CCM
CONSEJO DE COMPETENCIAS MINERAS

Cuaderno del Instructor
Módulo 3: “Mantención de variadores de frecuencia”
PFMEI-4-04/V.1[PE01-M03/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……7

1. Máquinas de Corriente Alterna……10

1.1 Clasificación de los motores de inducción 11
1.2 Selección de velocidades nominales de motores de inducción..... 11
1.3 Efecto de la variación de voltaje sobre la velocidad de un motor ac 14

2. Electrónica de potencia……..... 18

2.1 Rectificadores no controlados..... 19
2.2 Rectificadores controlados 21
2.3 Inversores de corriente 23
2.4 Los armónicos 25
2.5 Clasificación y efectos de los armónicos 28

3. Variadores de frecuencia……31

3.1 El Convertidor del tipo VVI 31
3.2 Lógica de control del inversor 34
3.3 Explicación de la generación asincrónica. 39
3.4 Circuitos snubber (amortiguadores) 43
3.5 Armónicos 46
3.6 Estudio de la cem 48
3.7 Reglas de compatibilidad electromagnética 50
3.8. Funciones especiales de los variadores de frecuencia 51
3.9 Explicación del control vectorial de motores ac trifásicos 58
3.10 Conexiones eléctricas: 63
3.11 Recomendaciones para una correcta instalación de fuerza 66
3.12 Conexiones de control 70
3.13. Configuración del variador de frecuencia 73
3.14 Funcionamiento básico con el panel SDP o BOP 74
3.15 Funciones de puesta en marcha con el BOP / AOP 75
3.16 Control LOCAL /REMOTO y lógica de alambrado 78
3.17 Topologías de convertidores de frecuencia 80
3.18 Topología de 3 etapas con un sistema de 2400 vac 89
3.19 Configuración de un variador harmony 91

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 Instrumentista Especialista**

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 III: Mantención de Variadores de Frecuencia

VARIADORES DE FRECUENCIA

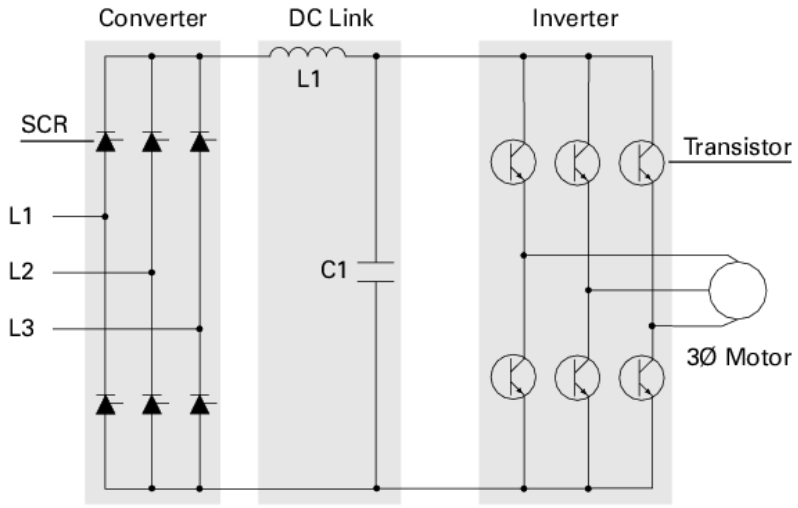


Figura 1

Objetivos

Al término de este módulo usted podrá:

- Describir la forma en que se controla un Motor AC con accionamientos modernos y a su vez comparar este esquema de control con los equipos existentes la industria minera.

- Programar el laboratorio un equipo moderno para controlar y accionar un motor ac con énfasis en los tópicos concernientes al mantenimiento.

- Utilizar las ecuaciones básicas y mínimas requeridas para aprovechar las características de programación de los VDF.

Recursos

- Texto Guía
- Manual de Programación de Variador de frecuencia estándar
- Equipos de Laboratorio
- Variador de Frecuencia
- Motor de Inducción Trifásico
- Protecciones y elementos menores tales como: automáticos, Botoneras, Luces, cables.

1. Máquinas de Corriente Alterna

Características de rotor nema

La National Electrical Manufacturers Association (NEMA) clasifica los motores de acuerdo al torque de rotor bloqueado (locked rotor torque), corriente, torque de aceleración (pull up torque), torque de quiebre (breakdown torque) y porcentaje de deslizamiento. En adición a lo anterior cuando se evalúa una aplicación, se debe considerar el torque a plena carga (full-load torque).

Nota: Muchos términos NEMA se aplican a motores que operan de líneas de alimentación de 60 Hz sin operación con variadores de velocidad.

Porcentaje de regulación de velocidad de un motor jaula.

$$\%Reg = \frac{N_S - N_r}{N_r} \cdot 100$$

Este $\%Reg$, es un indicador permite seleccionar motores tipo jaula frente a su velocidad nominal.
Es posible encontrar motores que tengan la misma cantidad de polos y frecuencia, y, sin embargo, la velocidad nominal de ellos es diferente.

Indudablemente el motor que tenga la velocidad de su rotor más cercana a la velocidad sincrónica es el mejor y este tendrá un porcentaje de regulación de velocidad más bajo, por ende el porcentaje de regulación se puede ver como un factor de calidad.

Definiciones

Torque de rotor bloqueado: (Locked rotor torque), también referido como torque de partida. Este torque se desarrolla cuando el rotor está detenido y se aplican voltaje y frecuencia nominal. Esta condición ocurre cada vez que el motor parte. Se debe recordar que cuando se aplica voltaje y frecuencia al estator existe un breve período de tiempo antes que el rotor comience a girar.

Corriente de rotor bloqueado: (Locked rotor current) también conocida como corriente de partida. Esta es la corriente que toma el motor de la línea de alimentación a voltaje y frecuencia nominal cuando el rotor está detenido.
Torque de aceleración: (Pull up torque) es el torque desarrollado durante la aceleración desde la partida al punto donde ocurre el torque máximo.

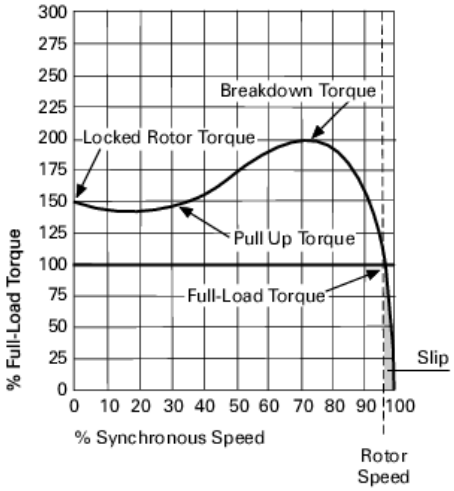
Torque máximo: (Breakdown torque) es el máximo torque que desarrolla un motor a voltaje nominal y a una velocidad tal que no ocurra una pérdida abrupta de velocidad.

Torque de plena carga: (Full-load torque) es el torque que desarrolla el motor cuando está operando a voltaje, frecuencia y corriente nominal.

Corriente de plena carga: (Full-load current) es la corriente que toma el motor de la línea de alimentación a voltaje, frecuencia y corriente nominal.

1.1 Clasificación de los motores de inducción

Los motores trifásicos AC se clasifican como NEMA A, B, C y D. NEMA especifica ciertas características de operación para los motores cuando a la partida se aplica voltaje y frecuencia nominal. Un Motor NEMA B, por ejemplo, generalmente requiere 600% de la corriente de nominal a la partida y 150% de torque de partida. Estas consideraciones no se aplican cuando los motores son accionados con una variador de velocidad. Los motores diseñados en norma NEMA B son los más comunes y aconsejables de utilizar con variadores de velocidad.



Característica torque velocidad de un motor de Inducción

Figura 2

Un gráfico similar al ilustrado en la figura 1 que muestra la relación entre la velocidad y el torque para un motor NEMA B. Cuando se aplica velocidad y frecuencia nominal, se alcanza inmediatamente el 100% de la velocidad sincrónica N_S. El motor debe realizar una cierta cantidad de trabajo para vencer la inercia propia y de la carga conectada. La velocidad de operación de un motor NEMA B es de aproximadamente el 97% de la velocidad sincrónica (3% de deslizamiento). La cantidad de deslizamiento y torque depende de la carga, por tanto, un incremento de carga redunda en un incremento del deslizamiento y del torque y viceversa.

Torque: El torque (T) es proporcional a constantes mecánicas del motor (k) al flujo (ϕ) y la corriente de trabaja (I_W). Un incremento del flujo (ϕ) o un incremento de la carga causan un incremento del torque.

$$T = k \cdot \phi \cdot I_W$$

1.2 Selección de velocidades nominales de motores de inducción

La velocidad del rotor de los motores de inducción tiene relación con la cantidad de polos de los devanados de estator, de la frecuencia de la corriente de alimentación que circule por estos devanados y de las características constructivas del mismo motor.

Como se ha estudiado en cursos anteriores un motor de inducción del tipo jaula de ardilla tiene un circuito de estator y un rotor compuesto de barras conectadas eléctricamente entre sí.

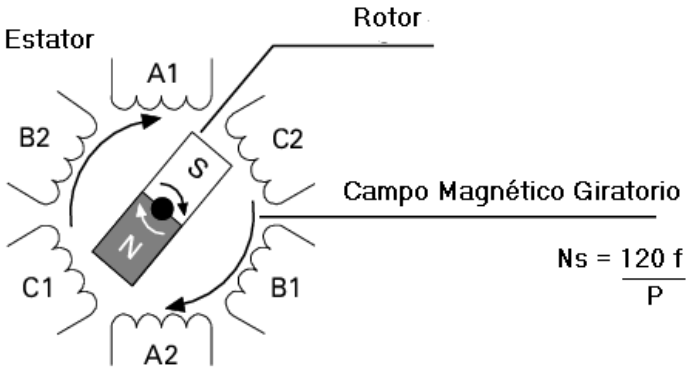


Figura 3

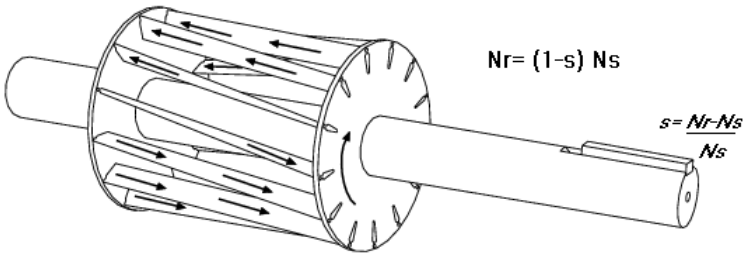


Figura 4

Motor de Inducción *(Por gentileza de Siemens S.A.)*

La velocidad del rotor de un motor jaula de ardilla se puede representar en las siguientes ecuaciones.

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

$$N_r = (1 - S)\,\frac{120 \cdot f}{P}$$

Dónde:

Nr : Velocidad del Rotor o velocidad en el eje del motor
Ns : Velocidad del campo magnético Giratorio o Velocidad Sincrónica
S : Deslizamiento
F : Frecuencia
P : Pares de polos.

Por lo tanto, la velocidad de un motor de inducción se puede variar mediante el cambio del número de polos ***P***, el deslizamiento **s** y la frecuencia ***f.*** De todos estos métodos el

que más se prefiere por su rango y flexibilidad es la variación de frecuencia de estator y de ahí el nombre de los accionamientos que realizan esta función y se denominan “Variadores de Frecuencia” o “Variadores de Velocidad”.

Circuito de un motor de inducción

El siguiente diagrama representa un circuito equivalente simplificado de un motor AC. El estudio de este diagrama es importante para entender como un motor de AC se comporta con un Variador de Frecuencia.

V_S : Voltaje de línea aplicado a los terminales del estator
R_S : Resistencia del estator
L_S : Inductancia del estator
I_S : Corriente de estator
E : Voltaje magnetizante del entrehierro
L_M : Inductancia de magnetización
I_M : Corriente de magnetización
R_R : Resistencia del rotor
L_R : Inductancia del rotor
I_W : Corriente que produce torque

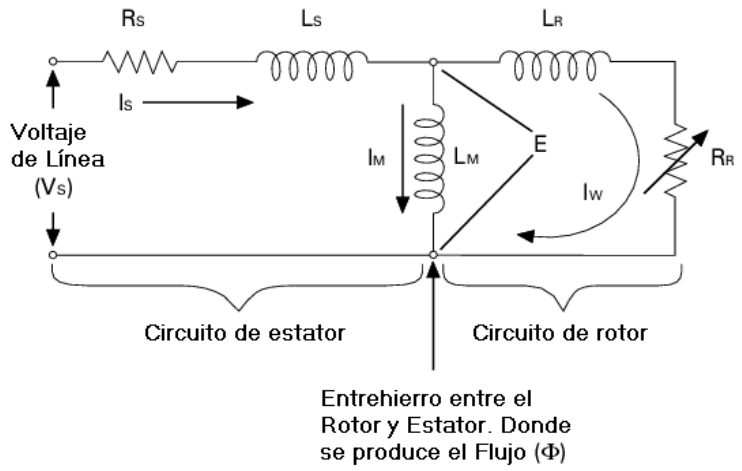


Figura 5

Circuito equivalente de un Motor de Inducción

Voltaje de Línea: El voltaje (**V**s) se aplica al estator desde la alimentación de poder AC. Se produce una caída de tensión en la resistencia de estator (**R_S**) y el voltaje resultante (**E**) representa la fuerza (**cfem**) disponible para producir el flujo magnetizante y el torque.

Corriente magnetizante (**I_M**): Esta corriente es responsable de producir las líneas de flujo que enlazaran el circuito del rotor. La corriente de magnetización típica es de alrededor del 30% de la corriente nominal del motor. La corriente de magnetización, como el flujo (ϕ), es proporcional al voltaje (E) y frecuencia (f).

$$I_M = \frac{E}{2\pi \cdot f \cdot L_M}$$

Corriente de Trabajo: la corriente que fluye en el circuito del rotor y produce torque se conoce como corriente de trabajo (**I**W). Esta corriente es función de la carga y un incremento en esta causa que el circuito del rotor incremente la corriente de trabajo (**I**W). Un decremento de la carga causa que el circuito del rotor del motor disminuya la corriente de trabajo (**I**W).

Corriente de estator: La corriente de estator (I_S) es la corriente que fluye en el circuito del estator. Esta corriente se puede medir en los terminales de entrada del motor y se conoce, también como corriente de línea del motor. La corriente de plena carga que aparece en la placa del motor se refiere a la corriente del estator a voltaje, frecuencia y carga nominal. Esta es la máxima corriente que el motor puede soportar sin daño en estado permanente. La corriente de estator es la suma vectorial de la corriente de magnetización (**I**M) y la corriente de trabajo (**I**W). Generalmente la corriente de magnetización (**I**M) permanece constante y la corriente de trabajo (**I**W) varía de acuerdo a la carga aplicada con el correspondiente cambio en la corriente de estator.

$$I_S = \sqrt{(I_M)^2 + (I_W)^2}$$

1.3 Efecto de la variación de voltaje sobre la velocidad de un motor ac

Voltaje y Frecuencia

Hasta este punto se ha examinado la operación de un motor AC cuando se alimenta con voltaje y frecuencia nominal. Muchas aplicaciones requieren que se pueda variar la velocidad del motor y la forma más común en estos momentos es utilizar un variador de frecuencia, sin embargo, se debe tener en cuenta que la sola variación de la frecuencia tiene efecto sobre la corriente y el torque del motor.

Volts/Hertz

La razón que existe entre el voltaje y la frecuencia del motor se conoce como volts por Hertz (V/Hz). Un motor típico fabricado en Estados Unidos es de 400 VAC y 60 Hz. La razón es $7{,}67$ volts por Hertz. No todos los motores tienen esta razón, por ejemplo un motor de 230 Volt, 60 Hz tienen una razón de $3{,}8\overline{3}$ V/Hz.

$$\frac{460\ V}{60\ Hz} = 7{,}67 \left[\frac{V}{Hz}\right]$$

$$\frac{230\ V}{60\ Hz} = 3{,}8\overline{3} \left[\frac{V}{Hz}\right]$$

El flujo (ϕ), la corriente de magnetización ($\mathbf{I}_M$) y el torque son dependientes de esta razón. Al incrementar la frecuencia (f) sin incrementar el voltaje (***E***) causan, por supuesto, un aumento de la velocidad. Sin embargo el flujo decrece causando que el torque del motor disminuya. La corriente de magnetización también decrece y por tanto la corriente del estator ($\boldsymbol{I}_S$). Estos decrementos están todos relacionados y afectan en gran medida la estabilidad del motor para manejar una carga dada.

$$\phi = \frac{E}{f}$$

$$T = k \cdot \phi \cdot I_W$$

$$I_M = \frac{E}{2\pi \cdot f \cdot L_M}$$

Los motores AC que se conectan directamente a la línea operan con un flujo (ϕ) constante porque le voltaje y la frecuencia son constantes. Los motores que trabajan con flujo constante se dice que tienen torque constante. El torque producido, sin embargo está determinado por la demanda de la carga.

$$T = k \cdot \phi \cdot I_W$$

Un variador de frecuencia es capaz de operar un motor con flujo constante (ϕ) desde aproximadamente cero (0) a la frecuencia nominal (típico 50 o 60 Hz). Este es el rango de torque constante. Por lo tanto, si se mantiene constante la relación V/Hz el motor trabajara con la característica de torque constante. Un variador de frecuencia cambia la frecuencia para variar la velocidad del motor y a su vez el voltaje en forma proporcional para mantener constante el flujo. Las siguientes figuras ilustran la razón V/Hz de un motor de 460 V, 60 Hz y un motor de 230 V, 60 Hz.

Para operar un motor de 460 V al 50% de la velocidad con la razón correcta, el voltaje y frecuencia aplicado al estator deben ser de 230 V y 30 Hz. Para operar el motor de 230 V al 50% de la velocidad con la razón V/Hz correcta, el voltaje y frecuencia aplicado al estator deben ser de 115 V y 30 Hz. La razón voltaje frecuencia se pude mantener para cualquier velocidad hasta la frecuencia nominal, en este caso 60 Hz. Esto usualmente define el límite superior para el rango de torque constante.

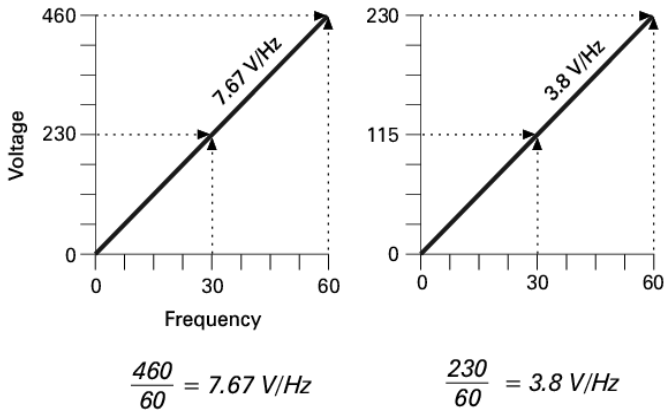


Figura 6

característica V/f

Algunas aplicaciones requieren que el motor opere sobre la velocidad base. La naturaleza de estas aplicaciones requiere menos torque a mayores velocidades. El voltaje, sin embargo, no puede ser mayor que el de alimentación y, además no se debe sobrepasar el nominal del motor para no dañar su aislación. Lo anterior se puede ilustrar utilizando un motor de 460 V 60 Hz. El voltaje permanecerá constante para cualquier velocidad sobre los 60 Hz. Un motor que trabaja sobre la frecuencia nominal está en la región conocida como Potencia Constante. La relación V/Hz constante se mantiene hasta los 60 Hz. Sobre los 60 Hz la razón V/Hz decrece y, por lo tanto, también el flujo (ϕ) y el torque (T).

Torque en función de la frecuencia.

Frecuencia [Hz]	$\left[\frac{V}{f}\right]$
30	7,67
60	7,67
70	6,60
90	5,10

Tabla 1

El flujo (ϕ) y el torque $T = k \cdot \phi \cdot I_W$ decrecen.

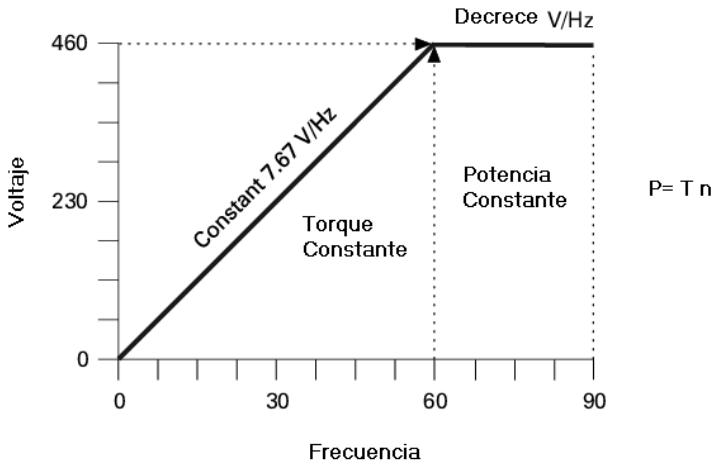


Figura 7

Característica V/f torque constante y potencia constante

Sobre la frecuencia nominal la Potencia se mantiene constante, la velocidad (*N*) se incrementa y el torque decrece proporcionalmente.

Un Motor NEMA B con partida directa desarrolla aproximadamente a la partida un 50% de torque y un 900% de la corriente nominal. Una partida con variador de frecuencia reduce la corriente a aproximadamente al 100% de la nominal y desarrolla el 100% del torque de partida. Con un variador de frecuencia la curva torque velocidad se desplaza a la derecha a medida que el voltaje y la frecuencia se incrementan. Las líneas punteadas de la siguiente figura representan la porción de la curva que no utiliza el variador de velocidad. El variador parte y acelera el motor suavemente con la razón V/Hz hasta que se alcanza la velocidad deseada. Un variador de frecuencia dimensionado correctamente es capaz de entregar el 150% de torque a cualquier velocidad hasta la velocidad nominal del motor.

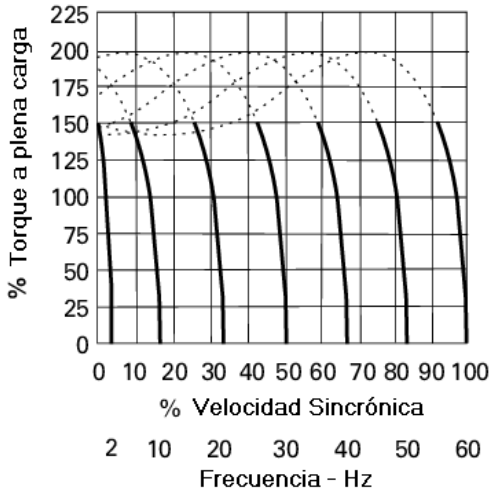


Figura 8

Característica torque velocidad con frecuencia variable

Algunas aplicaciones requieren torques de partida mayores del 150%. Por ejemplo una correa transportadora, puede requerir el 200% del torque nominal para la partida. Si un motor es capaz de desarrollar el 200% de torque al 200% de la corriente, y si el variador es capaz de entregar el 200% de la corriente entonces es posible alcanzar el 200% del torque del motor. Generalmente los variadores pueden entregar el 150% de la corriente nominal del equipo por un minuto, por lo tanto para alcanzar el objetivo de una corriente del 200% se debe elegir un accionamiento con una corriente nominal superior a la del motor a ser accionado.

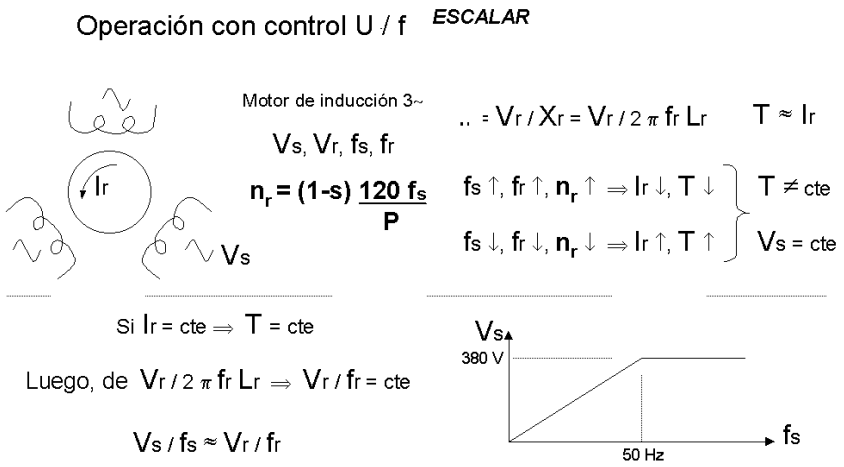


Figura 9

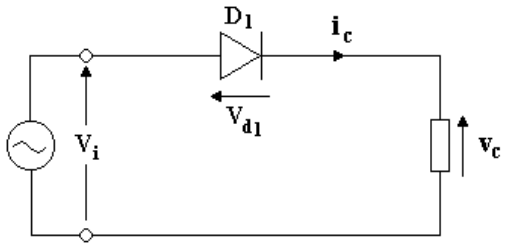
Control escalar

2. Electrónica de potencia

Los equipos de accionamiento electrónico de motores ac (VDF y Partidores suaves) utilizan distintas configuraciones de rectificadores, estos pueden ser no-controlados y controlados, todos utilizan rectificadores trifásicos, aunque la mayoría de estos dan la oportunidad (solo VDF) de funcionar en una configuración monofásica, por lo que el rectificador trifásico interno sólo queda a dos fases, no implicando para nada algún tipo de problema si este fue configurado para tal fin.

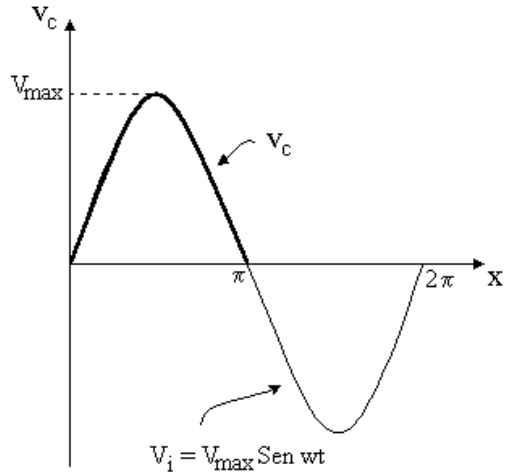
A continuación se presenta las configuraciones de los tipos de rectificadores no-controlados y controlados típicos.

2.1 Rectificadores no controlados.



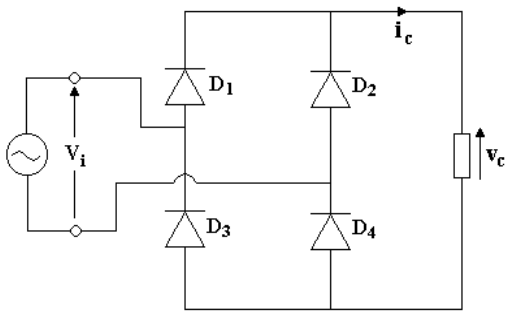
$$\bar{v}_c = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot V_{ef} = 0{,}45 \cdot V_{ef}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_{ef}}{\sqrt{2}}$$



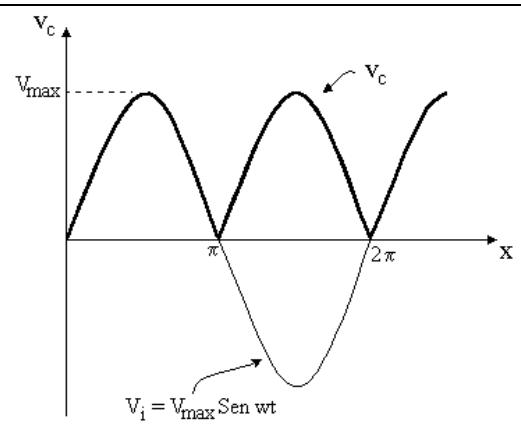
Rectificador monofásico de media onda

Figura 10

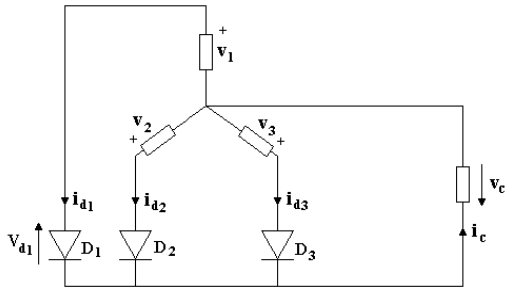


$$\bar{v}_c = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot V_{ef}}{\pi} = 0{,}9 \cdot V_{ef}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = V_{ef}$$

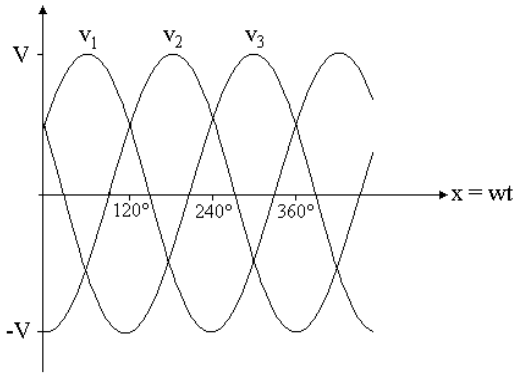


Rectificadores monofásicos de onda completa
Figura 11

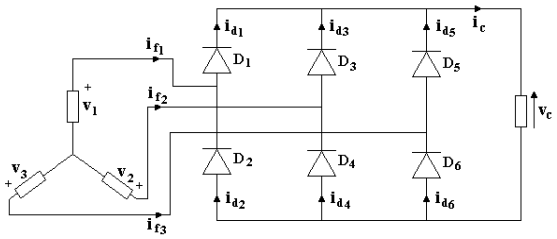


$$\bar{v}_c = 1{,}17 \cdot V_{ef}$$

$$V_{RMS} = 1{,}19 \cdot V_{ef}$$

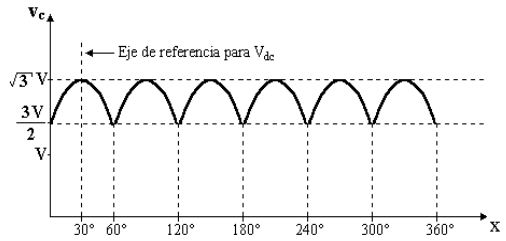


Rectificador trifásico de media onda
Figura 12



$$\bar{v}_c = 2{,}34 \cdot Vef$$

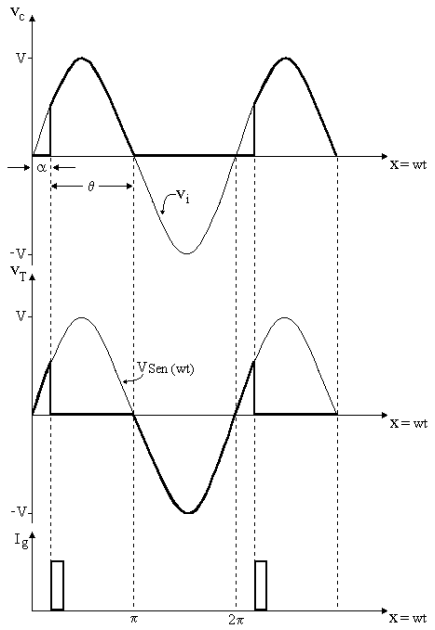
$$V_{RMS} = 2{,}38 \cdot V_{ef}$$



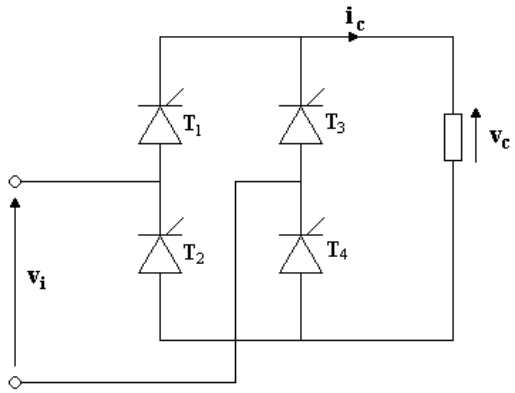
Rectificador trifásico de onda completa (Puente 3□)
Figura 13

2.2 Rectificadores controlados

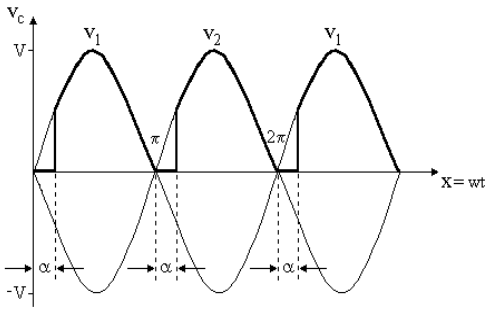
$$\bar{v}_c = \frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_{\alpha}^{\pi} V\cdot Sen(x)\cdot dx = \frac{V_{ef}}{\sqrt{2}\cdot\pi}\cdot(1+Cos\alpha)$$



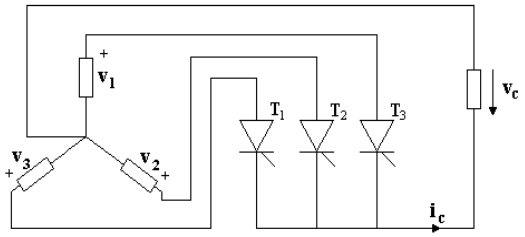
Rectificador monofásico de media onda
Figura 14



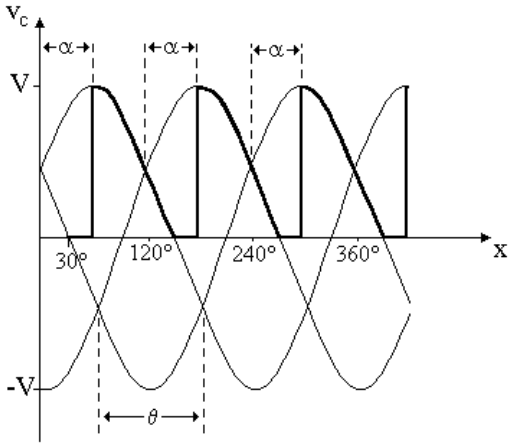
$$\bar{v}_c(\alpha) = \frac{1}{2\cdot\frac{\pi}{3}}\cdot\int_{-60°+\alpha}^{60°+\alpha} V\cdot Cosx\cdot dx = 1{,}17\cdot V_{ef}\cdot Cos\alpha$$



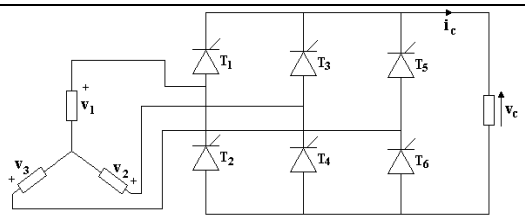
Rectificador monofásico tipo puente
Figura 15



$$\bar{v}_c = \frac{1}{2\cdot\frac{\pi}{3}}\cdot\int_{-60°+\alpha}^{90°+\alpha} V\cdot Cos(x)\cdot dx = 0{,}675\cdot V_{ef}\cdot\left(1+Cos(\alpha+30)\right)$$



Rectificador trifásico de media onda
Figura 16



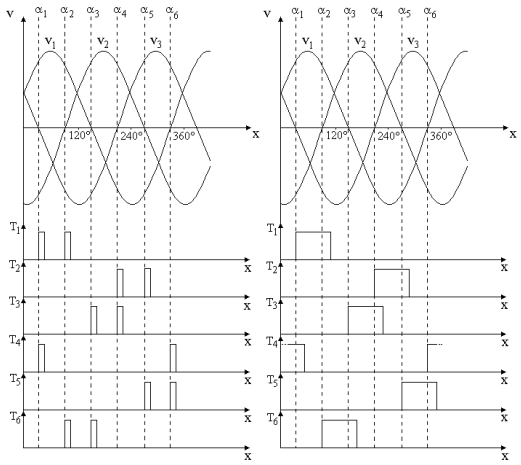


Figura 17

Rectificador trifásico tipo puente

2.3 Inversores de corriente

Para nuestro caso podemos considerar los siguientes interruptores de estado sólido: Diodos, SCR, DIAC, GTO, BJT, FET e IGBT, tal como se muestran en la figura donde están representados por su respectivo símbolo.

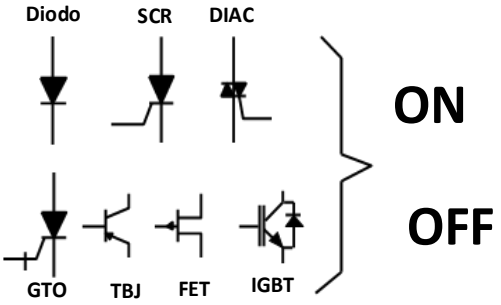
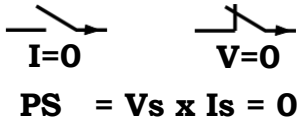


Figura 18

Interruptores de estado sólido

Estos componentes solo pueden estar ON y OFF (Encendidos o Apagados)

En un interruptor si la corriente es cero, la potencia es cero. Si el voltaje es cero la potencia disipada es cero. Siempre en un interruptor la potencia teórica disipada es cero. Este concepto, es la niña bonita de la electrónica de potencia



Para los dos casos, en teoría, la potencia disipada por el interruptor es = Cero

Figura 19
Potencia en interruptor ideal

De todos los interruptores de estado sólido mencionados anteriormente el **IGBTs** (Insulated Gate Bipolar Transistor o Transistores Bipolares de Compuerta Aislada) proporcionan una alta velocidad de conmutación necesaria para la operación en PWM. Los IGBTs son capaces de conmutar varias miles de veces en un segundo. Un IGBT se puede cerrar en menos de 400 nanosegundos y abrir en aproximadamente 500 nanosegundos. Un IGBT consiste de un Gate, Colector y Emisor y cuando un voltaje (típico +15 VDC) se aplica entre gate y emisor el IGBT se cierra y la corriente fluye entre colector y emisor. Un IGBT se corta o desconecta cuando se retira el voltaje aplicado entre gate y emisor. Durante el estado de apagado generalmente se mantiene un voltaje negativo (-15 VDC) entre gate y emisor para asegurar la no conducción.

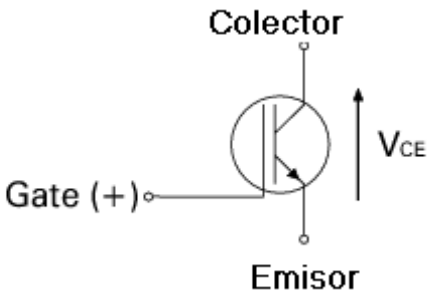


Figura 20

IGBT

En el siguiente ejemplo se muestra una fase de una salida trifásica del inversor que genera una forma de onda de voltaje AC para el motor. La forma de onda que se alterna entre positivo y negativo se consigue abriendo y cerrando los interruptores que reemplazan los IGBTs. Por ejemplo, durante los pasos uno y dos se cierran A+ y B- por lo tanto el voltaje de salida entre A y B es positivo. Durante el paso tres se cierran A+ y B+ y como la diferencia de potencial es cero el voltaje de salida también es cero. Durante el paso cuatro se cierran A- y B+, por tanto el voltaje entre A y B es negativo. El voltaje depende del valor del voltaje DC y la frecuencia depende de la velocidad de conmutación de los IGBTs. Una forma de onda seno se ha sumado al gráfico para mostrar que el inversor simula esta señal AC.

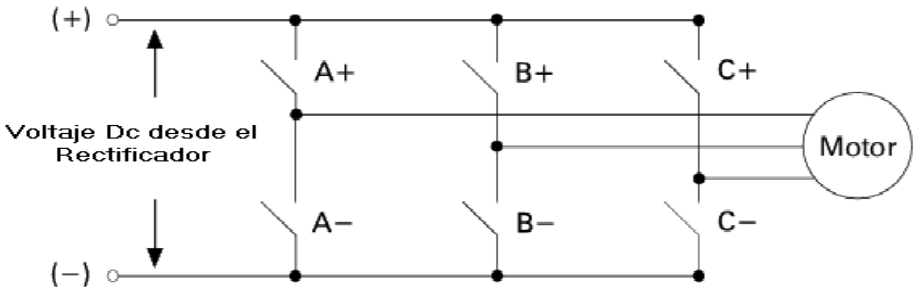


Figura 21

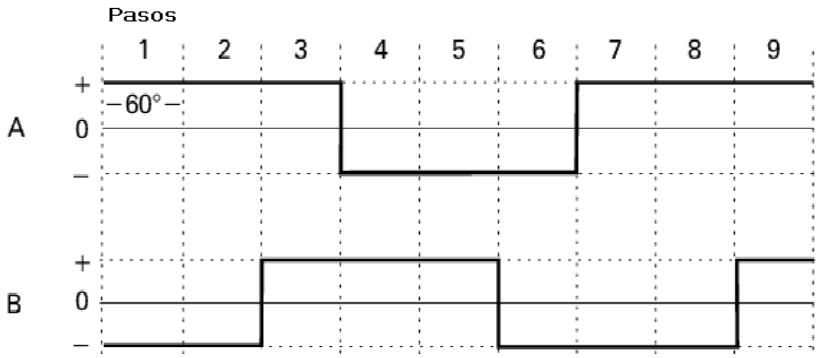


Figura 22

Forma de onda de una fase de salida del Inversor

2.4 Los armónicos

Actualmente, en los edificios de oficinas y en las fábricas está ocurriendo algo casi misterioso. Transformadores que suministran cargas aparentemente normales se sobrecalientan de modo inexplicable. Los conductores neutros de algunos circuitos perfectamente equilibrados se sobrecalientan a causa de cargas excesivas. Algunos automáticos saltan sin razón aparente y, sin embargo, los procesos de localización de averías indican que no hay nada anormal.
Entonces ¿cuál es el problema…? Sencillamente - **¡los armónicos!**

Con la nueva tecnología surgen nuevos retos

Nota: Las siguientes imágenes y párrafos son gentileza de Fluke.

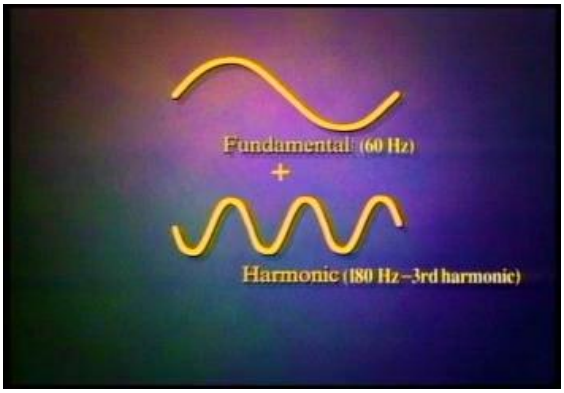
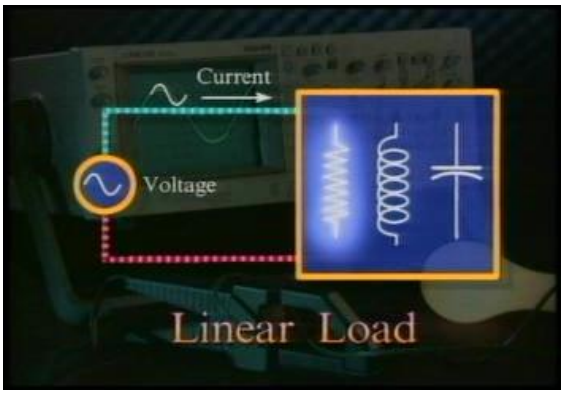


Figura 23

Onda sinusoidal + tercera armónica

Los armónicos son los subproductos de la electrónica moderna. Se manifiestan especialmente donde hay un gran número de ordenadores personales, motores de velocidad regulable y otros equipos que absorben comente en forma de impulsos cortos.



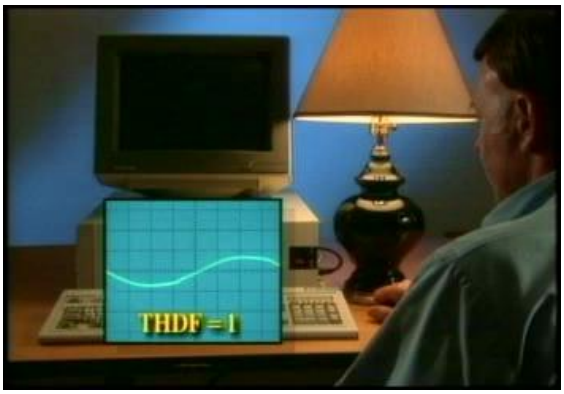


Figura 24

Circuito eléctrico con carga lineal

Estos equipos están diseñados para absorber corriente durante sólo una fracción controlada de la onda de tensión de alimentación. Esto, provoca armónicas en la comente

de carga y, con ello, el sobrecalentamiento de transformadores y conductores neutros y el disparo de interruptores automáticos.

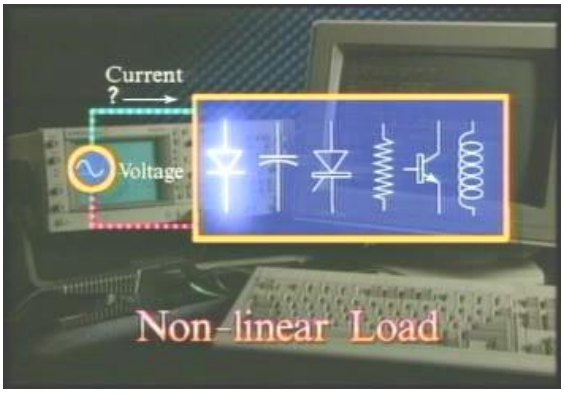


Figura 25

Circuito eléctrico con carga no-lineal.

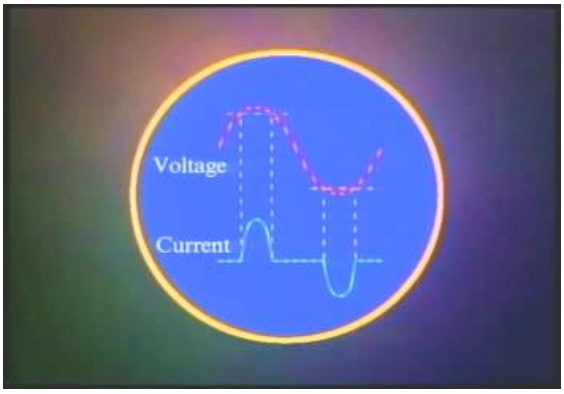


Figura 26

Absorción de corriente a impulsos por circuitos rectificadores.

El problema es aún más evidente si observamos la forma de onda. La tensión de una línea normal a 50 ciclos aparece en el osciloscopio como una onda casi sinusoidal; en cambio, cuando hay armónicos, la onda aparece distorsionada

Decimos que estas ondas son no sinusoidales. Las formas de onda de tensión y de corriente ya no presentan una relación simple entre sí, de ahí el término “no lineales” que se les aplica.

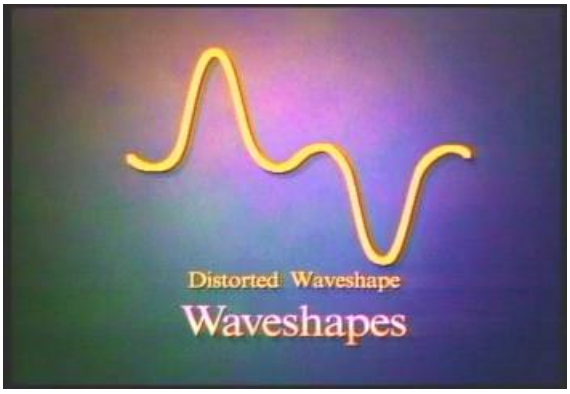


Figura 27

Onda distorsionada por el tercer armónico.

Cómo llegar a la raíz del problema

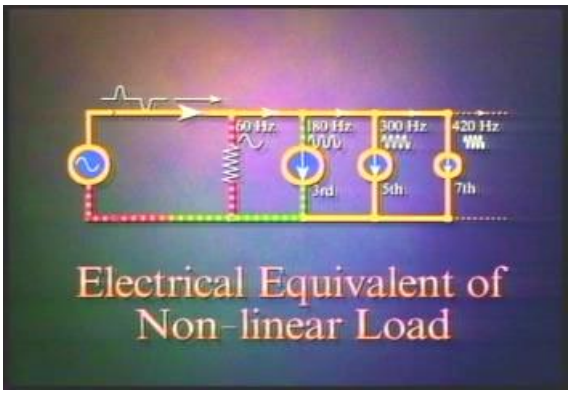


Figura 28

Circuito equivalente con fuentes de corrientes a frecuencias armónicas.

Localizar el problema es relativamente fácil una vez se conoce qué es lo que hay que buscar y dónde buscarlo. Normalmente, los síntomas de los armónicos no son precisamente sutiles. En este manual se dan algunas pautas básicas para descubrir las armónicas y unas cuantas sugerencias sobre el modo de resolver el problema.

No obstante, deberá usted encargar a un experto que analice las instalaciones y trace un plan para su situación específica.

La tensión de red y los tipos de tomas de corriente pueden variar según el país.

2.5 Clasificación y efectos de los armónicos

Los armónicos se clasifican por su Nombre, frecuencia y secuencia en relación a su onda componente fundamental.

Para ondas alternas distorsionadas (sin componente continua) los armónicos resultantes solo estarán en números impares, como muestra la figura.

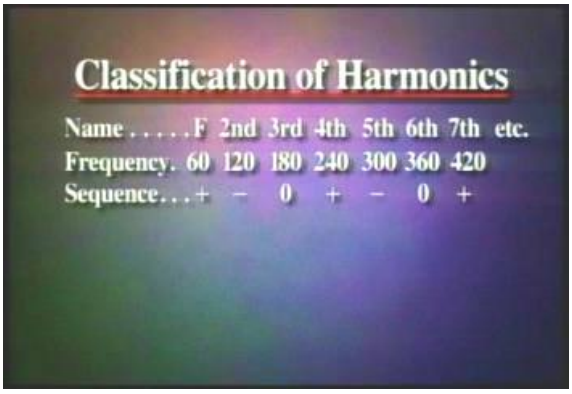


Figura 29

Clasificación de armónicos.

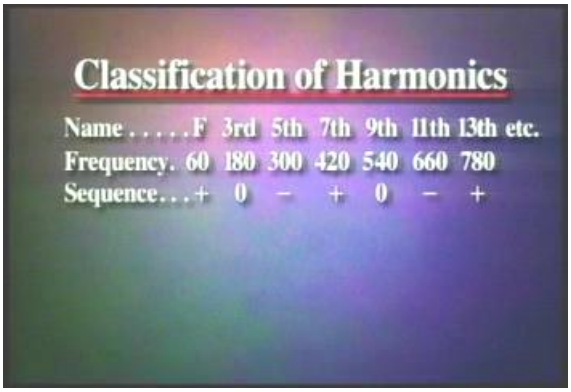


Figura 30

Armónicos impares.

Los armónicos en base a su frecuencia los podemos hallar como: de secuencia positiva, negativa y cero o Trippplens.

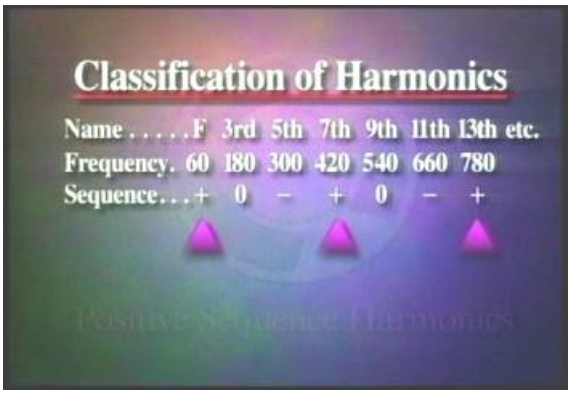


Figura 31

Armónicos de secuencia positiva.

Figura 32

Efectos en un motor por causa de los armónicos de secuencia positiva

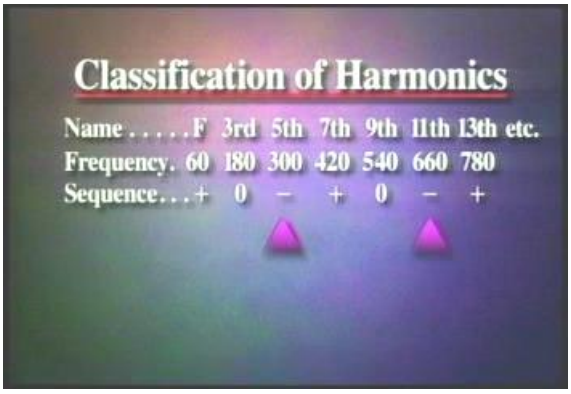


Figura 33

Armónicos de secuencia negativa

Figura 34

Efectos en un motor causados por armónicos de secuencia negativa

Los armónicos de secuencia negativa principalmente ocasionan que los motores se caliente peligrosamente y se retrasen en relación a su velocidad nominal, el problema es que las protecciones eléctricas convencionales no discriminarán este problema y no protegerán al motor.

Existe los armónicos de secuencia cero o Tripulen, los que se suman en el conductor neutro ya que carecen de fase, ocasionando que la corriente el neutro sea distinto de cero, aun estando las cargas equilibradas.

Aparte la corriente de neutro llega a tener una frecuencia del triple de la fundamental, de ahí su nombre, y una magnitud que llega a ser de un 130% de las corrientes de cada fase.

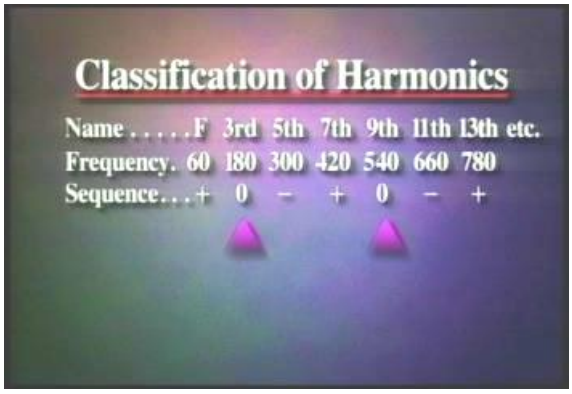


Figura 35

Armónicos de secuencia cero o Tripplens

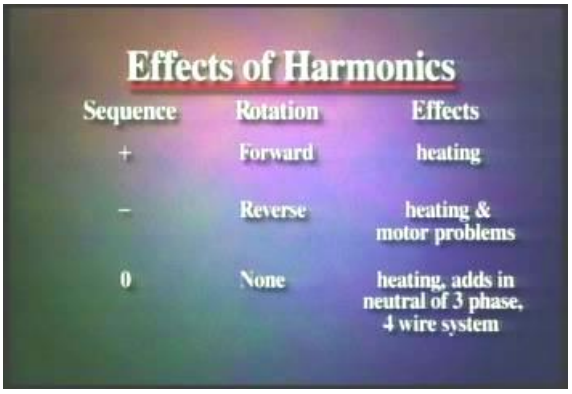


Figura 36

Efectos de los armónicos en motores eléctricos de ca.

Uno de los principales problemas que tiene el personal de terreno es no disponer de los instrumentos adecuados para resolver o detectar los problemas que ocasionan los armónicos de corriente y voltaje.

Por eso se hace indispensable poseer instrumentos que midan verdaderamente el valor eficaz de una onda periódica alterna.

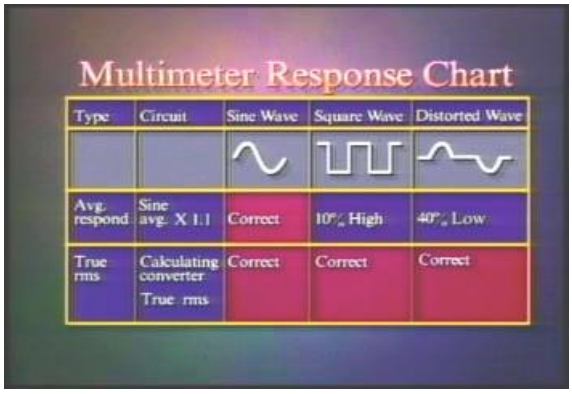


Figura 37

Efectos en la medición de magnitudes eléctricas en tester digitales

Los instrumentos baratos no miden valor eficaz sino valor medio.

Ellos para ondas senoidales casi puras no ofrecen inconvenientes en la lectura, pero para ondas distorsionadas o no sinusoidales, las lecturas pueden llegar a ser muy erróneas.

Como por ejemplo para una onda cuadrada la lectura de un voltímetro convencional puede llegar a ser un 10% más alto de lo que debe ser y para onda distorsionadas un 40% más bajo del verdadero valor eficaz.

En conclusión es necesario disponer de los instrumentos adecuados para tales efectos y no subdimensionar un problema el problema de los armónicos.

Figura 38

Tester digital capaz de leer el verdadero valor eficaz.

3. 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 Voltage Inverter”, Inversor fuente de corriente (CSI) “Current Source Inverter” y por modulación por ancho de pulsos (PWM) “Pulse Width Modulation”.

3.1 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.

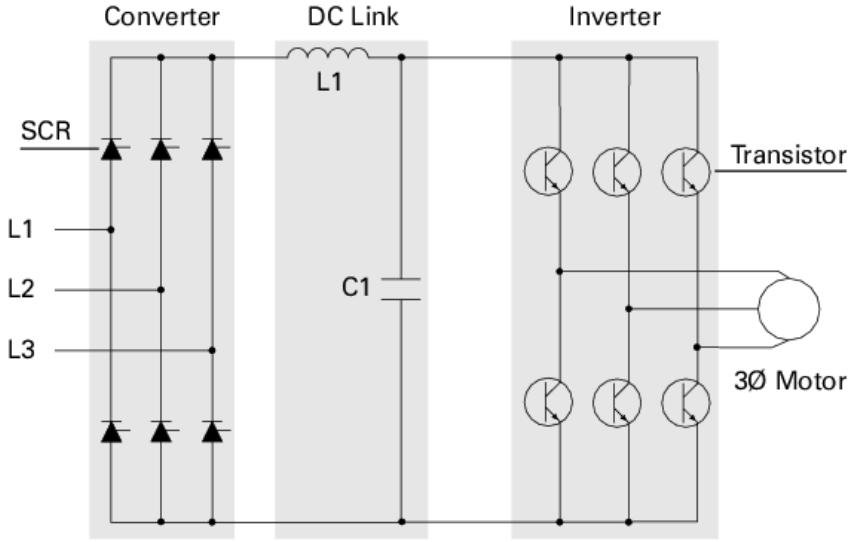


Figura 39

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.

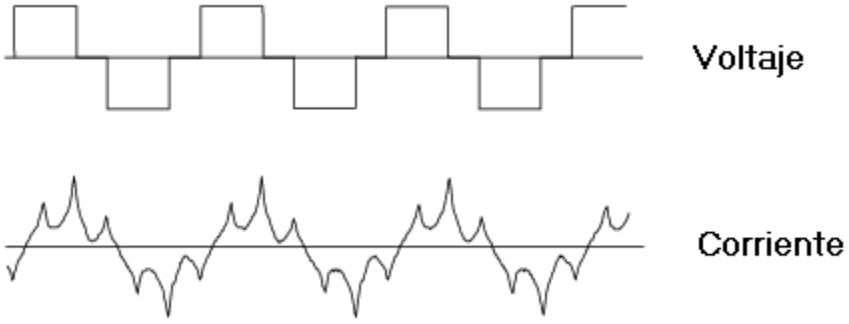


Figura 40
Forma de Onda de voltaje y corriente a la salida de un VDF

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.

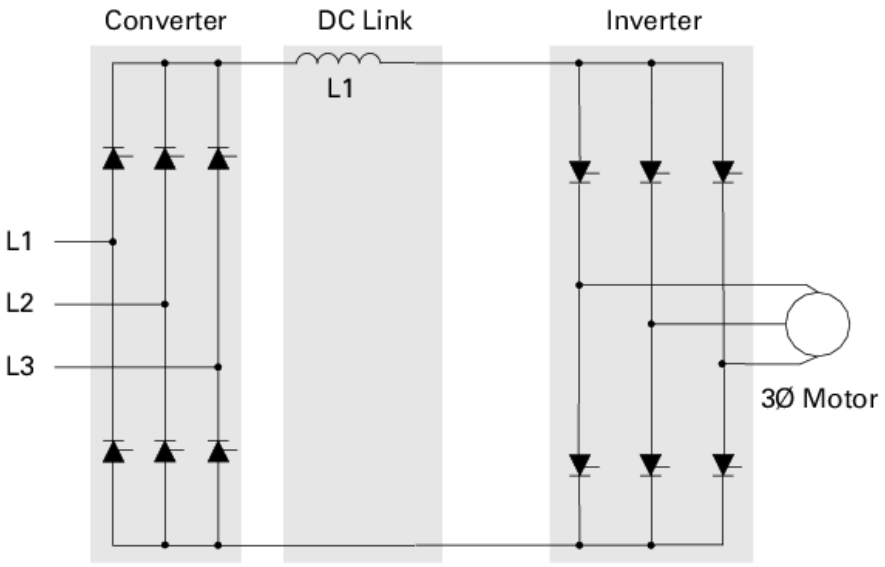


Figura 41

Convertidor de Frecuencia CSI

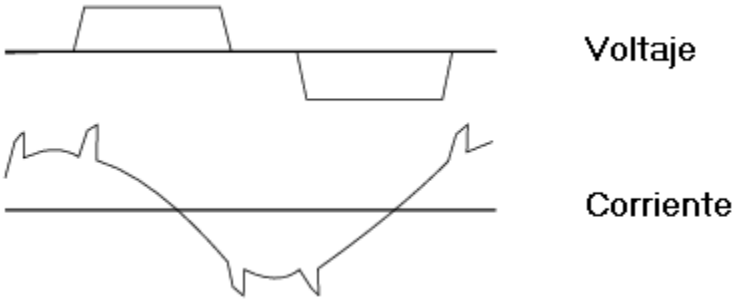


Figura 42

Onda eléctrica del Convertidor de Frecuencia CSI

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)

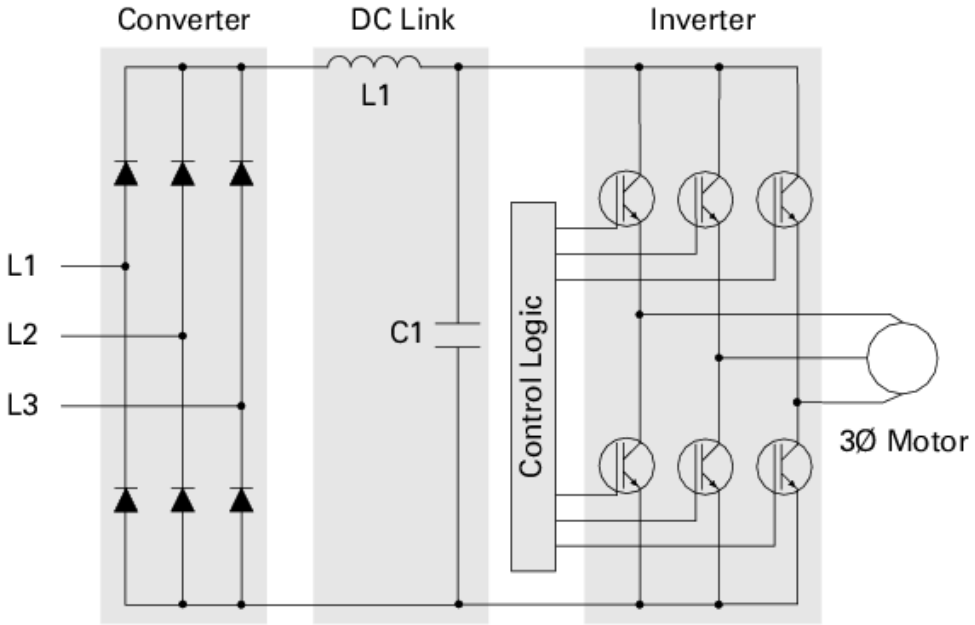


Figura 43

Convertidor de Frecuencia PWM

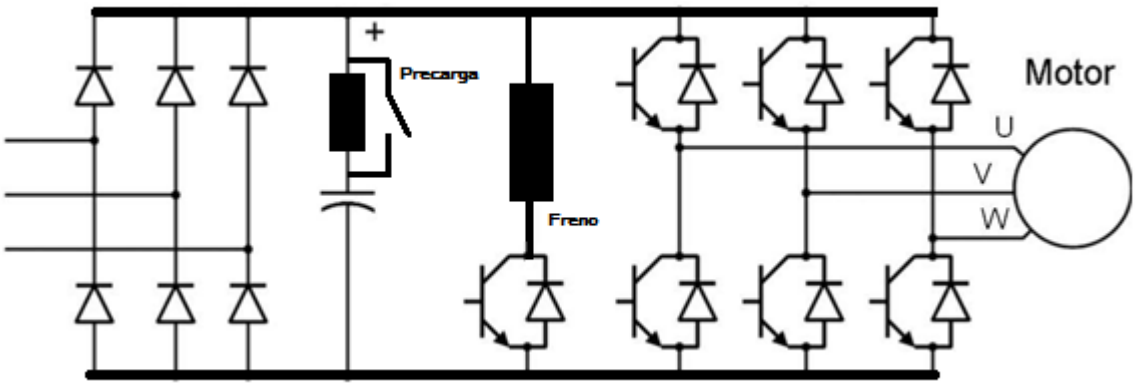


Figura 44

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.

3.2 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.

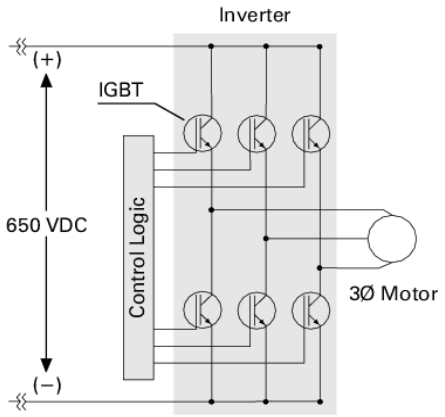


Figura 45

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.

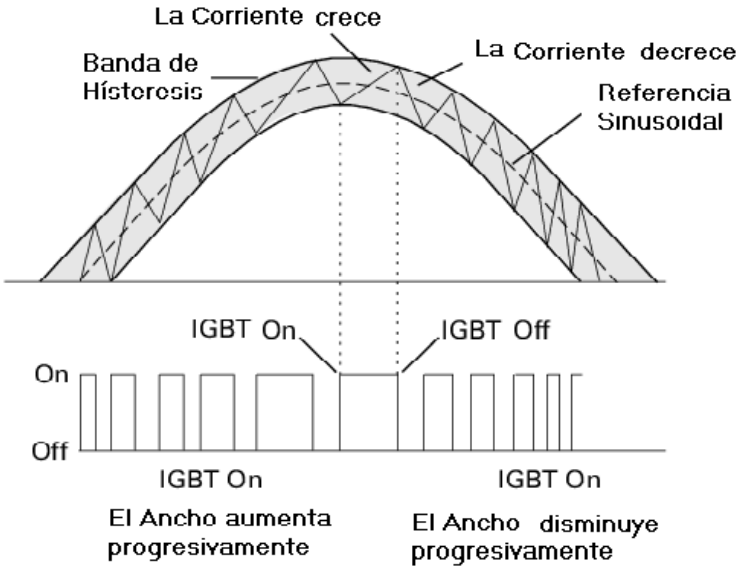


Figura 46

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.

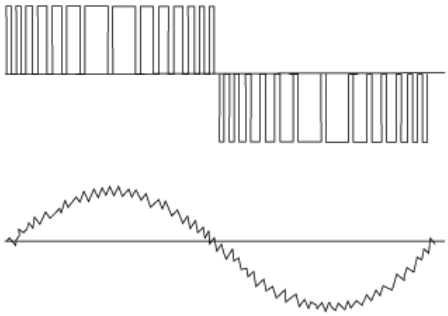


Figura 47

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.

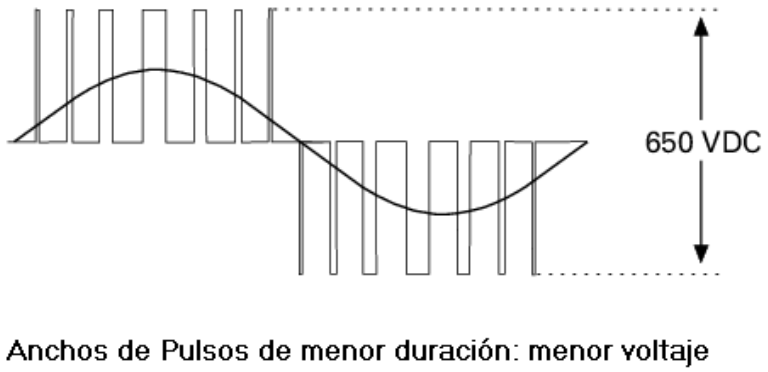


Figura 48

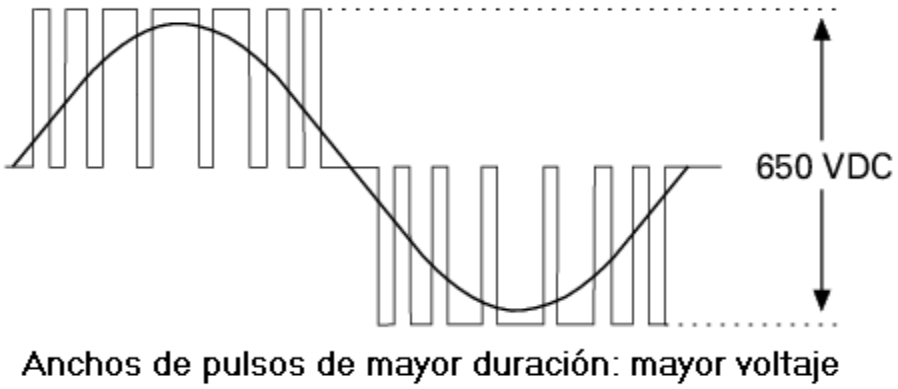


Figura 49

Control vectorial

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

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.

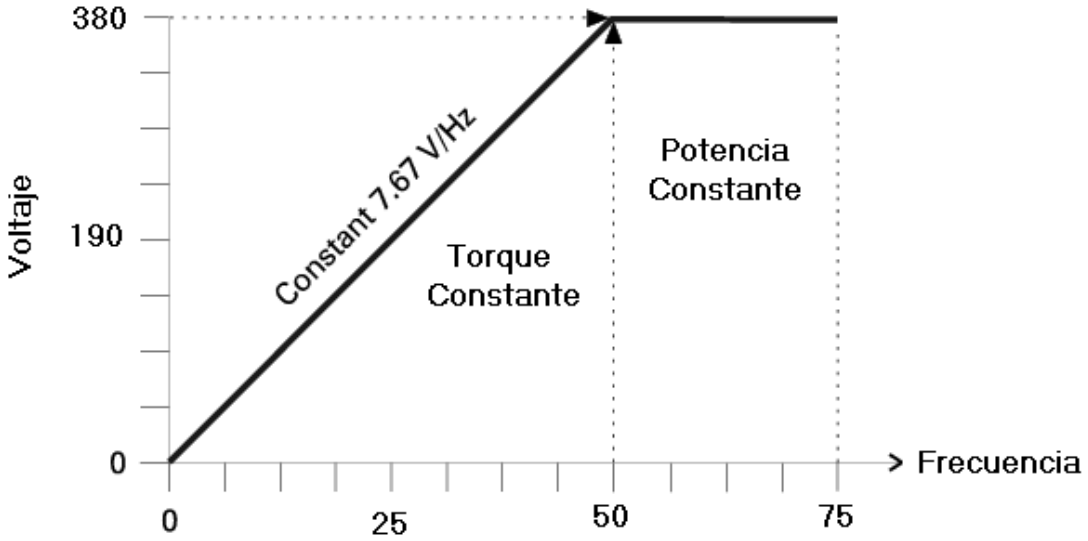
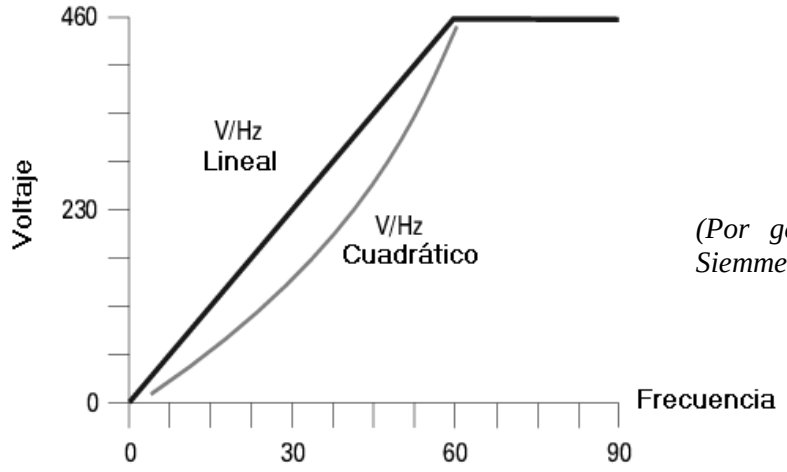


Figura 50

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 Siemmens S.A.)

Figura 51
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.

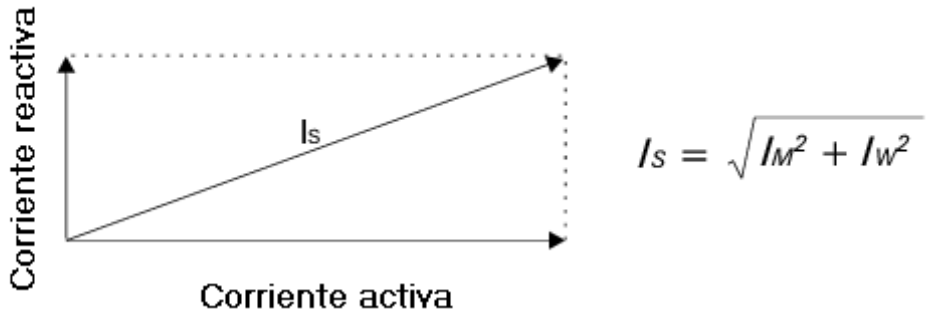


Figura 52

Modo de Control FCC

3.3 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 53

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 solo 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:

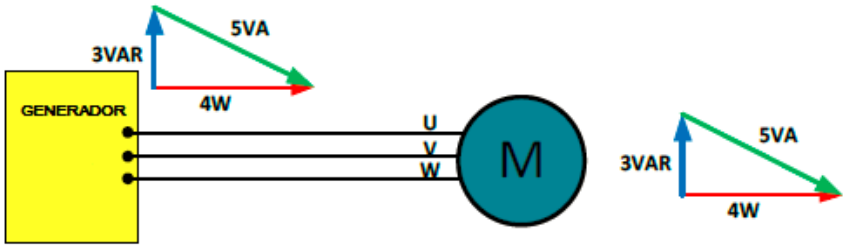


Figura 54

En este caso el requerimiento del motor es 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

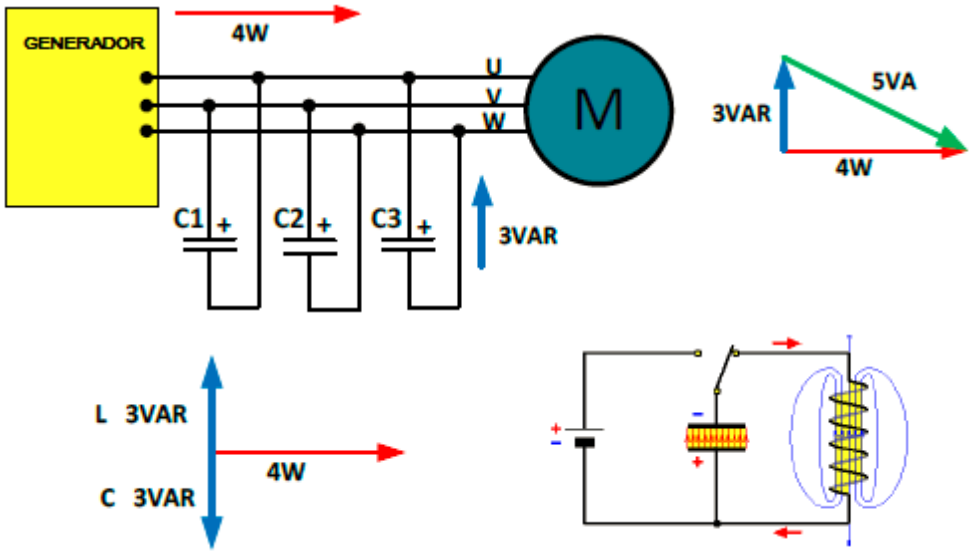


Figura 55

Ahora que el motor esta compensado, el generador entrega de manera permanente solo 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).

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.

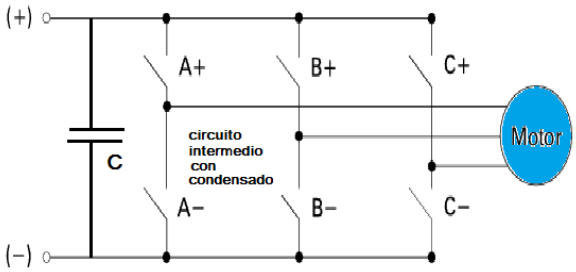


Figura 56

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

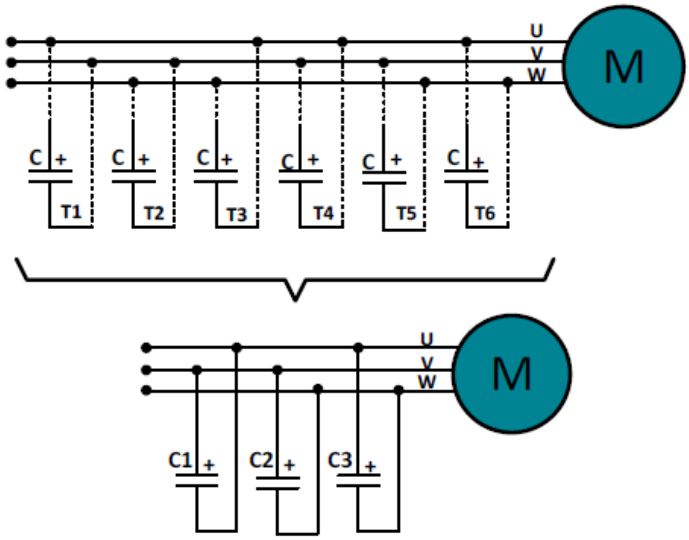


Figura 57

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.

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.

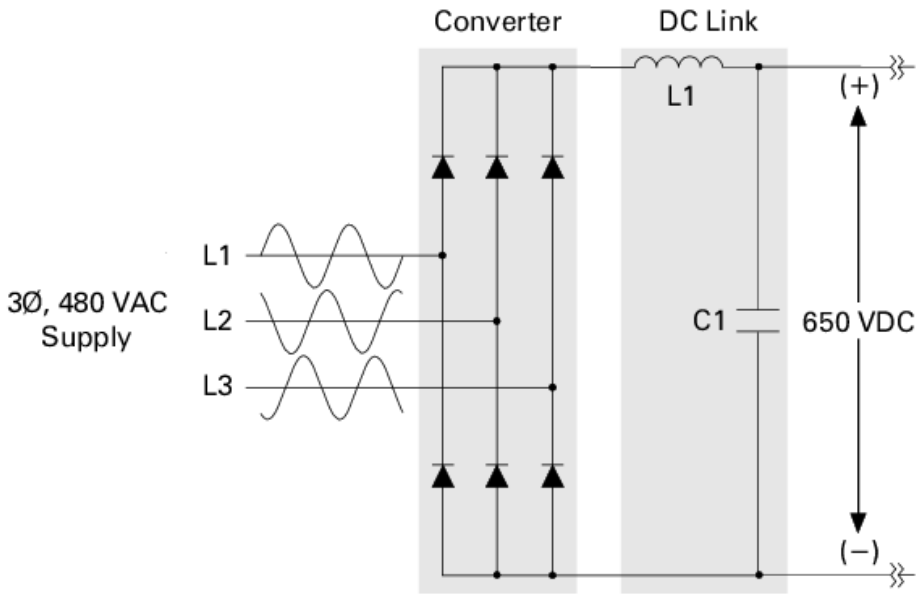


Figura 58

Rectificador y enlace DC

3.4 Circuitos snubber (amortiguadores)

Solución al problema de la cfem (contra fuerza electro motriz)

Como ya sabemos, las bobinas se dañan a si misma con la **CFEM** (Contactores, transformadores, motores).

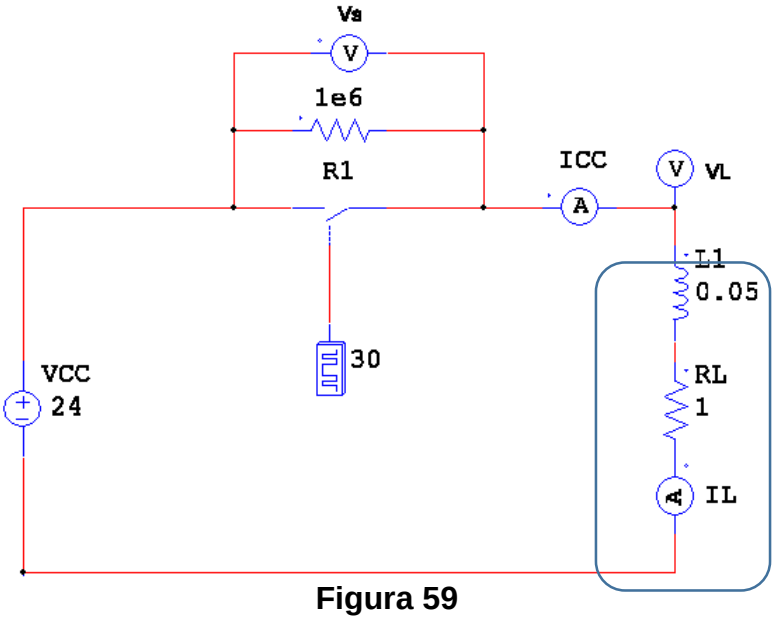


Figura 59

Circuito RL, sin amortiguador de voltaje simulado

Si se observa la gráfica del voltaje y la corriente podemos ver lo siguiente:

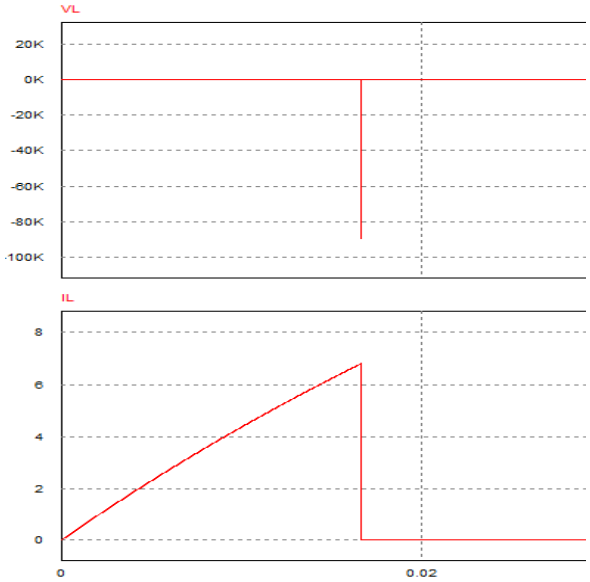


Figura 60

Grafica de corrientes y voltaje en el momento de la desconexión

El nivel de voltaje (24V, se ve en cero por el escalado), se mantiene contante hasta el momento en que la corriente se corta, en ese momento la energía acumulada por la bobina (campo magnético) se colapsa y genera un voltaje de -80KV, que destruye de manera acumulativa el aislamiento y cualquier circuito conmutador que intervenga.

Una solución para circuitos en CC, es utilizar un diodo volante en paralelo a la bobina. Un diodo polarizado inverso, que no interviene en el circuito cuando este funciona, pero actúa en el momento en que se genera la CFEM. Creando un lazo de corriente para la energía que tiene acumulada la bobina.

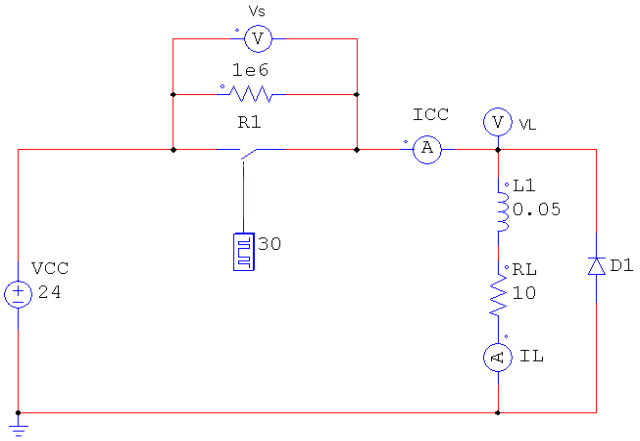


Figura 61

Esquemático, Circuito RL con "diodo volante"

Simplemente agregando un diodo mitigamos e l problema de CFEM en un circuito de corriente continua. Obviamente como siempre, algo se gana y algo se pierde se pierde.

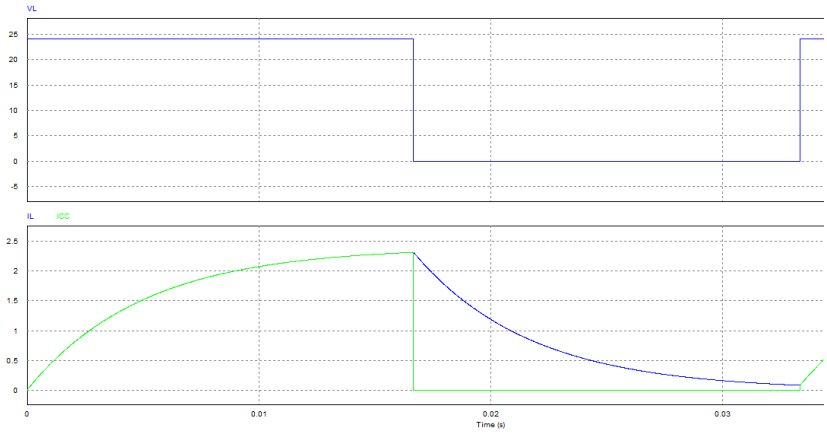


Figura 62

Gráfica de Voltaje-Corriente de una bobina con "diodo volante"

En la gráfica observamos la corriente de la fuente difiere de la corriente de la bobina, ya que esta mantiene un flujo adicional por el diodo volante, es decir la energía acumulada por el campo magnético, se disipa en la misma resistencia de la bobina

Por otro lado, el voltaje de la bobina se mantiene limpio, sin transientes de sobre voltaje, en estas condiciones una bobina puede durar varios años sin presentar fallas.

Otra alternativa para mitigar las sobretensiones ocasionadas por CFEM es utilizar mallas amortiguadoras (SNUBBER)

Por ejemplo

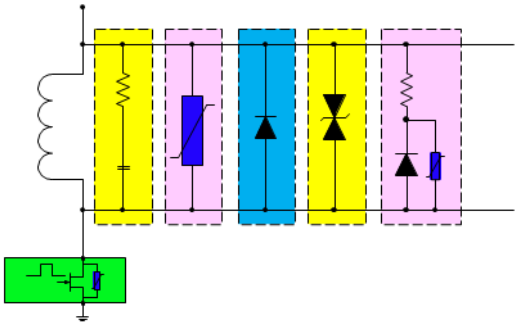


Figura 63

Mallas amortiguadoras utilizando diferente técnicas según sea aplicaciones DC / AC.

También podemos utilizar mallas snubber para proteger **Diodos rectificadores**, **SCR** y **GTO**, de transientes de voltaje inverso, que pueden llevar un diodo de potencia a la zona ZENER, que es su sentencia de muerte, así como rápidos cambios de voltaje (dv/dt) entre ánodo y cátodo que pueden originar encendidos indeseados provocando fallas y principalmente cortocircuitos.

Figura 64

Diodo Rectificador protegido por malla amortiguadora.

Estas configuraciones las vemos en circuitos como rectificadores, rectificadores controlados, módulos de control se fase con SCR y sistemas PWM (con GTO o SCR)

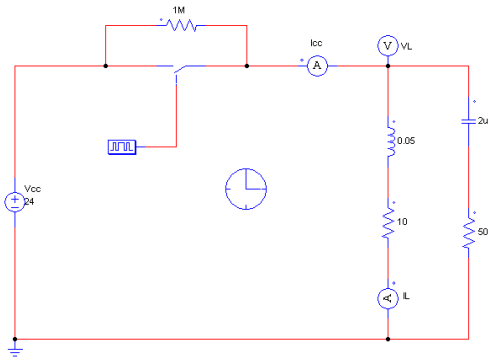


Figura 65

Circuito de conmutación de bobina protegido por malla snubber. RC

3.5 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:

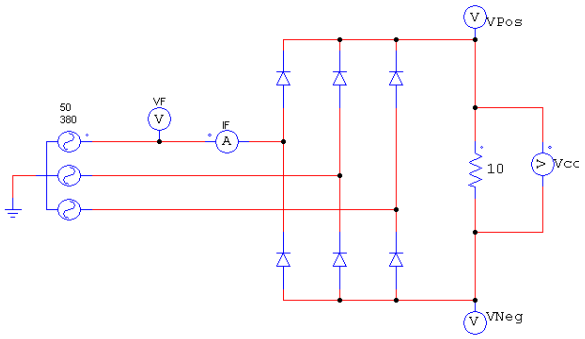


Figura 66

Rectificador con carga resistiva

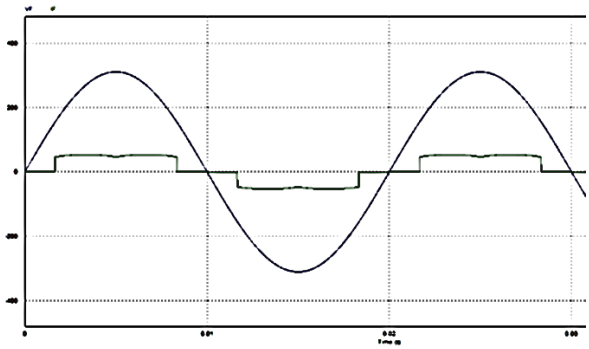


Figura 67

Voltaje y Corriente no lineal, note que hay corriente cero

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

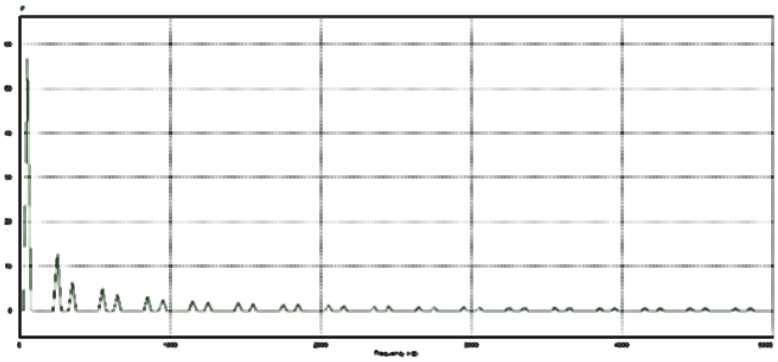


Figura 68

Gráfica 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:

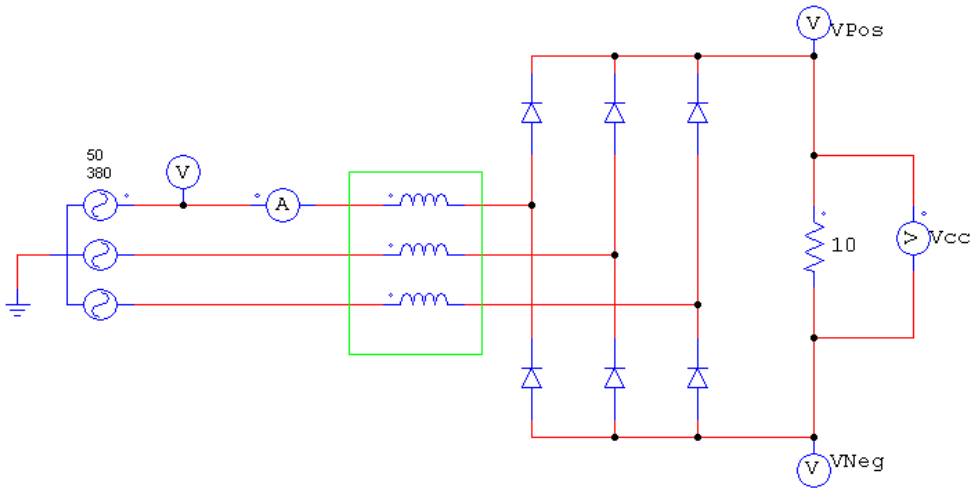


Figura 69

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

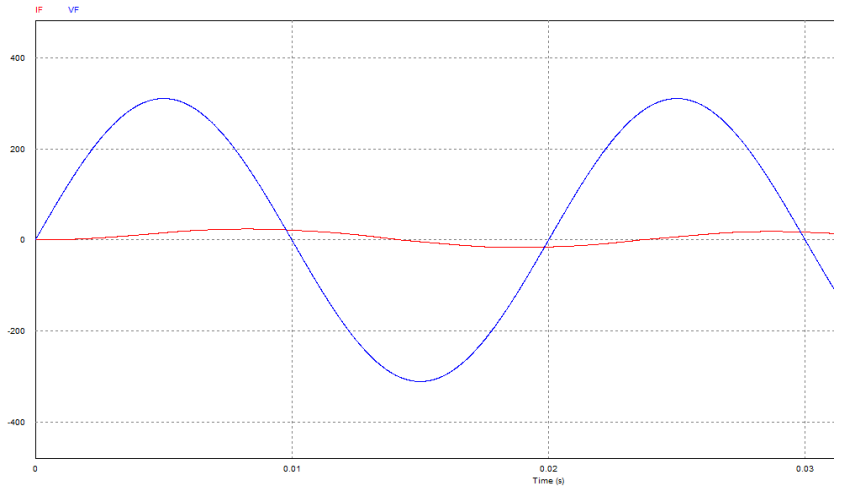


Figura 70

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

3.6 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.

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.

3.7 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 equipotencialidad 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

3.8. Funciones especiales de los variadores de frecuencia

(Referencia Variadores MM440 de SIEMENS)

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.

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. En la figura se muestra la forma de funcionamiento de la regulación Udmáx. 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

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.

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.

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.

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.

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.

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

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:

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).

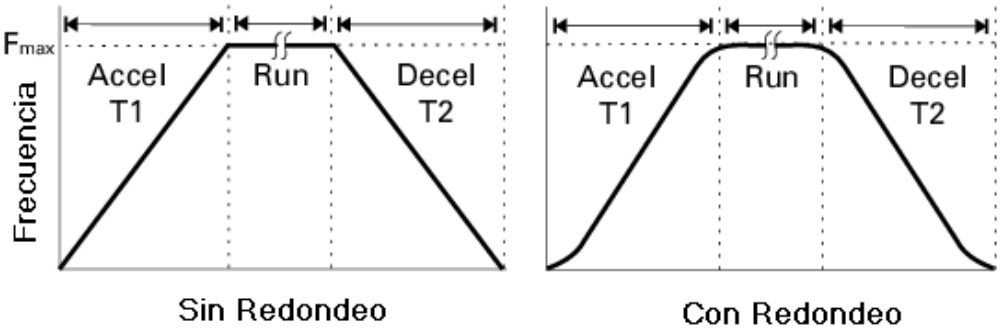


Figura 71

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.

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:

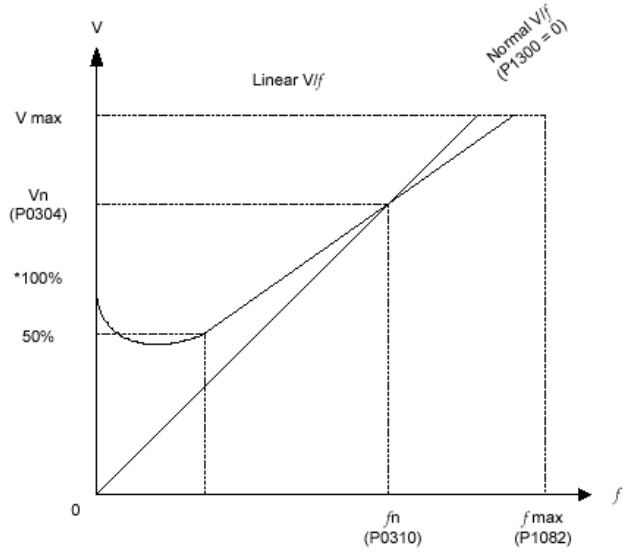


Figura 72

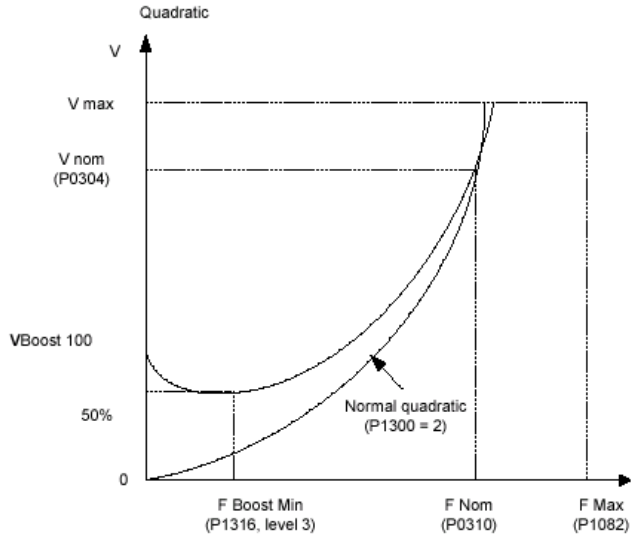


Figura 73

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)

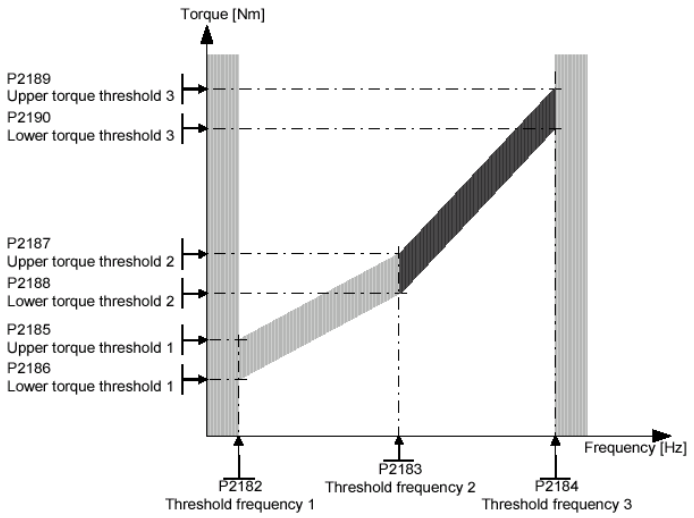


Figura 74

Parámetro para vigilancia de correa

Modos de control:

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

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

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 velocidad es establecer adecuadamente el torque o par (quien dará el trabajo requerido).

Caso:

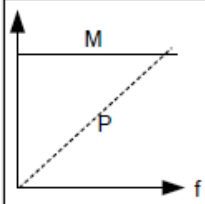
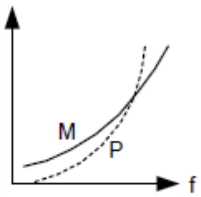
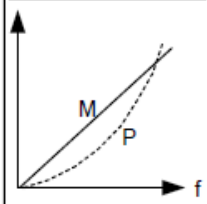
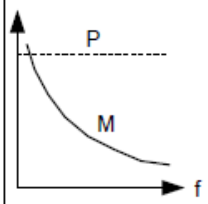
par de giro	M = const.	$M \sim f^2$	$M \sim f$	$M \sim \frac{1}{f}$
Potencia	$P \sim f$	$P \sim f^3$	$P \sim f^2$	P = const.
Característica				
Aplicación	Unidad levadiza Cintas transportadora Máquinas de proces. Con moldeado Rodillos amoladores Máquinas acepillad. Compresores	Bombas Ventiladores Centrifugas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

Figura 75

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)

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.

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.

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).

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.

3.9 Explicación del control vectorial de motores ac trifásicos

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:

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

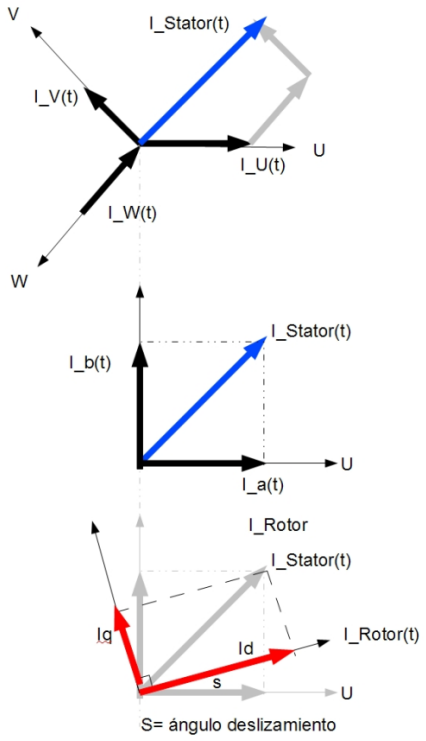


Figura 76

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 fase I_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

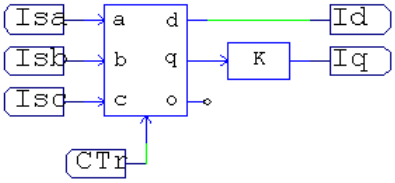


Figura 77

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

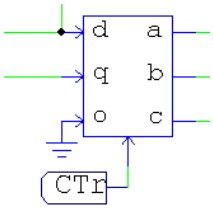


Figura 78

Módulo electrónico de transformación vectorial inversa dq-abc CTr 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

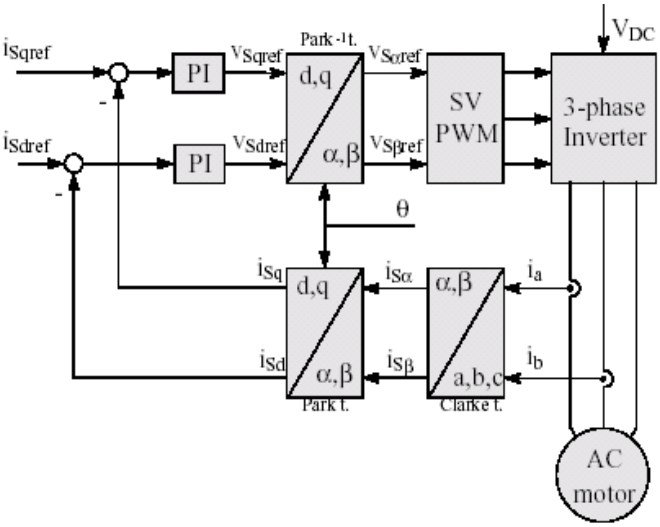


Figura 79

Esquema Básico de Control Vectorial para un Motor AC

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.**

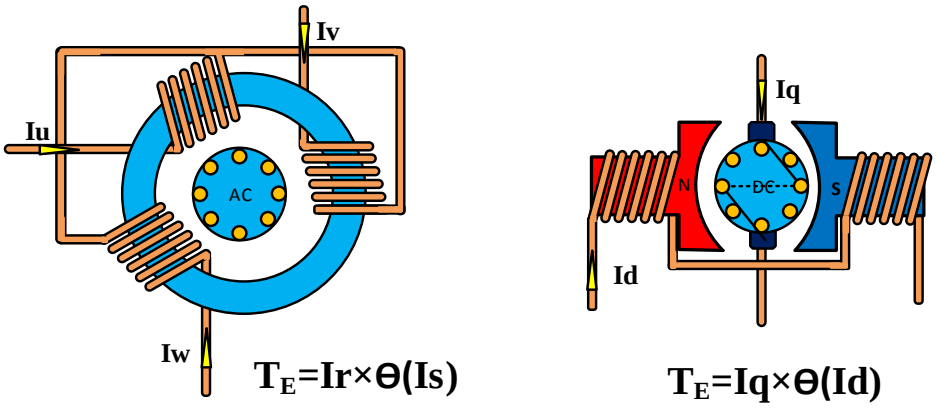


Figura 80

Motor Inducción AC y su proyección vectorial DC

Datos Medibles:

Iu, Iv, Iw: Corrientes de línea

Voltaje de línea

RPM del eje

Datos calculables

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.

3.10 Conexiones eléctricas:

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.

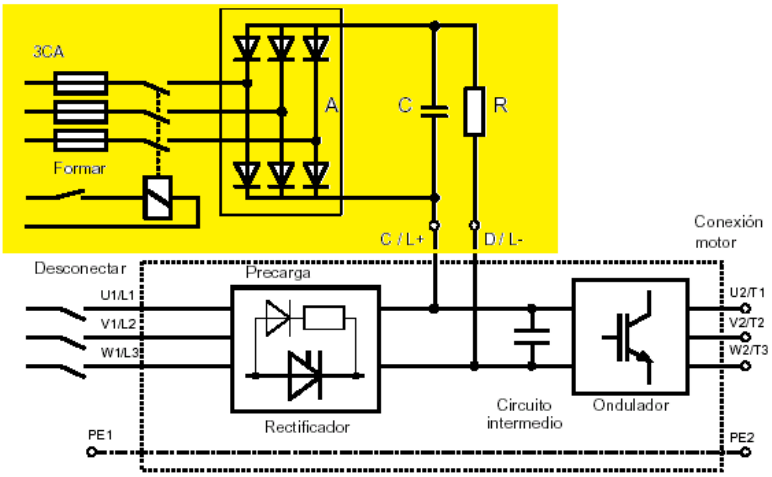


Figura 81

Circuito para preformar condensadores

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

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.

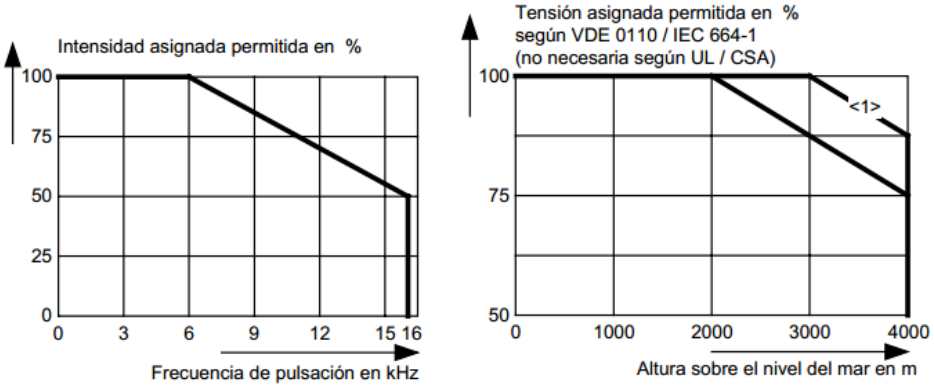
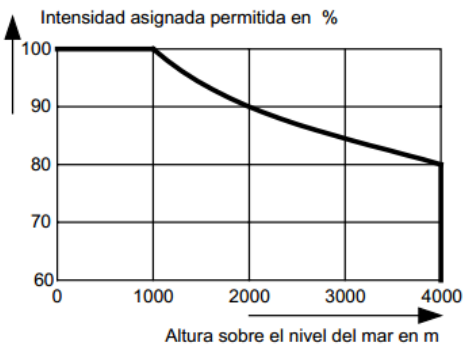


Figura 82

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)

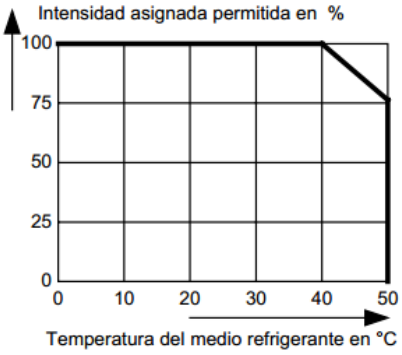


<1>
La curva derating más favorable es válida solo para los tamaños de B a D con una tensión de entrada asignada de 510 - 540 V

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

Figura 83

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 84

*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 = DerateoAltura x DerateoTemperatura medioambiental.

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

3.11 Recomendaciones para una correcta instalación de fuerza

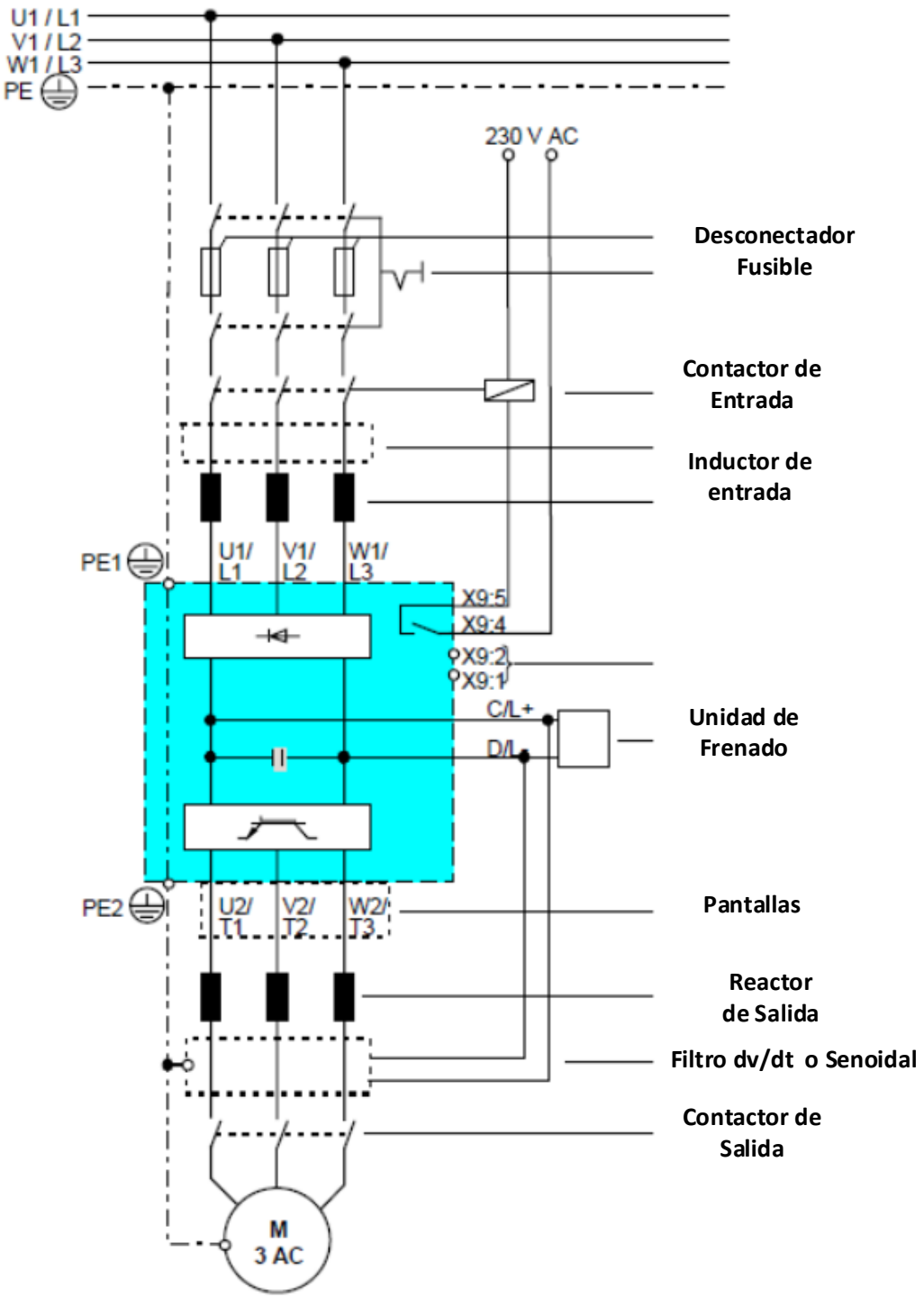


Figura 85

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.

Figura 86

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.

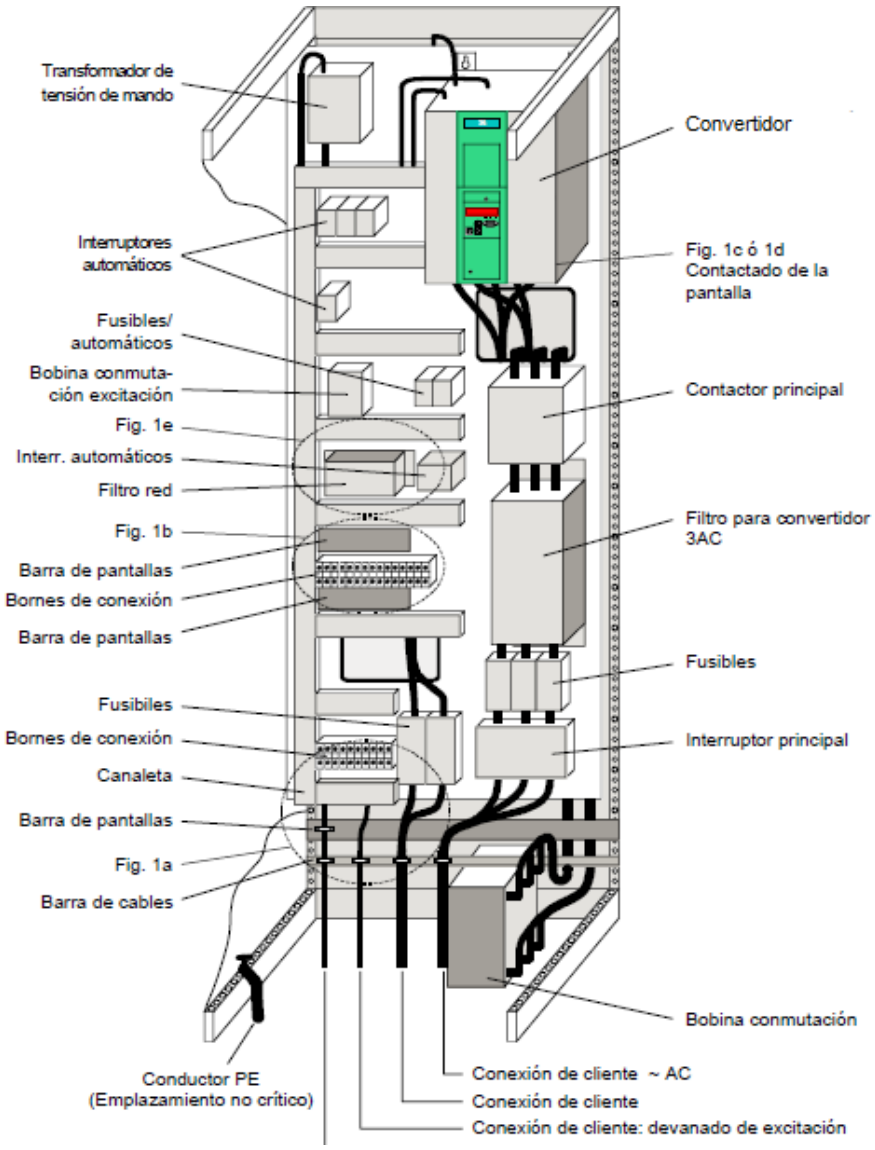


Figura 87

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

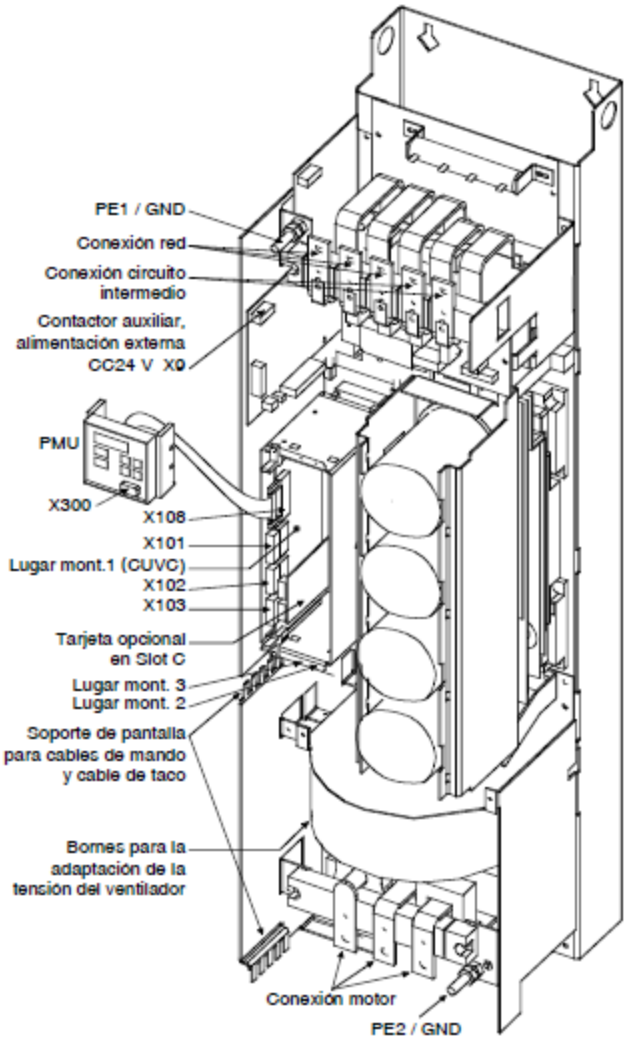


Figura 88

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.

3.12 Conexiones de control

Básicamente todos los variadores tienen el mismo esquema de control digital

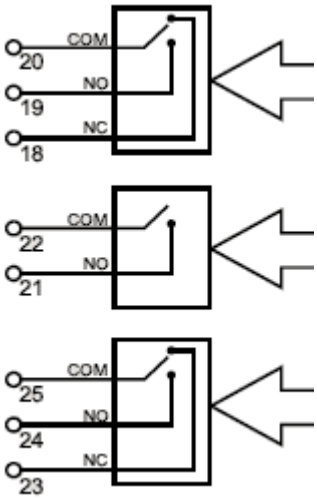


Figura 89

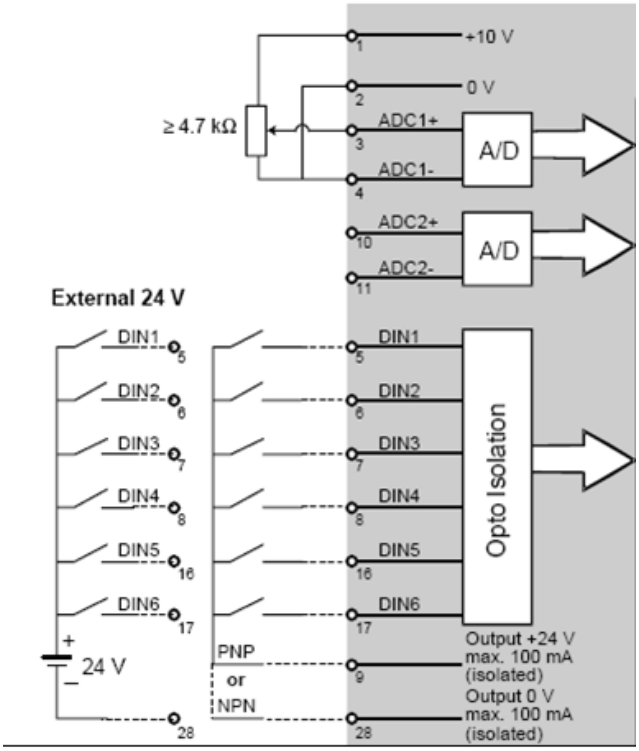


Figura 90

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.

ENTRE OTRAS FUNCIONES DE ENTRADA ENCONTRAMOS:
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

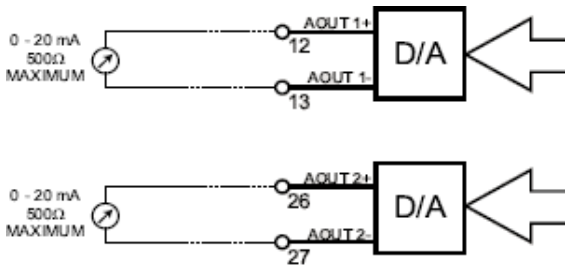


Figura 91

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.

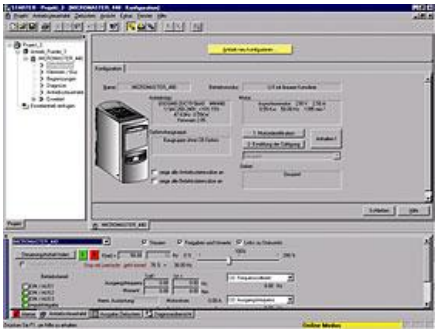


Figura 92

Software de parametrización para VDF SIEMENS

3.13. Configuración del variador de frecuencia

Diagrama de Bloque del equipo

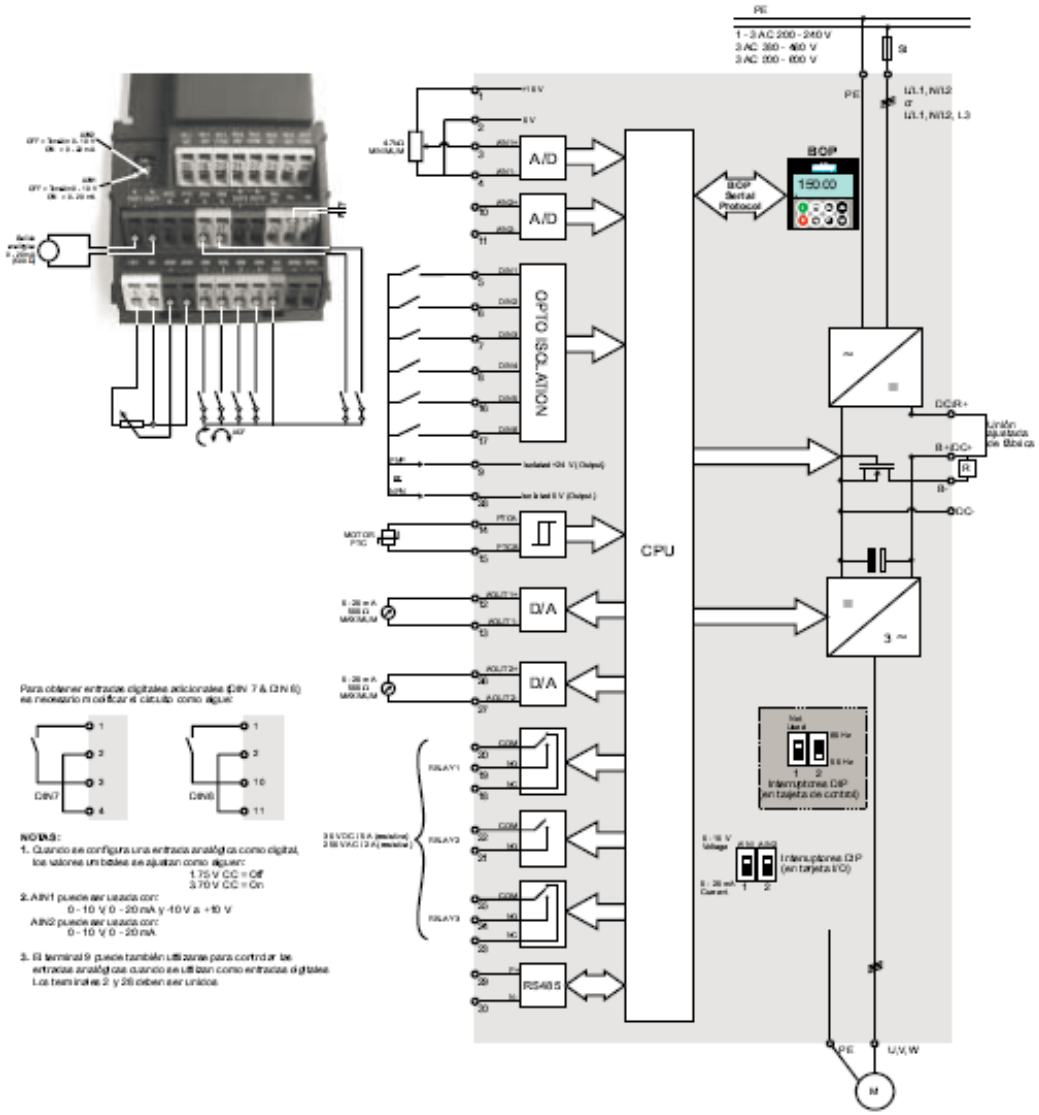


Figura 93

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.

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 94

Panel BOP de visualización y programación

3.14 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.

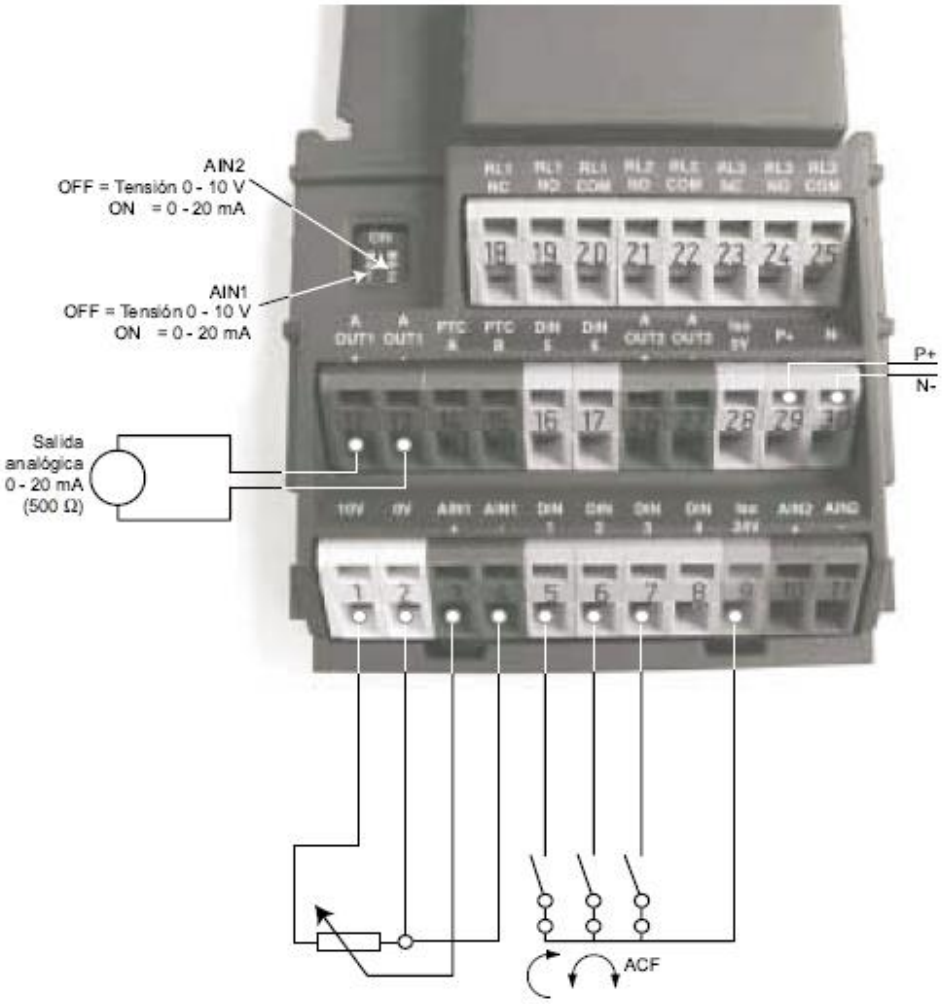


Figura 95

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

3.15 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 el P0003 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 de los tiempos de rampa. Al acabar la secuencia de puesta en servicio rápida es necesario seleccionar P3900, 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.

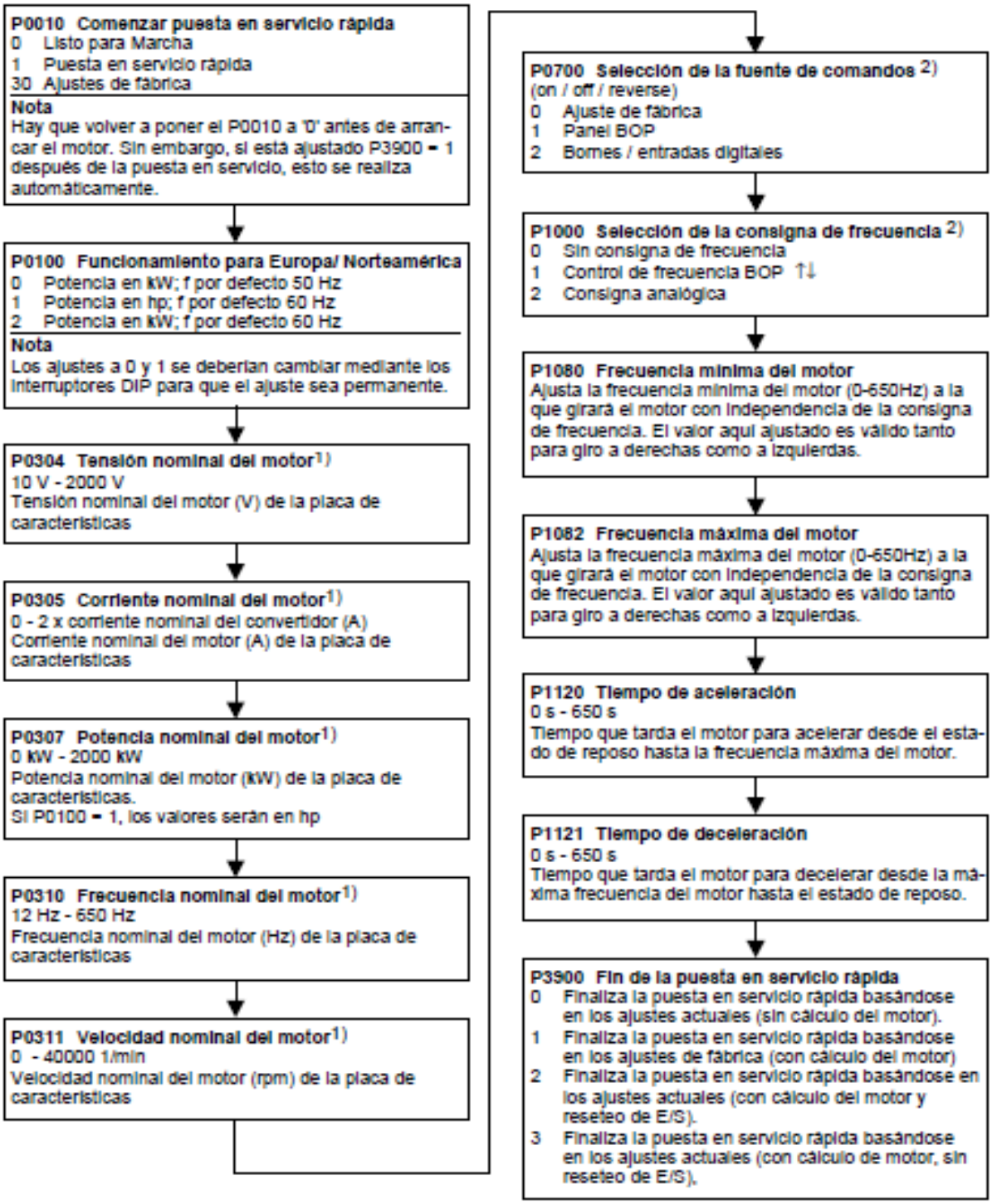


Figura 96

Puesta en servicio rápida VDF SIEMENS MM440

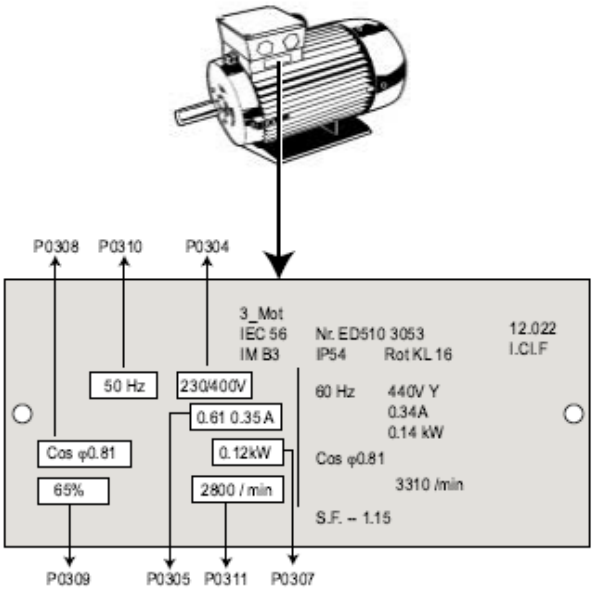


Figura 97

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).

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 50 Hz.
Cuando el convertidor alcanza 50 Hz, pulsar el botón . Con ello baja la velocidad del motor.
Cambiar el sentido de giro con el botón .
El botón rojo para el motor .

3.16 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.

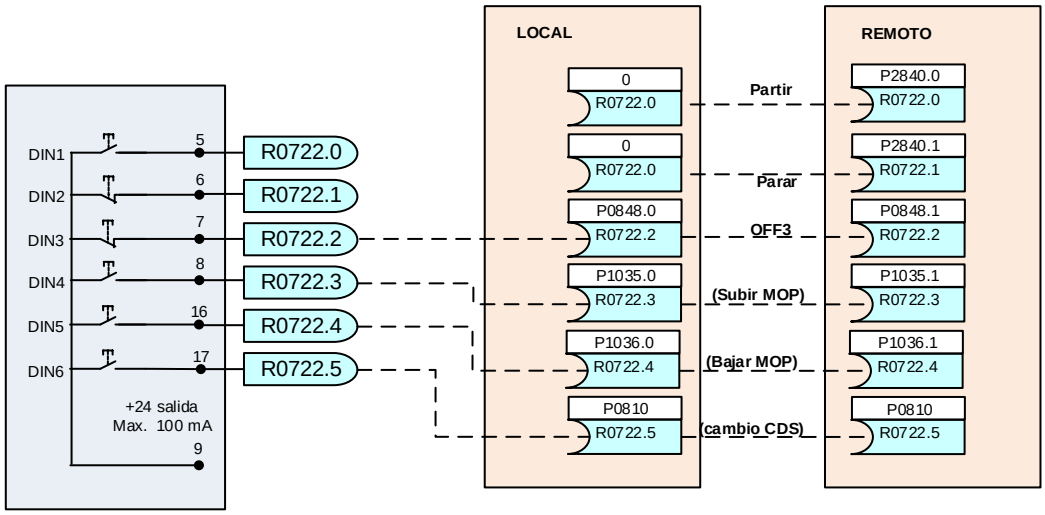
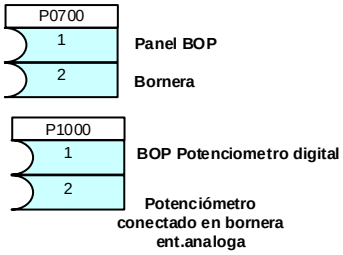


Figura 98

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 P1000[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

Tabla 2

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

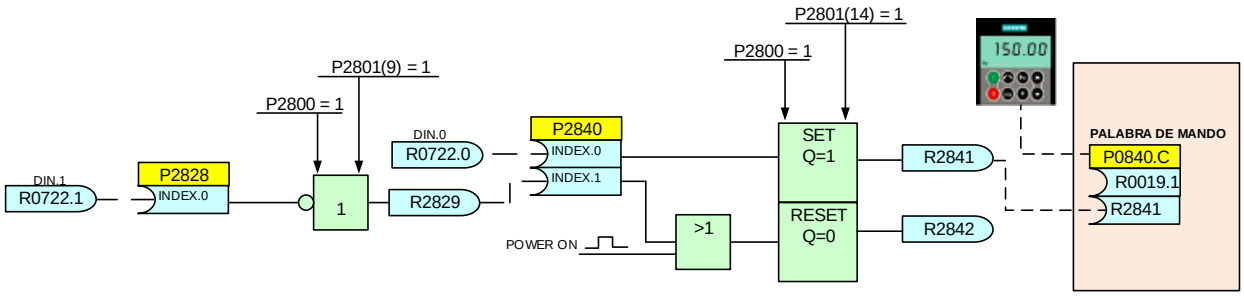


Figura 99

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.

3.17 Topologías de convertidores de frecuencia

Convertidores para un cuadrante

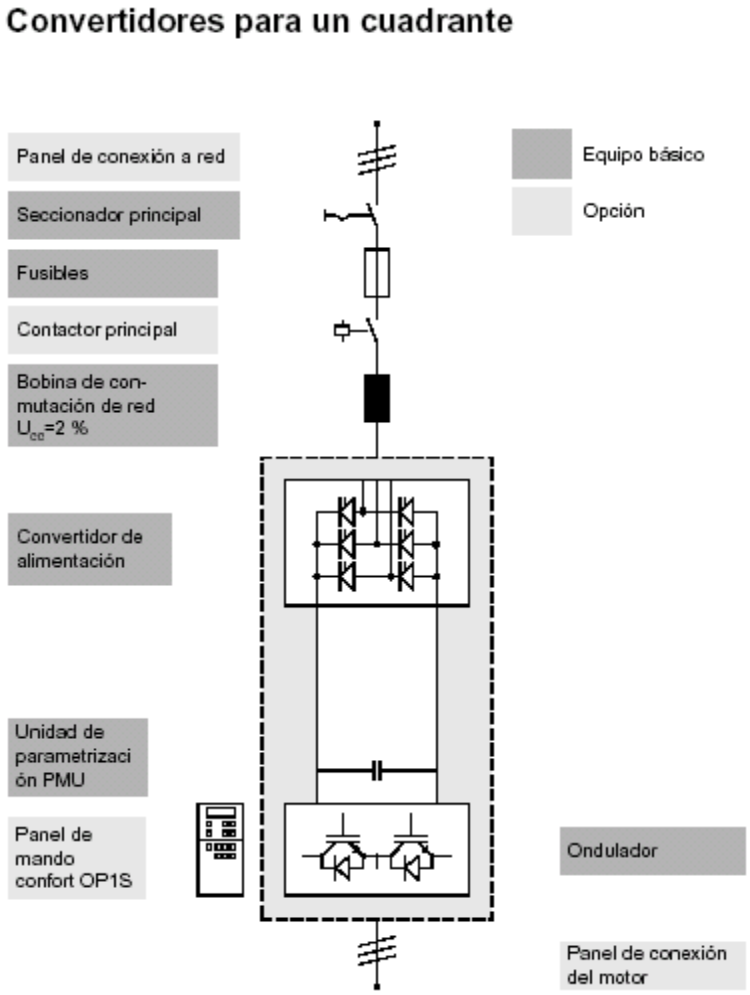


Figura 100

Convertidor de cuadrante, 6 pulsos

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

Convertidores para un cuadrante 12 pulsos

(Requiere de un transformador desfasado D-Y)

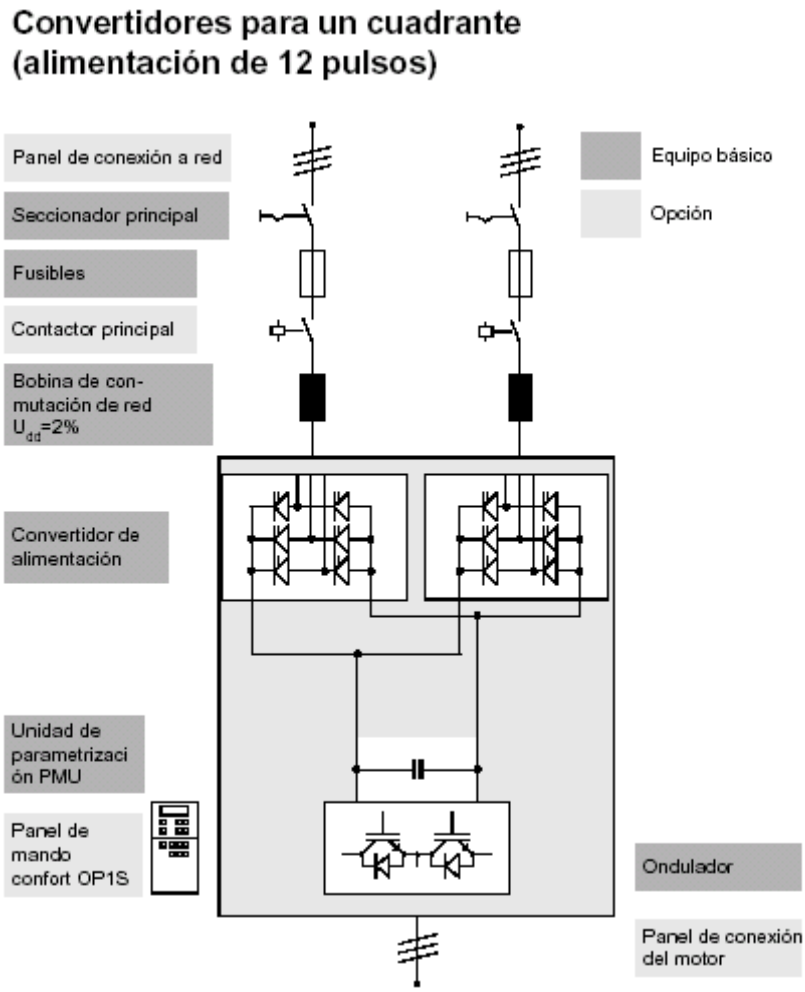


Figura 101

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-

Convertidores para cuatro cuadrantes

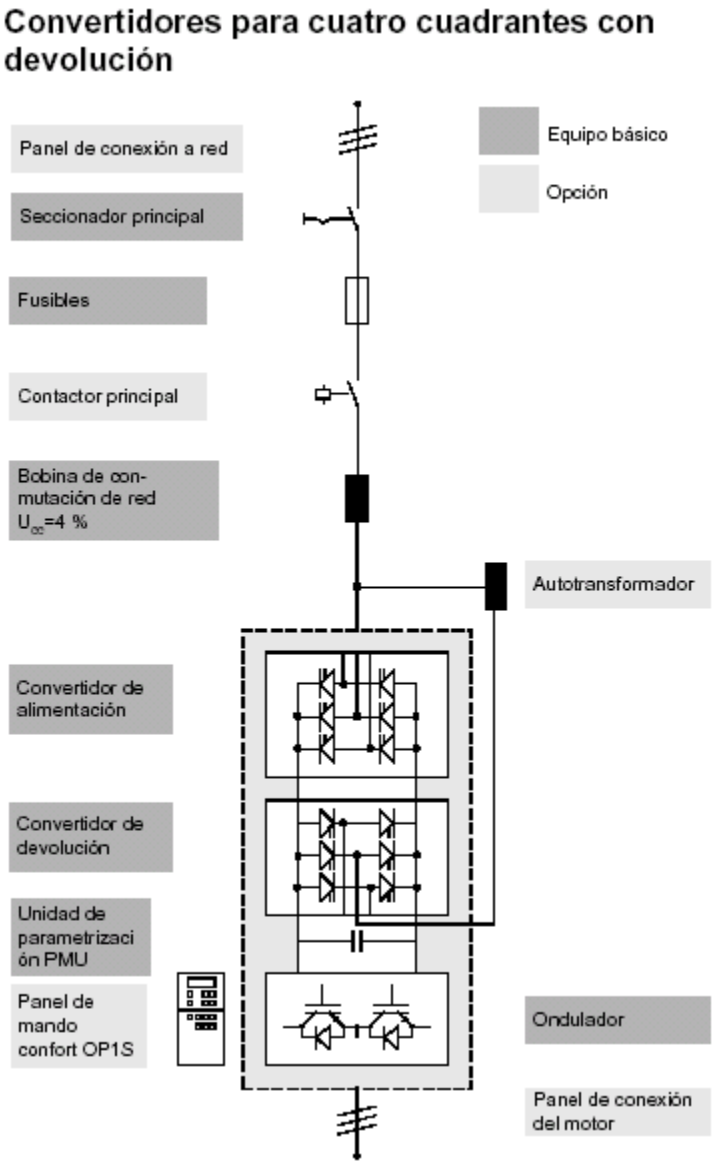


Figura 102

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.

Convertidores de alimentación/devolución afe

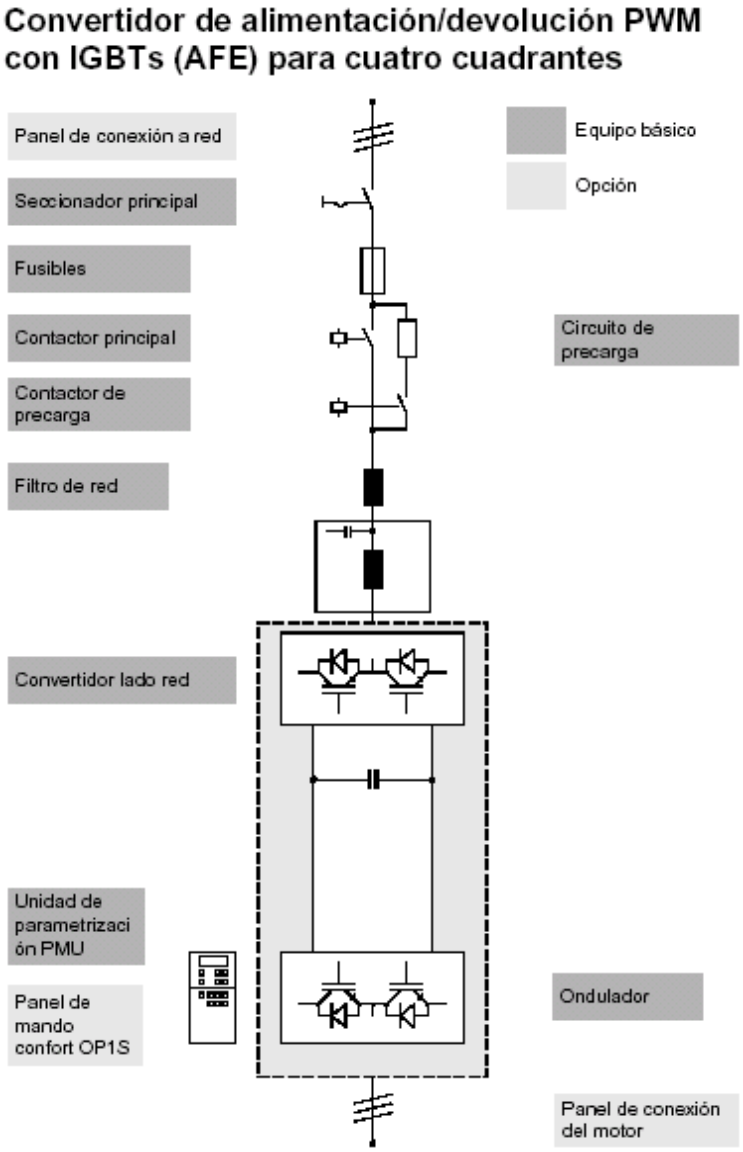


Figura 103

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-

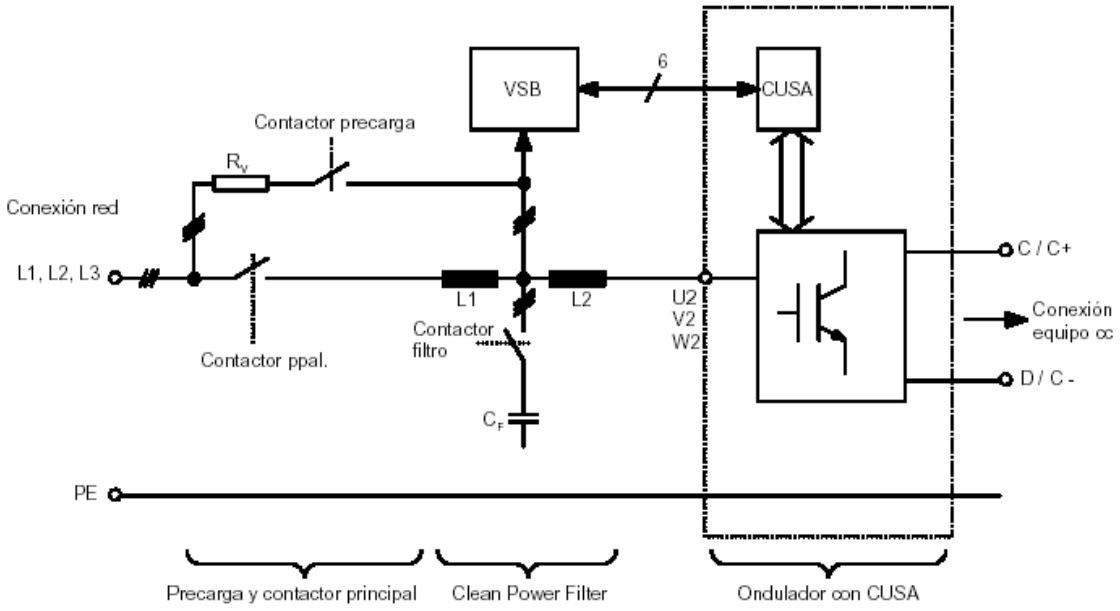


Figura 104

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.

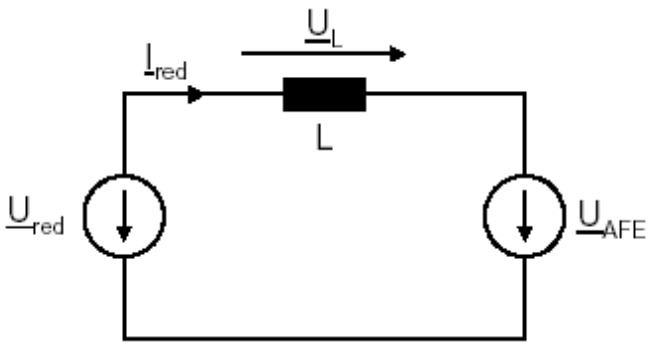


Figura 105

Esquema equivalente monofásico del AFE

O sea:

$$U_{AFE} = U_{red} - U_L = U_{red} - jwL \cdot I_{red}$$

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.

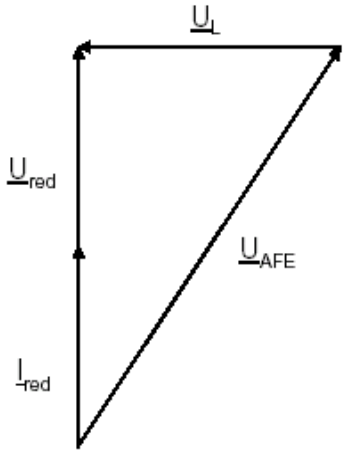


Figura 106

Diagrama Vectorial para cos □ = 1

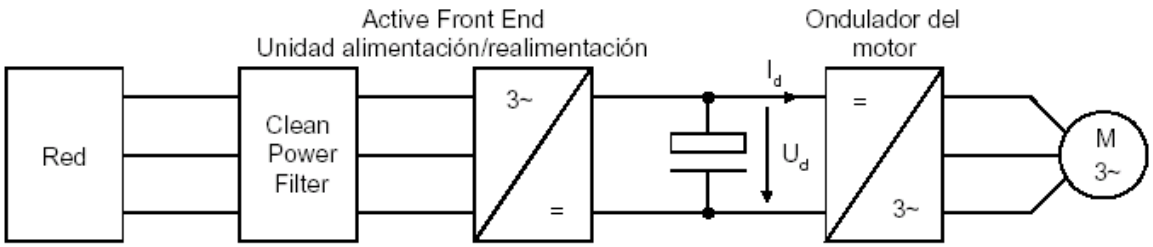


Figura 107

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 usted 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

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

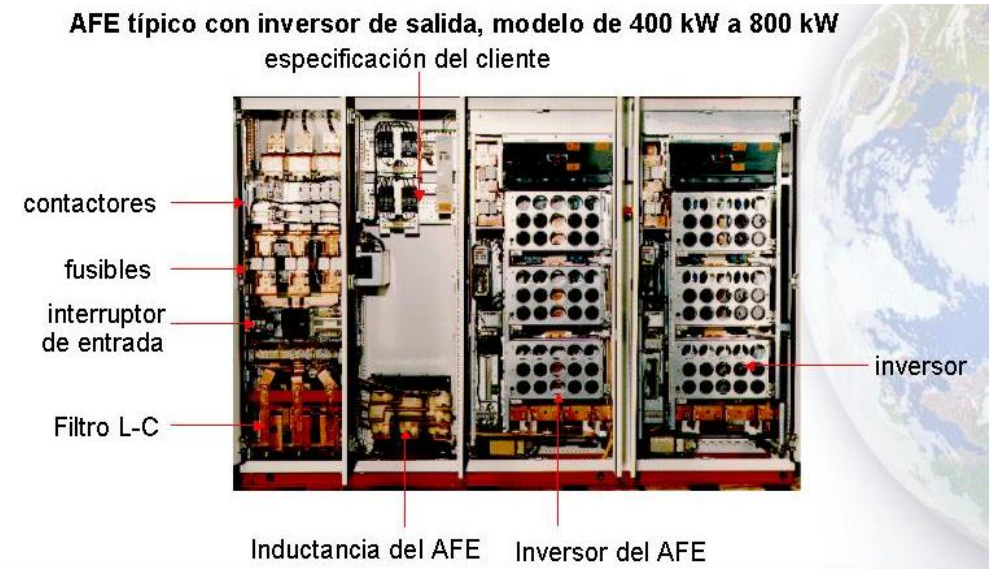


Figura 108

Fotografía de un variador del tipo AFE
(Gentileza de SIEMENS)

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.

3.18 Topología de 3 etapas con un sistema de 2400 vac

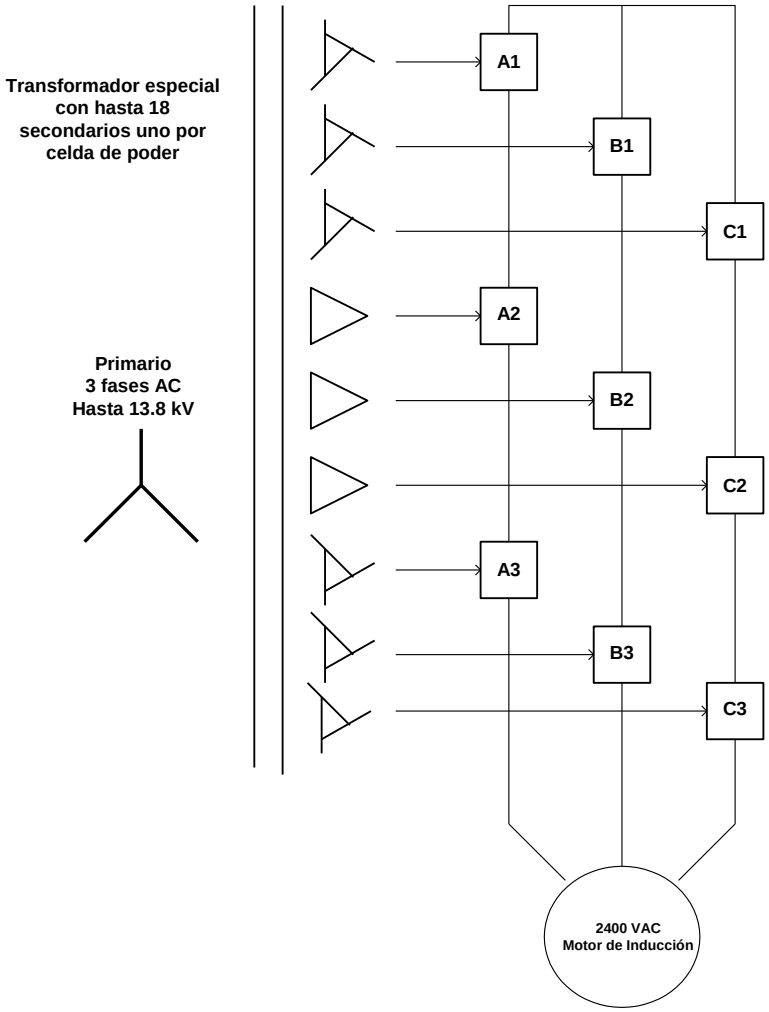


Figura 109

Topología de un variador de media Tensión Robicon de tres etapas

Representación de las celdas

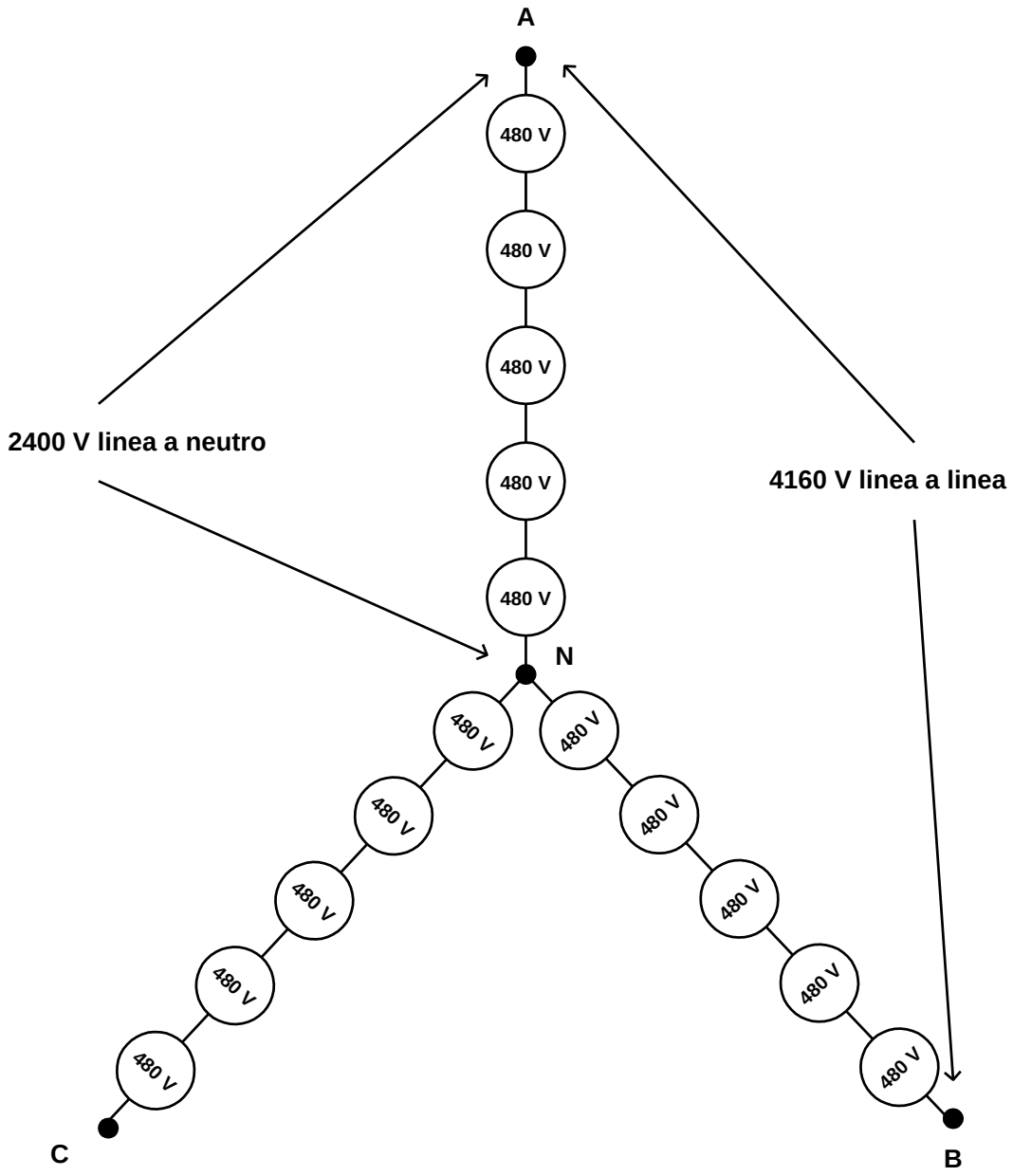


Figura 110

representación de las celdas para un variador Robicon de 4160 V

3.19 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

Tabla 3

Figura 111

Variador de Media Tensión Robicon

Actividad N°13

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.	√

Tabla 4

<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			

Tabla 5

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).

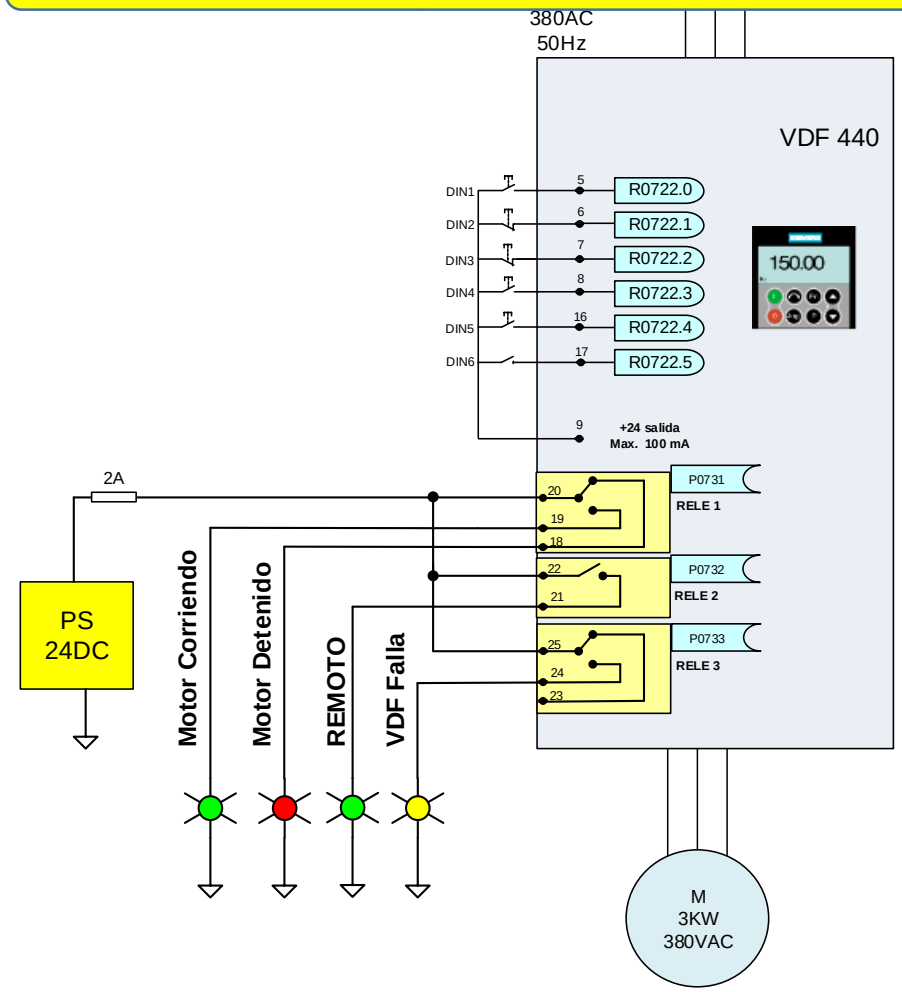
Observaciones:

- 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:

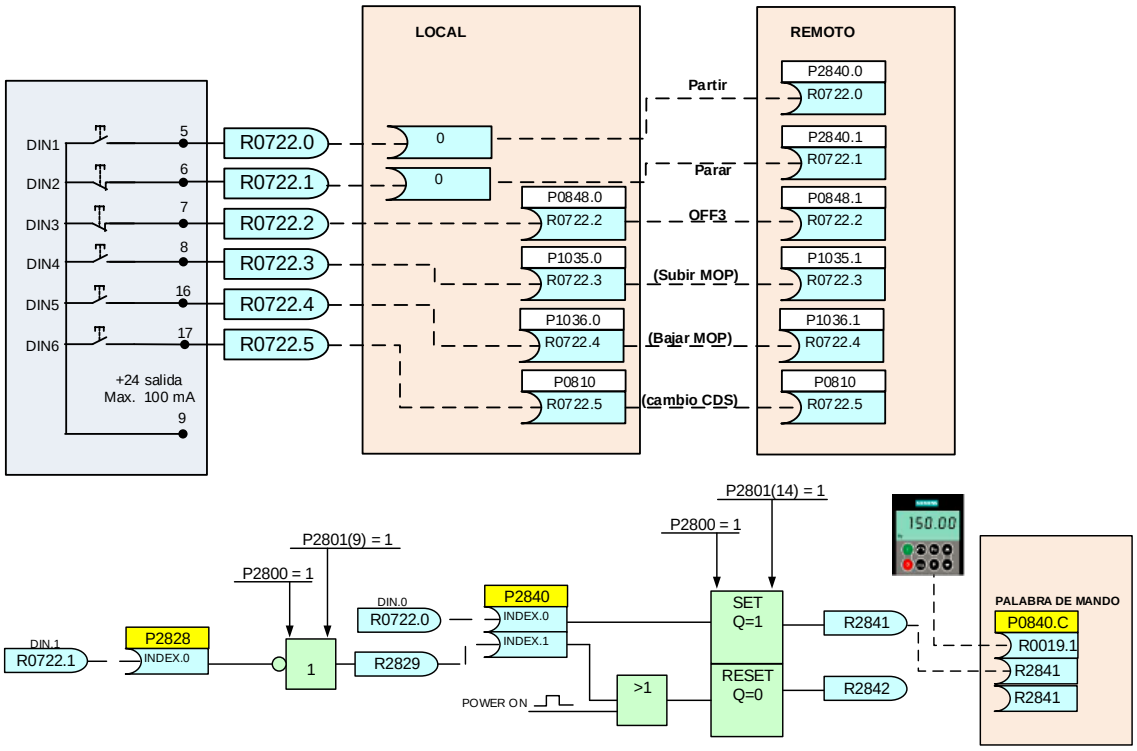
P2800 =1 (NOT (1))
P2801 (9) = 1 (FF-SR (1))
P2801 (14) = 1

- **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.**

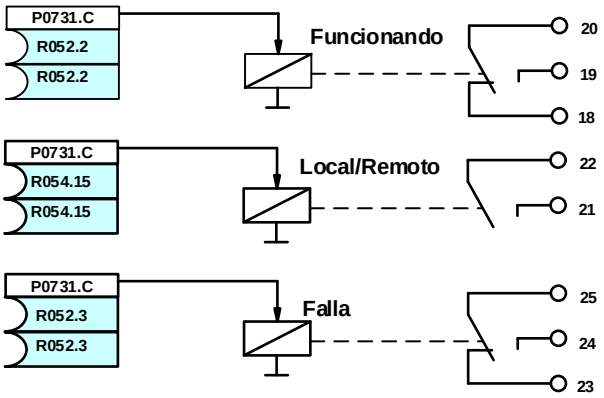
Conecte la fuente de consigna:

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

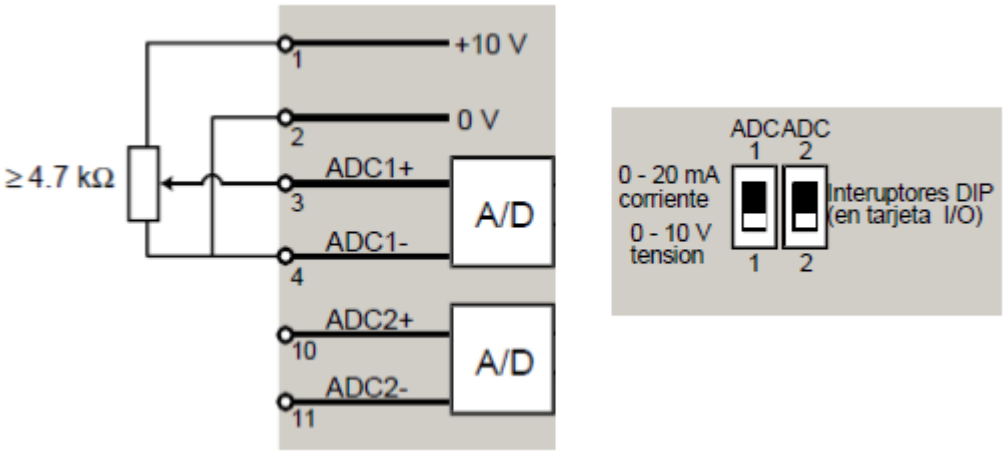
1 Modo local -> Mando por BOP

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)



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

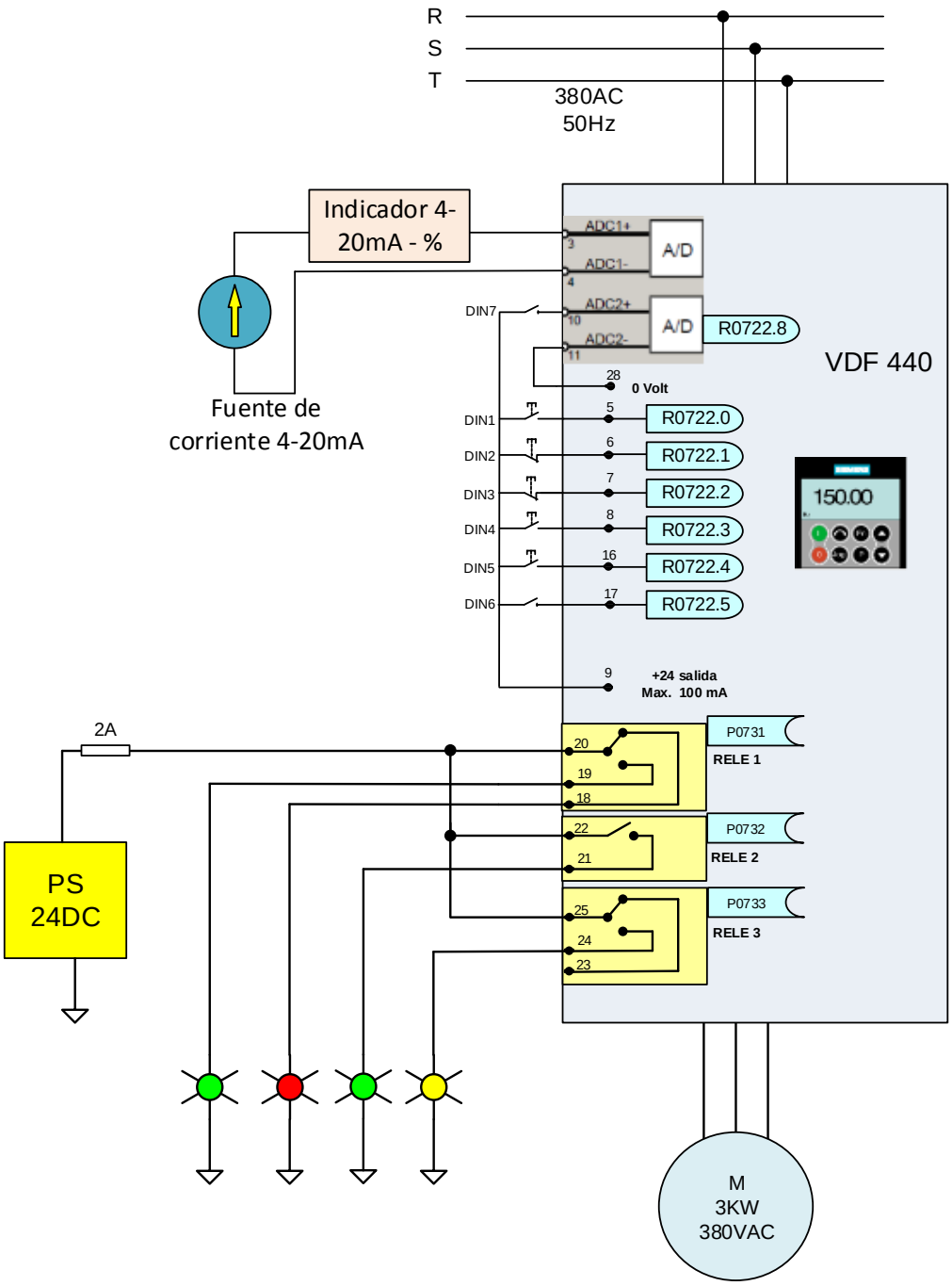
Asigne el parámetro P0811 a la señal digital R0722.8 (asignación de la fuente de ordenes CDS)

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.



Conexionado Final de fuerza y control VDF MM440 – SIEMENS

Cierre

Los participantes, según los antecedentes antes expuestos en ambas secciones, deberán identificar el procedimiento de instalación, programación y pruebas.

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