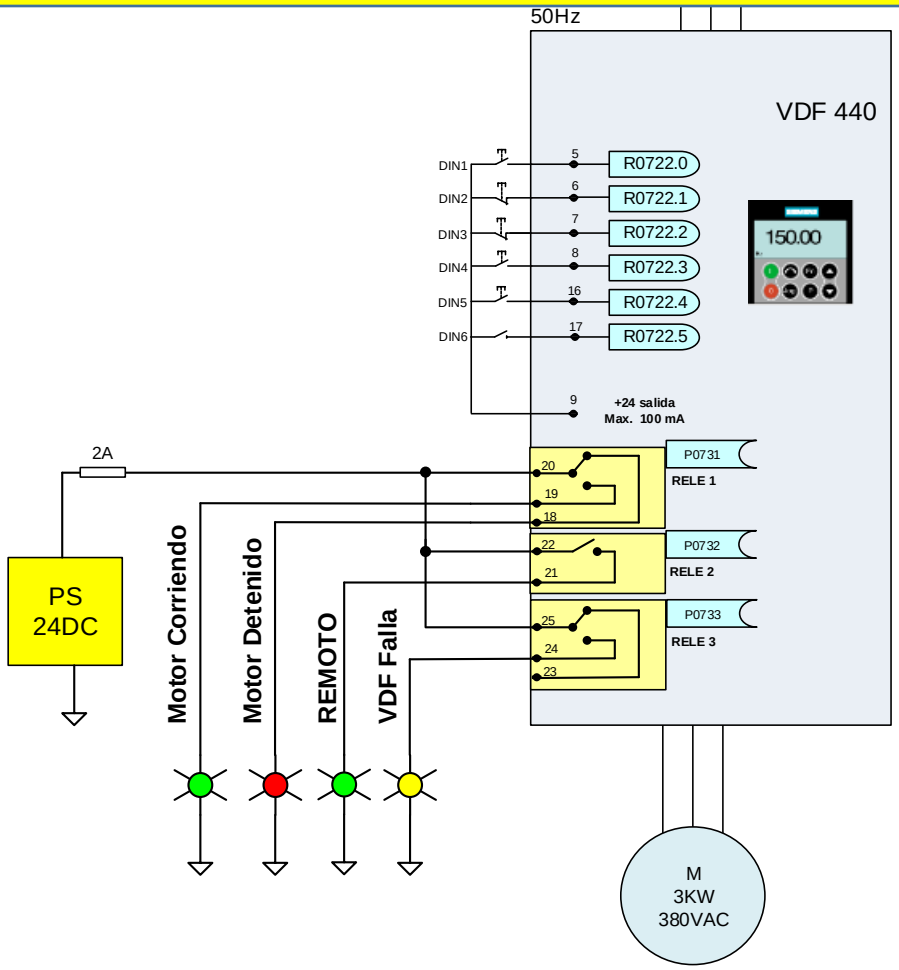
Los participantes guiados por el instructor de manera individual o en grupos de alumnos, conectaran el VDF como se muestra en la Figura siguiente, para luego comisionar parámetros y configurar el control discreto del VDF. Utilizar manual (Referencia SIEMENS MICROMASTRER 440).

Observaciones:

- Alimentación trifásica RST, protegida por automático 10 [Amp] y diferencial de 30 [mA], todo el conexionado se debe realizar bajo normativa IP20 (Esferas de 12,5 mm de diámetro no deben llegar a los puntos energizados).
- Fuente de 24VDC protegida por fusible de 2 [Amp].
- Todos los accesorios botoneras y pilotos son para 24VDC

Importante:

Conectar el equipo solo con la aprobación del instructor



Conexiones Entradas:	Conexión de Salidas
DIN1 Botón Verde (NA) DIN2 Botón Rojo (NC) DIN3 Botón Rojo Zeta con retención (NC) DIN4 Botón Amarillo (NA) DIN5 Botón Amarillo (NA) DIN6 Interruptor (NA)	RELE 1 (DOUT1) Piloto Verde (Corriendo) Piloto Rojo (Detenido) RELE 2 (DOUT2) Piloto Verde (REMOTO) RELE 3 (DOUT3) VDF con Falla

programación del vdf (comisionado)
Puesta En Servicio Rápida (Comisionado) Con BOP (Panel Básico)

- Energice el variador de acuerdo al conexionado anterior (Solo con la autorización del instructor ejecutar este paso)

Reset a los ajustes de fábrica

Como no se sabe que programación tiene el VDF, es recomendable ejecutar un Reset a los ajustes de fábrica. Para reponer todos los parámetros a los ajustes de fábrica, se deben ajustar los siguientes parámetros como se indica:
Ajuste el P0010 = 30
Ajuste el P0970 = 1 y valide

Nota
El proceso de Reset tarda aproximadamente 10 segundos en completarse.

Para la puesta en servicio rápida (P0010 = 1) se requieren documentar los parámetros siguientes.

NUMERO	NOMBRE	NIVEL de ACCESO	EstC
P0100	Europa / Norte América	1	C
P0205	Aplicación del convertidor	3	C
P0300	Selección del tipo de motor	2	C
P0304	Tensión nominal del motor	1	C

P0305	Corriente nominal del motor	1	C
P0307	Potencia nominal del motor	1	C
P0308	CosPhi nominal del motor	1	C
P0309	Rendimiento nominal del motor	1	C
P0310	Frecuencia nominal del motor	1	C
P0311	Velocidad nominal del motor	1	C
P0320	Corriente de magnetización del motor	3	CT
P0335	Ventilación del motor	2	CT
P0640	Factor de sobrecarga del motor [%]	2	CUT
P0700	Selección de la fuente de órdenes	1	CT
P1000	Selección de la consigna de frecuencia	1	CT
P1080	Velocidad Mín.	1	CUT
P1082	Velocidad Máx.	1	CT
P1120	Tiempo de aceleración	1	CUT
P1121	Tiempo de deceleración	1	CUT
P1135	Tiempo de deceleración OFF3	2	CUT
P1300	Modo de control	2	CT
P1500	Selección consigna de par	2	CT
P1910	Cálculo de los parámetros del motor	2	CT
P1960	Selec. optimiz. control velocid.	3	CT
P3900	Fin de la puesta en servicio	1	C

❖ Consultar manual del variador SIEMENS MM440 para los detalles de cada comando.

Para seleccionar los parámetros a los que se accede. Este parámetro también permite la selección de una lista de parámetros definida por el usuario para la puesta en servicio. Al final de la secuencia de puesta en servicio, ajuste el P3900 = 1 para llevar a

cabo los cálculos del motor y borrar todos los demás parámetros (no incluidos en el P0010 = 1) a sus valores por defecto.

NOTA: Se requiere dar una partida para sintonizar el motor con el variador (El movimiento del motor debe ser mínimo para una correcta sintonía).
Una vez parametrizado el variador y el motor implementar la lógica de funcionamiento

Lógica de Funcionamiento

Para programar la botonera de **"Partida/Parada"** utilizaremos bloques libres y se programa el siguiente circuito lógico. (Se requiere programación BICO)

- **Primer paso** - Desconectar las entradas digitales (DIN1 y DIN2) del programa por defecto:

P0701 = 0,99 (libera entrada digital 0 para index1);
P0702 = 0,99 (Libera entrada digital 1 para index1);
Asigne parada de emergencia (Botón Zeta NC)
P0703 = 4,4 (OFF3 – Parada de Emergencia índex 0&1);
Programe el MOP
P0704 = 13,13 (MOP subida para índex 0&1);
P0705 = 14,14 (MOP Bajada para índex 0&1);
Libere la entrada digital 6
P0706 = 99,99 (Libera entrada digital 5 para índex 0&1);

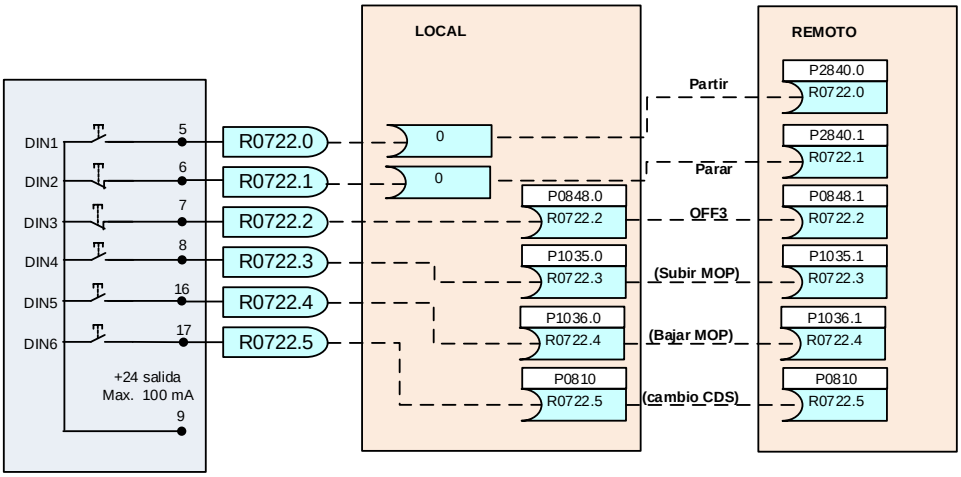
- **Segundo paso** - Activar los bloques libres:

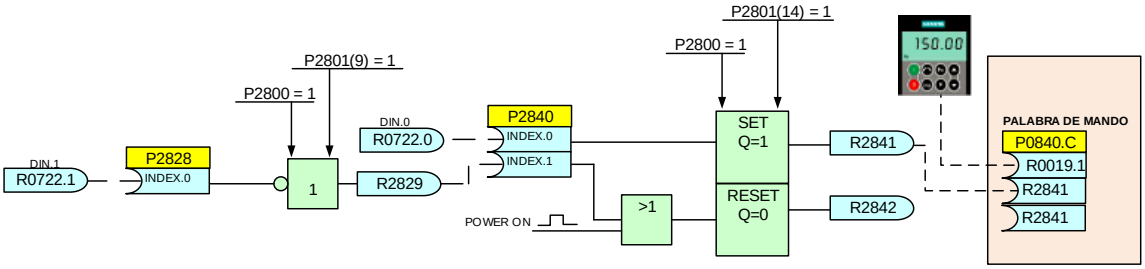
P2800 =1 (NOT (1))
P2801 (9) = 1 (FF-SR (1))
P2801 (14) = 1

- **Tercer paso** - Cablear los bloques :

P2828 =R0722.1
P2840 (0) = R0722.0
P2840 (1) = R2829
P0840[0] = R0019.1
P0840[1] = R2841
P0840[2]= R2841
P0810 = R0722.5 (asignar entrada digital 6 al comando 810 CDS Local/Remoto (Selección fuente de ordenes). Consulte parámetro R0050 –Juego CDS activo.

El esquema final debe quedar como se indica a continuación:





Conecte las salidas digitales como se indica en el siguiente diagrama lógico, recuerde cablear los **index0**, **index1** e **index2.**

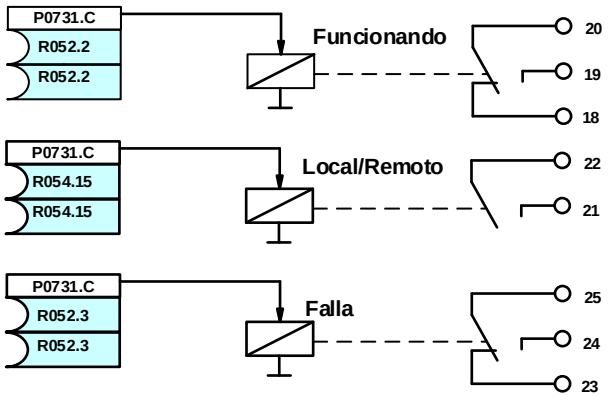
Conecte la fuente de consigna:

P1070 [0] = R1050 (P1000 = 1 mando local)

P1070 [1] = R1050 (P1000 = 1 Mando terreno discreto)

P1070 [2] = R0755.0 (P1000 = 2 Mando terreno 0-20 mA)

❖ Consulte los parámetros en el manual del VDF, identifique la "**PALABRA DE MANDO**" y la "**PALABRA DE ESTADO**"



Nota: Parámetros CDS (P0810 y P0811) juego de datos de órdenes.
Parámetros CDS (P0820 y P0821) juego de datos de convertidor.

Comprobación de la operación del equipo

a) Compruebe los botones de mandos.
b) Comprueba la operación LOCAL/REMOTO.
c) Compruebe paradas de emergencia en modo LOCAL & REMOTO
d) Verifique las corrientes en el motor para distintas frecuencias.
e) Verifique los voltajes en el motor para distintas frecuencias.
f) Verifique las RPM del motor según variador.

<u>Requisitos adicionales del requerimiento:</u>

Programación analógica:
En modo remoto, se requiere cambiar la consigna de velocidad a una señal de:
4 a 20 [mA].
4 mA = debe asignar un 50% de la velocidad
20mA = debe asignar un 100% de la velocidad
El arranque (PowerON) debe alcanzar la velocidad la velocidad dentro de los 10 seg.
<u>Desarrollo:</u>
Como todas las entradas digitales están ocupadas, utilizaremos la entrada análoga 2 (dos) como entrada digital para configurar tres fuentes de órdenes distintas
1 Modo local -> Mando por BOP
2 Modo Remoto1 -> Mando discreto y consigna por MOP
3 Mando Remoto2 -> Discreto y Consigna por señal de 4-20mA
Nota: Estudie plano funcional de las entradas análogas.

Conecte: señal discreta de 24V al terminal 10; Terminal 11 conectar con común terminal 28 (0 Volt)

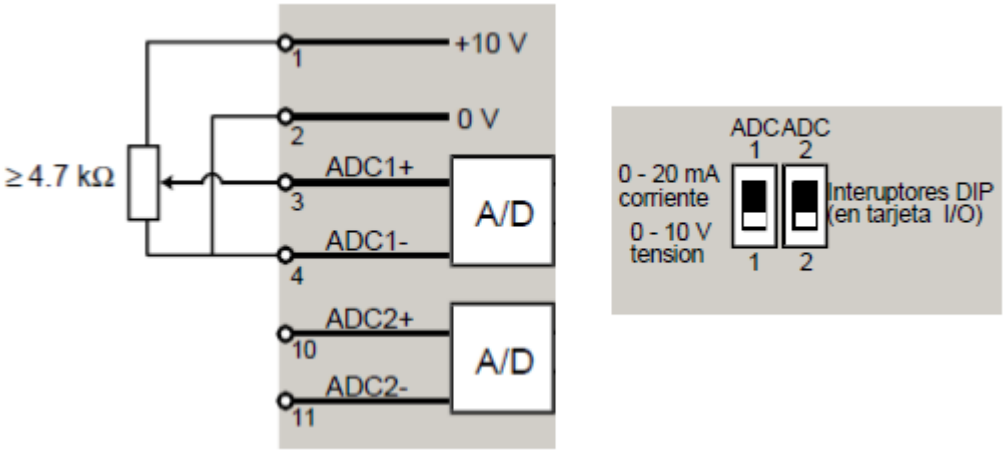


Figura : Bornera analógica
Para utilizar señal de 0-20mA conecte los interruptores como se indica:
ADC1 en ON -> 4 a 20 [mA]
ADC2 en OFF -> 0-10[Volt]
y asigne el parámetro
756[0] en “2” señal entrada de 0-20 mA
756[1] en “0” señal entrada tensión unipolar 0-10V

Asigne el parámetro P0811 a la señal digital R0722.8 (asignación de la fuente de ordenes CDS)
Conecte la señal del lazo de corriente en serie con la entrada análoga ADC1 (+ borne 3 y –borne4)

Segunda Comprobación de la operación del equipo

a) Compruebe los botones de mandos.
b) Comprueba la operación LOCAL/REMOTO.
c) Compruebe paradas de emergencia en modo LOCAL & REMOTO
d) Verifique las corrientes en el motor para distintas frecuencias.
e) Verifique los voltajes en el motor para distintas frecuencias.
f) Verifique las RPM del motor según variador.

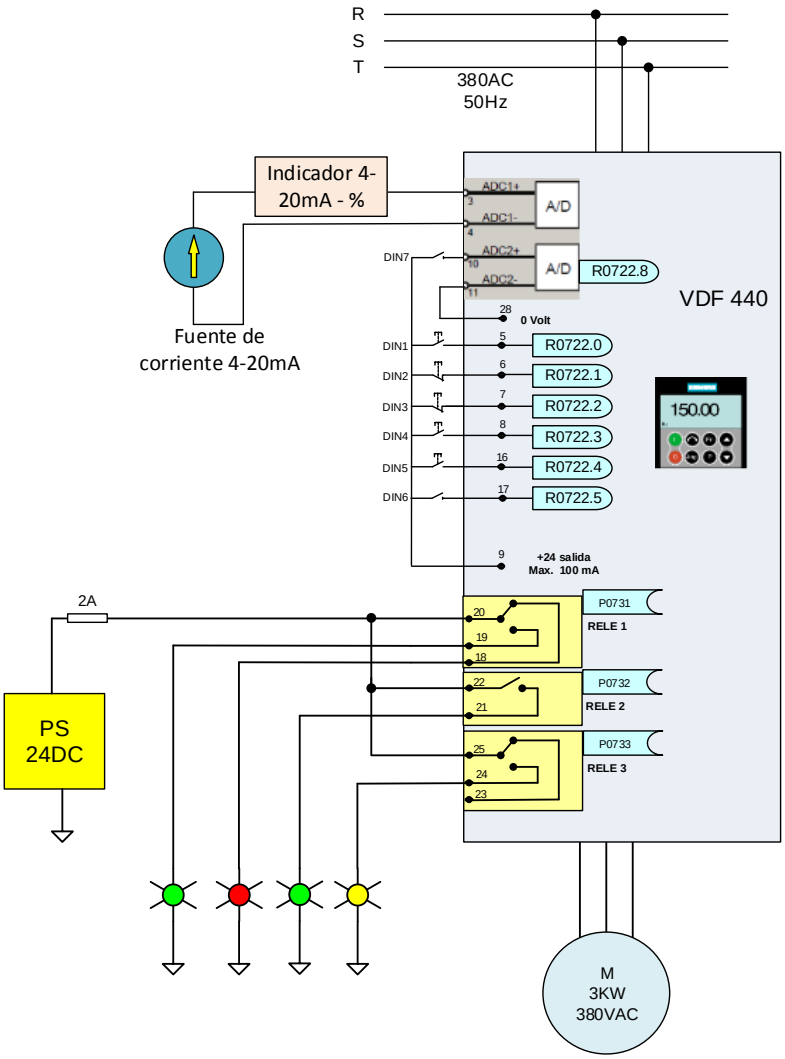


Figura : Conexionado Final de fuerza y control VDF MM440 - SIEMENS

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

AngloAmerican

ANTOFAGASTA MINERALS

BARRICK

bhpbilliton
resourcing the future

CODELCO
Orgullo de Todos

COLLAHUASI

FREEPORT-MCMORAN COPPER & GOLD

GLENCORE

KGHM
POLSKA MIEDŹ S.A.

LUMINA
COPPER CHILE

Teck

YAMANAGOLD