CCM
CONSEJO DE COMPETENCIAS MINERAS

Cuaderno del Instructor

Módulo 3: “Mantenimiento de motores y generadores eléctricos de equipos mina”

PFMEI-4-02/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 ha sido realizado por el Centro de Innovación en Capital Humano de Fundación Chile - Innovum, con la colaboración técnica del Centro de Entrenamiento Industrial y Minero - CEIM, para el Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero - del cual pasa a ser propiedad -.

Este material 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.

*Inscripción de propiedad intelectual nro.: 252.536.

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; Freeport-McMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Índice

Descripción del documento **5**

Módulo III: Mantenimiento de Motores y Generadores eléctricos de equipos mina 6

6. Máquinas Eléctricas Motores y Generadores **7**

6.1 Electromecánica De Los Motores y Generadores **7**

6.2 Motores Eléctricos **7**

6.2 Metrología Eléctrica de Motores **12**

6.3 Metrología Mecánica Aplicada A Motores Eléctricos **13**

6.4 Vibraciones **16**

6.5 Pernos y Torques **32**

6.6 Motores De Corriente Alterna Jaula De Ardilla **34**

6.7 Control De Motores y Generadores **39**

6.8 Control De Motores **44**

6.9 El Alternador **70**

Actividad N° 6 79
Actividad N° 7 81
Actividad N° 8 83

7. Variadores de frecuencia nivel medio **85**

7.1 Reglas de compatibilidad electromagnética **103**

7.2 Aplicaciones de los variadores de frecuencia **105**

7.3 Frenado CC, conexión/desconexión **106**

7.4 Operación básica con el panel BOP **129**

Actividad N° 9 130
Actividad N° 10 130

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del Módulo 3 del programa de formación Mantenedor Eléctrico Especialista Equipos Móviles.

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 doc 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: Mantenimiento de Motores y Generadores eléctricos de equipos mina

6. Máquinas Eléctricas Motores y Generadores

6.1 Electromecánica De Los Motores y Generadores

Las probabilidades están en contra de escoger el primer ganador de una carrera de caballos. Las probabilidades de elegir el primer, segundo y tercer lugar de los ganadores son aún menos favorables, pero cuando sucede, el día de pago de la trifecta es grande. En el mundo de las carreras de caballos, adivinar los ganadores es básicamente una apuesta. Pero imagino que si un apostador sabe de antemano la trifecta de la carrera, sería muy obvio apostar todo lo que tiene en la carrera a sabiendas que vería devolver enormemente la inversión que puso.

Usando el mismo concepto de una trifecta (tres factores para el éxito), este artículo proporciona a las empresas con las estrategias de mantenimiento del motor, centrándose en las tres tareas de confiabilidad para la prueba del motor eléctrico y el orden en que deben aplicarse. Siguiendo estos pasos se verán mejorados drásticamente sus probabilidades de fiabilidad del motor y generar un pago enorme al final en sus metas de producción.

6.2 Motores Eléctricos

Una comprensión básica de la construcción de los motores eléctricos es esencial antes de discutir la trifecta de mantenimiento del motor. Comúnmente, un motor eléctrico AC sería un componente de un ventilador, bomba o la pieza más grande de un equipo tales como un mezclador, transportador o bobinador. Los motores eléctricos tienen tres partes principales: el rotor, el estator y la carcasa. El rotor y el estator son las piezas de trabajo del motor. La carcaza sirve para proteger las piezas de trabajo.

El estator es la parte del motor que no se mueva. El núcleo del estator está compuesto de finas láminas de metal. Estas láminas están dispuestas en un cilindro hueco, en el cual se colocan las bobinas de alambre aislado. El rotor, como su nombre indica, es la pieza giratoria en el motor. Que también está hecha de finas láminas de metal para formar un cilindro, y un eje se inserta en su centro. El rotor se inserta dentro del estator, pero un pequeño boquete de aire asegura que físicamente no se toquen.

La carcasa tiene el estator y el rotor ensamblado. Un yugo apoya el conjunto del estator y del rotor, mientras que los rodamientos montados sobre el eje del rotor permiten hacer girar el rotor. También se puede conectar un ventilador de refrigeración.

Los motores eléctricos funcionan sobre el principio básico del electromagnetismo. Cuando una corriente eléctrica pasa a través de las bobinas de alambre aislado en el estator, crea un campo magnético giratorio. El rotor magnético, trabajando en el principio de que cargas eléctricas opuestas se atraen, como el campo eléctrico se mueve y tira el polo sur del rotor hacia el polo norte del campo (y el polo norte del rotor hacia el polo sur del campo). Este a su vez gira el eje, que permite que el trabajo se haga, si el eje está conectado a una bomba, transportador u otra pieza de equipo.

Primera Parte de la Trifecta: Control de Calidad.

La primera pieza de la trifecta de mantenimiento del motor es el control de calidad (QC). El Control de calidad es un término general que afecta a una amplia variedad de personas, bienes, tiempos y lugares. Hay que tener en cuenta el bien o activo que se mantiene y el medio ambiente en el cual se almacena. Las empresas deben hacerse varias preguntas con respecto a los motores desde la entrega hasta la instalación. ¿En primer lugar, se prueba el motor cuando se entrega, o hacemos que los empleados a cargo de recibir el equipo asuman que todo está bien? Suponiendo que el motor funciona según lo especificado, una segunda consideración es cómo se almacena el motor. ¿Es el ambiente adecuado en términos de temperatura, humedad, protección contra los elementos y fácil accesibilidad? En tercer lugar, el motor debe ser probado intermitentemente durante el almacenamiento. Sólo porque el motor funcionó cuando se entregó no garantiza que no desarrolle problemas cuando el motor se encuentra inactivo en el tiempo. Además, los motores deben instalarse en un sistema global que es controlado por calidad. El sistema de distribución eléctrica es un componente vital. Por ejemplo que un desequilibrio de tensión de 5 a 10 por ciento puede cortar la vida de un motor a la mitad en esta situación, por lo que reemplazar un motor no es resolver el problema. Por el contrario, empieza el ciclo falla otra vez. Esto conduce al viejo adagio citado por veteranos empleados en ambientes de trabajo sin el adecuado control de calidad: "Que el chico nuevo empiece".

Todos los motores son revisados antes del almacenamiento o instalación. "En el caso de los motores más grandes y críticos se repasan los informes de prueba del proveedor, para el caso de los motores nuevos y motores reparados como una prueba de calidad para comprobar en base a pruebas la compra o reparación de las especificaciones de los motores". Para estos motores, también se realizan pruebas propias de la empresa una vez que llegan a la estación de trabajo del motor. Todas las estaciones grandes tienen personal, y están calificados para realizar pruebas y evaluar los datos. Estas pruebas también se hacen una vez que el motor está instalado y listo para el servicio.

Segunda Parte de laTrifecta: Tendencias, Recolección De Datos.

Una vez que el motor está en marcha y funcionando, no es una buena práctica dejar las cosas como están y asumir que no hay problemas si todo parece estar funcionando sin problemas. Mientras que muchas fallas del motor son mecánicas, casi la mitad son de naturaleza eléctrica. Un estudio de la EPRI/GE de 1985 mostró que el 41 por ciento de los fallos del motor fueron causados por los rodamientos y el 12 por ciento por "otros" problemas, mientras que la friolera del 47 por ciento fue causada por rotores (10%) y estatores (37 por ciento).

La recolección de datos es la clave para prevenir estas fallas. Los Operadores de máquinas a menudo llaman a una compañía de reparación con sólo un dato. Las Tendencias es un término que se refiere a recolección de datos sobre una base regular, para que los problemas potenciales se pueden identificar con anticipación, y se puede montar una historia detallada de los problemas.

Por ejemplo, es más inteligente monitorear la salud en el tiempo, en lugar de esperar hasta que un problema se desarrolle y que requiera una visita al médico. Al igual que las personas,

las máquinas envejecen y ciertos problemas son comunes. Con visitas regulares, los médicos pueden monitorear indicadores tales como los niveles de colesterol o la presión arterial en el tiempo. Si el médico ve una tendencia en desarrollo, por ejemplo, niveles de colesterol aumentando en cada revisión anual, el médico puede aconsejar al paciente a tomar medidas preventivas tales como modificar la dieta, aumentando el ejercicio o tomar medicamentos para bajar el colesterol. Sin estas copias instantáneas de datos frecuentes y las medidas preventivas, el médico puede terminar trabajando con una víctima de ataque cardíaco en rehabilitación, o algo peor.

¿Qué tipos de tendencias de datos deben reunirse y con qué frecuencia? Cuando se trata de recolección de datos, "la tendencia es tu amiga". Utilizando el software y pruebas de equipos se pueden analizar los datos estáticos y dinámicos, que pueden obtenerse de una historia detallada para un motor que mostrará los problemas potenciales antes de que ocurra un fallo catastrófico. Hay seis zonas de fallas que deben ser analizadas con regularidad para obtener datos de análisis de tendencias:

1. **Calidad de la energía:** Calidad de la energía se relaciona con la calidad de la tensión (que es determinada por el sistema de alimentación) y la calidad de la corriente (que es determinada por la carga). Factores que pueden ser analizados incluyen baja o alta tensión, factor de tensión armónica, factor de cresta y la distorsión armónica total para el voltaje y la corriente.
2. **Circuito de alimentación:** La zona de falla del circuito de potencia contiene todo, desde el punto de prueba hasta el motor, incluyendo protecciones tales como interruptores, fusibles y seccionadores. Las mediciones de desequilibrio de tensión y desequilibrio resistivo se pueden tomar para analizar la zona de falla de circuito de potencia.
3. **Aislamiento:** El Aislamiento puede ser afectado por la vejez, humedad, temperatura, vibración y otros factores. En la zona de falla de aislamiento, el hardware y el software adecuado pueden medir de resistencia a tierra, la capacitancia a tierra, índice de polarización y tensión de paso.
4. **Estator:** En la zona de falla del estator, se miden los desequilibrios de impedancia inductiva para medir la integridad del aislamiento entre las vueltas de alambre en las bobinas del estator.
5. **Rotor:** El Análisis de la señal de corriente (CSA, Current Signature Analysis), corriente in-rush, desbalance inductivo y un chequeo de la influencia del rotor (RIC, Rotor Influence Check) se realizan en la zona de falla de rotor.
6. **Entrehierro:** En la zona de falla del entrehierro de aire, pruebas de CSA y RIC determinan niveles de excentricidad estática y excentricidad dinámica en el eje.

¿Con qué frecuencia se realizan estas pruebas? dependerá del tipo de motor que se utiliza, la frecuencia, intensidad y duración de uso y los patrones estacionales de la producción de la empresa. Otros factores pueden incluir el entorno en el que trabaja el motor. Cualquiera que sea el intervalo, la consistencia es la clave. Tendencias trimestrales o semestrales pueden ser mucho más valiosas que las pruebas realizadas a intervalos aleatorios o cuando el personal se acuerda de recolectar los datos.

El supervisor de una empresa ha encontrado que un intervalo anual funciona mejor para su empresa. "Motores con recolección de datos de prueba que se realizan con una frecuencia

anual para la dotación más importante de motores, pero para los motores menos críticos se utiliza un enfoque escalable que se basa en la probabilidad y las consecuencias de una falla del motor. Nuestro objetivo es planificar el servicio del motor en lugar de verse obligados a limitar la generación de reparaciones del motor, ya que han llegado al final de su vida útil".

La recopilación de datos de tendencia ha dado sus frutos "Recientemente hemos encontrado una gran diferencia en la resistencia en el circuito de un motor crítico de inducción de AC de 125 caballos de fuerza durante una prueba de rutina de línea, la causa era conexiones flojas de cables. Después de que las conexiones fueron apretadas correctamente la prueba de seguimiento mostró sólo un 0,1% de desequilibrio resistivo versus el desequilibrio del 9 por ciento observado por primera vez."

Tercera Parte de la Trifecta: Solución De Problemas.

Todos los motores tienen una vida útil limitada. Finalmente, un motor fallará. Lo que ocurre en este punto depende en gran medida de si la empresa ha sido diligente con las partes uno y dos de la trifecta: control de calidad y tendencias. Si es así, la tercera parte de la trifecta, solución de problemas, será mucho más fácil. La Solución de problemas se refiere a lo que sucede cuando un motor falla o se comporta lo suficientemente mal que causa un problema.

Un buen ejemplo es el caso de una mina de carbón que un sábado experimentó problemas con un motor de rotor bobinado. La compañía eléctrica local fue enviada a la mina, donde la producción se había detenido a un alto costo en dólares. Generalmente este tipo de motor no puede repararse en el campo, aunque la empresa minera tuvo la previsión de tener un motor de repuesto a mano. Por la tarde del lunes, una grúa estaba en el lugar para intercambiar los motores, y antes de la medianoche, el nuevo motor fue instalado y listo para trabajar.

Los mineros esperaban con expectación mientras se presionaba el botón de inicio, pero el resultado fue un Gruñido y un fusible fundido de US$1.000. Se hicieron ajustes y otro fusible de US$1.000 se dañó. A las 4:30 de la mañana del martes, el tercer fusible de US$1.000 se fundió. A las 19:00 del martes, más de cuatro días después dela falla inicial, la compañía eléctrica se preparaba para quitar el motor de repuesto y llevarlo al taller para su inspección. Sin embargo, alguien tuvo la idea de arrancar el motor eléctrico en vacío, hacer pruebas de equipo con un programa de software para identificar el problema. El miércoles por la mañana, las pruebas revelaron que dos conductores fueron invertidos. El problema fue arreglado rápidamente y empezó al motor de repuesto a trabajar.

No hace falta decir que este escenario se podría haber evitado realizando las tres partes de la trifecta. El control de calidad hubiera detectado fallos en el cableado del motor de repuesto en la entrega o en almacenamiento. Los datos de tendencias habrían identificado problemas en el motor original antes de que fallara y la solución de problemas - ¿Qué hacer cuando hay una falla? - habría evitado a los mineros cinco días de inactividad.

Cuando se trata de solucionar problemas, la primera clave es tener instrucciones escritas en un manual, que puntualicen las políticas de la compañía durante fallas del motor. Esto incluye la capacitación de los empleados. En segundo lugar, la política debe exigir que el lugar de trabajo tenga la tecnología disponible para ayudar a diagnosticar el problema. Si los mineros y la compañía eléctrica hubiesen chequeado el motor eléctrico, las pruebas de equipo del lunes por la mañana, tiempo del martes y el miércoles se hubiesen evitado. El plan también

debe estipular llamado a expertos externos cuando el problema excede el alcance de la formación o el conocimiento de los empleados.

"Fallas críticas del motor son muy raras en nuestras estaciones generadoras," dice el supervisor. "Lo más común es encontrar un motor degradado y determinar las causas y los factores que contribuyen.

Entonces desarrollamos un plan de prueba mayor. Los motores degradados requieren pruebas más frecuentes para entender la causa y la tasa de degradación. Con una comprensión de la causa y la tasa de degradación podemos tener un alto grado de confianza que evitaremos una falla del motor en el servicio."

Administración, Mantenimiento Predictivo y Línea de Producción.

La administración también juega un papel clave en la solución de problemas con éxito. La creación de manuales requiere tiempo, que cuesta dinero. Capacitar a los empleados puede influir en la mano de obra disponible, lo que puede causar problemas de agenda. Llamar a expertos es caro. Sin embargo, es mucho más costoso que perder tiempo extra por el hecho de buscar a tientas y a falsos comienzos por no hacer las cosas correctamente en el primer lugar.

Por ejemplo, los estudios demuestran que fallas en maquinaria rotativa industrial cuestan $17 por caballos de fuerza del motor al año para las empresas que practican solamente mantenimiento reactivo, en otras palabras, si se rompe, lo arreglamos. Compare eso con los $12 por hp para empresas practicando mantenimiento preventivo (mantenimiento regular sin el beneficio de datos) y $8 por hp para empresas que utilizan el mantenimiento predictivo. La trifecta de mantenimiento es la esencia del mantenimiento predictivo: los costos de reparación usando el control de calidad y datos recopilados periódicamente para evitar problemas antes de que ocurran errores catastróficos, además del impacto negativo en la línea de producción, son reducidas en más del 50 por ciento sobre las empresas con un enfoque de "cerrar los ojos y esperar a que resulte bien".

El Mantenimiento preventivo ahorra dinero de todas maneras. Con el mantenimiento predictivo, hay menos fracasos inesperados del motor y menos necesidad que se tenga más motores y piezas a mano, dando por resultado menos costos de inventario y necesidad de espacio de almacenamiento. Y las reparaciones y el mantenimiento pueden ser programadas durante los períodos de paro de la empresa y no en el pico de producción en un sábado.

"En los últimos 20 años hemos conseguido el apoyo de la administración superior. Con este soporte hemos desarrollado especificaciones, procedimientos, una alianza con talleres de reparación, presupuestos para la compra de equipo de prueba del motor, y lo que consideremos para efectuar un programa de mantenimiento sólido del motor," informa el supervisor.

Ganar la Trifecta

Todo negocio implica riesgos. Algunos riesgos, como el riesgo empresarial, están más allá de cualquier control. Pero otros tipos de riesgo pueden ser aliviados y mitigados con las mejores prácticas. Poniendo su dinero en la trifecta de mantenimiento del motor, control de calidad, recolección de datos y solución de problemas, las empresas pueden "cubrir sus apuestas" y aumentar sus posibilidades de ganarla.

6.2 Metrología Eléctrica de Motores

Calidad de la Alimentación

La calidad dela alimentación se focaliza en la condición del voltaje y la corriente en el circuito de un motor. Una pobre calidad dela alimentación afecta enormemente la operación e integridad de un motor eléctrico. Durante la operación el motor experimenta varios tipos de stress que pueden afectar diversos componentes. Variaciones o distorsiones en el voltaje resultan en incremento del stress térmico y del stress eléctrico del embobinado del estator y en algunos casos en los componentes del rotor.

Circuito de Potencia

Se refiere a todos los conductores y conexiones que existen desde el primer punto de medición hasta las terminales del motor. EI circuito puede incluir breakers, fusibles, contactores, cajas de conexiones, etc. Investigaciones en los sistemas industriales de distribución de energía han demostrado que las fallas en conectores y conductores reducen la eficiencia en motores.

Muchas veces un motor, inicialmente en perfecto estado, es instalado en un circuito con fallas, lo cual causa problemas como desequilibro de voltaje, desequilibrio de corriente, secuencias de corriente, etc. En la medida en que los problemas son más severos, la potencia (horsepower) decae causando incremento de temperatura lo cual va a afectar la integridad del aislamiento. Una vez que un motor es instalado y puesto en servicio es importante evaluar la resistencia y la inductancia del motor en el circuito.

Altos desequilibrios de voltaje, corriente, impedancias resistivas o inductivas pueden indicar problemas en el motor o en el circuito. Identificando desequilibrios menores en una etapa temprana eliminará fallas catastróficas y dolores de cabeza en el futuro.

Aislamiento

Esta zona de falla se refiere a la condición del aislante entre el embobinado y la tierra. Para que los equipos eléctricos operen eficiente y seguramente, es importante que el flujo eléctrico se dé por los canales o circuitos establecidos y que no existan fugas entre las fases. EI deterioro del sistema de aislamiento puede resultar en situaciones inseguras para el personal, al igual que altos gastos por la ineficiencia operativa.

Después de tener los valores de referencia, todas las pruebas consecuentes son comparadas contra estos datos dando las alarmas correspondientes.

Estator

Es considerada una de las zonas de falla más controversiales dado lo complejo que ha sido detectar anomalías en una etapa temprana y así prevenir daños en el bobinado, el cual es el corazón del motor. El bobinado produce el campo magnético rotativo, induce corriente, y genera el torque que hará girar el rotor y el eje. Esta complejidad es mayor en máquinas de alto voltaje, donde el periodo de tiempo entre el inicio dela anomalía y la falla catastrófica es muy corto. Esta zona de falla identifica la integridad y calidad del aislamiento entre espiras, alambres y fases que están en las ranuras y cableado del motor eléctrico.

Cortos entre espiras o entre fases pueden ser catastróficos al motor y no necesariamente ser detectados con un megóhmetro estándar. Excesivos desequilibrios inductivos o resistivos, alta vibración, descargas parciales, y/o pobre calidad de aislamiento conducen a fallas de estator, por lo cual deberían ser monitoreados regularmente para prevenir acortar la vida útil del motor.

Rotor

El estado del rotor se refiere a la integridad de las barras del rotor, las laminaciones, las ranuras y los anillos laterales dela jaula de ardilla de los motores de inducción. Un estudio conjunto entre EPRI y General Electric muestra que defectos en el rotor son causantes del 10% en las fallas de motores. El rotor per se, tiene poca responsabilidad en el total de las fallas en el motor, es causante de anomalías en las otras zonas de falla.

A través de un sistema avanzado de análisis de señal de corriente, se puede proveer de un análisis simultáneo y completo de las tres fases. Usando mediciones de inductancia, análisis de corriente y otras pruebas de rotor, el usuario está en condiciones de ver cambios en la señal magnética del rotor desde una etapa muy temprana.

Entrehierro

El entrehierro describe la distancia entre el rotor y el estator que están dentro del motor. Cuando esta distancia no es igual a través de toda la superficie cilíndrica es porque existe un problema de excentricidad. La variación del flujo magnético dentro del entre hierro crea desequilibrios de flujo de corriente, los cuales pueden ser identificados con un analizador de espectro.

6.3 Metrología Mecánica Aplicada A Motores Eléctricos

Análisis De Vibraciones E Interpretación De Datos

El análisis de vibraciones, la termografía, el análisis de lubricantes, entre otras son técnicas de mantenimiento predictivo que permiten hallar las causas de posibles fallos anticipándose a la avería.

Para la implantación de un mantenimiento predictivo resulta imprescindible la realización de un programa y una organización que aseguren el seguimiento constante y riguroso de los elementos que componen la empresa.

Programa De Mantenimiento Predictivo

Los pasos en que se basa el programa de mantenimiento predictivo se pueden explicar de la siguiente forma. El programa de mantenimiento predictivo sigue una secuencia lógica desde que se detecta un problema, se estudia, se encuentra su causa, y finalmente se decide la posibilidad de corregirlo en el momento oportuno con la máxima eficiencia. Los pasos de que consta son tres:

- Detección: Reconocimiento del problema.
- Análisis: Localización de la causa del problema.
- Corrección: Encontrar el momento y forma de solucionar el problema.

Como se ha dicho, la detección consiste en encontrar un problema en la maquinaria. Para ello es necesario un seguimiento constante y riguroso del nivel de vibraciones de una máquina. El intervalo entre mediciones depende de cada equipo y puede variar desde dos meses a una medición continua, según el tipo e importancia en el proceso. Los puntos elegidos para tomar vibraciones son aquellos donde puede ser posible encontrar un defecto que afecte al buen funcionamiento de la maquinaria, serán lugares en los que se alojen rodamientos, ventiladores, engranajes o uniones entre ejes. En los puntos a medir se tomarán valores de velocidad, aceleración o desplazamiento, en función de la situación del punto y de las características de la máquina.

El aparato utilizado será un colector de datos junto con un programa informático que almacene los valores recogidos en las revisiones rutinarias sobre los elementos de la fábrica. A partir de un histórico de datos de los puntos de cada máquina es posible detectar un problema cuando la tendencia de valores aumenta o se modifica notablemente.

El siguiente paso es analizar el problema detectado, una vez que se ha encontrado éste, se identifican sus posibles causas. Este estudio es complicado, depende en cada caso del punto donde aparece el defecto, la posición y el entorno de la máquina.

No existen rasgos que caractericen de una forma inequívoca una causa de exceso de vibración, si no que la experiencia, el sentido común y el conocimiento de cada máquina son puntos esenciales. Por último, el paso a seguir es la corrección del fallo detectado y analizado, así, una vez encontrado un problema y analizado sus causas, es necesario estudiar las acciones a realizar para solucionarlo, a la vez que buscar el momento adecuado para su reparación, intentando que esta sea lo más eficiente posible y que afecte de forma mínima el proceso de producción, aprovechando para ello una parada o una situación en la que la carga de trabajo para la máquina sea menor que en otras.

Organización Del Programa De Mantenimiento Predictivo

Un estricto y constante seguimiento de las vibraciones de las máquinas proporciona un aviso previo a un fallo que puede obligar a su paro repentino, con lo que esto puede conllevar desde el punto de vista de producción.

A la vez, este tipo de mantenimiento puede disminuir costes en los cambios de elementos programados y que todavía pueden continuar trabajando por más tiempo. Es por tanto una forma de mejorar la eficiencia de un mantenimiento preventivo.

En la organización del mantenimiento predictivo son importantes los siguientes nueve pasos:

A. Reconocimiento de la planta

En primer lugar, antes de la implantación del mantenimiento predictivo es preciso decidir la necesidad y eficacia en una empresa. Esta decisión estará en función del tipo de máquinas, de la cantidad y de su importancia en el proceso.

B. Selección de las máquinas

Dentro de una fábrica se hará un estudio de vibraciones de acuerdo a un calendario establecido de aquellos equipos que forman parte del proceso de producción de una forma esencial, es decir, de aquellos cuyo fallo provocaría pérdidas importantes desde el punto de vista de producción, por pérdidas económicas, dificultad y cantidad de tiempo en volver a arrancar.

De igual modo, se seguirá de forma constante la parte de la maquinaria que por su tamaño o valor económico, productivo sean importantes para la empresa.

C. Elección De Técnicas Óptimas Para Verificar

Forma de efectuar la verificación, decidir qué, cómo, cuándo, dónde se han de realizar las mediciones.

D. Implantación Del Predictivo

El programa de implantación del predictivo debe contener:

- Máquinas a estudiar.
- Sistema de medición, toma de datos y análisis de los mismos.
- Datos para comparar.
- Conocimiento del tipo de mantenimiento y de los medios para tomar datos.

E. Fijación Y Revisión De Datos Y Límites De Condición Aceptable

Para fijar un límite según valores que pueden llamarse normales es esencial contar con un histórico de datos obtenido en repetidas mediciones. Un valor medio de los datos obtenidos dará el nivel de vibración aceptable de cada uno de los puntos medidos. Los límites que marcan que un valor sea aceptable serán fijados según este histórico de datos y de la experiencia.

Al principio, cuando no se tiene un conjunto de valores que permitan estimar si una vibración está dentro de los límites que marcan su normalidad, la aceptación de un valor se hará mediante las instrucciones del fabricante y con las gráficas de severidad.

F. Mediciones De Referencia

Siempre se tendrá una medida de referencia con la que se compararán cada una que se tome para ver si está entre los límites de aceptabilidad.

G. Recopilación, Registro Y Análisis De Las Tendencias.

Aquí se tratará de detectar un posible defecto en la máquina.

H. Análisis De La Condición De La Máquina

En este paso se confirmará si existe realmente un fallo y se determinarán sus causas y la evolución que pueden sufrir.

I. Corrección De Fallos.

6.4 Vibraciones

Definición y Características

Para empezar se puede dar una definición y características de la vibración. La vibración es el movimiento de vaivén de una máquina o elemento de ella en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio. Generalmente, la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como son: desequilibrio de elementos rotativos; desalineación en acoplamientos; engranajes desgastados o dañados; rodamientos deteriorados; fuerzas aerodinámicas o hidráulicas, y problemas eléctricos.

Estas causas como se puede suponer son fuerzas que cambian de dirección o de intensidad, estas fuerzas son debidas al movimiento rotativo de las piezas de la máquina, aunque cada uno de los problemas se detecta estudiando las características de vibración.

Las características más importantes son: frecuencia, desplazamiento, velocidad, aceleración, spike energy (energía de impulsos).

La frecuencia es una característica simple y significativa en este análisis. Se define como el número de ciclos completos en un período de tiempo. La unidad característica es cpm (ciclos por minuto). Existe una relación importante entre frecuencia y velocidad angular de los elementos rotativos. La correspondencia entre cpm y rpm (ciclos por minuto-revoluciones por minuto) identificará el problema y la pieza responsable de la vibración. Esta relación es debida a que las fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de giro. Los diferentes problemas son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro o bien múltiplos suyos. Cada tipo de problema muestra una frecuencia de vibración distinta.

La amplitud de la vibración indica la importancia, gravedad del problema, esta característica da una idea de la condición de la máquina. Se podrá medir la amplitud de desplazamiento, velocidad o aceleración. La velocidad de vibración tiene en cuenta el desplazamiento y la frecuencia, es por tanto un indicador directo de la severidad de vibración. La severidad de vibración es indicada de una forma más precisa midiendo la velocidad, aceleración o desplazamiento según el intervalo de frecuencias entre la que tiene lugar, así para bajas frecuencias, por debajo de 600 cpm, se toman medidas de desplazamiento. En el intervalo entre 600 y 60.000 cpm, se mide velocidad, y para altas frecuencia, mayores a 60.000 cpm, se toman aceleraciones.

La velocidad es otra característica importante en la vibración, gráficamente se puede ver en la figura 90.

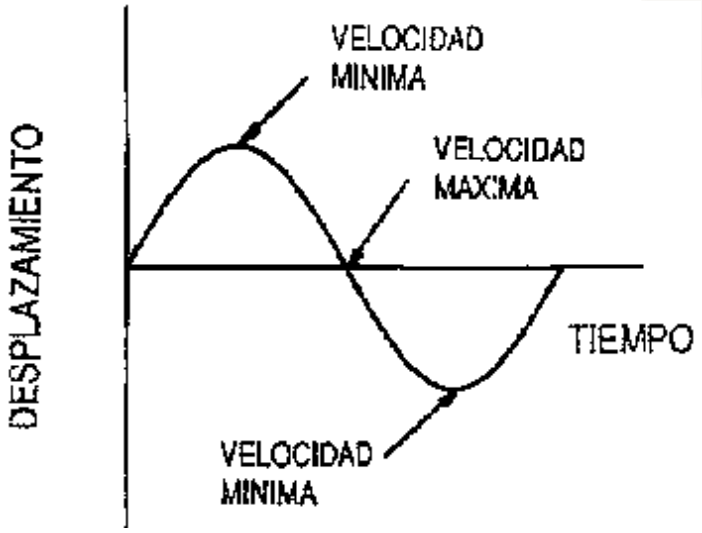


Figura 1

Gráfica de la velocidad de un objeto que vibra.

Se mide la velocidad de pico mayor de todo el recorrido que realiza el elemento al vibrar. La unidad es mm/s. El cambio de esta característica trae consigo un cambio de aceleración. La velocidad tiene una relación directa con la severidad de vibración, por este motivo es el parámetro que siempre se mide. Las vibraciones que tienen lugar entre 600 y 60.000 cpm se analizan teniendo en cuenta el valor de la velocidad.

La aceleración está relacionada con la fuerza que provoca la vibración, algunas de ellas se producen a altas frecuencias, aunque velocidad y desplazamiento sean pequeños En la figura 2, se puede ver la aceleración de vibración.

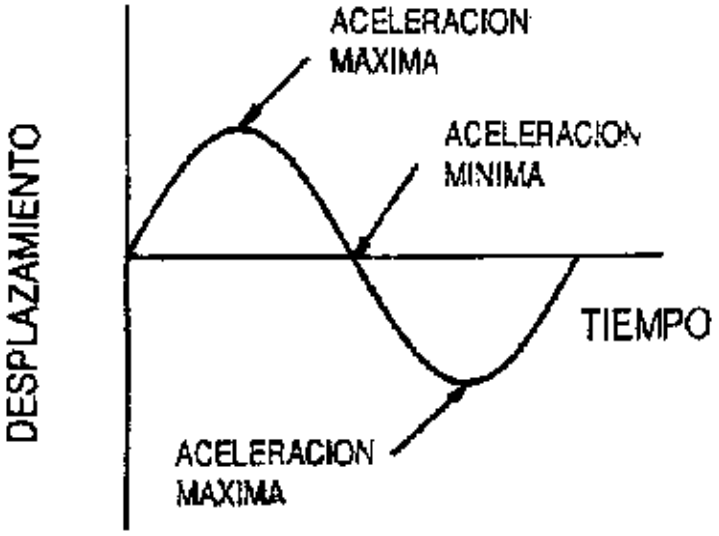


Figura 2

Gráfica de la aceleración de un objeto que vibra.

El spike energy o energía de impulsos proporciona información importante a la hora de analizar vibraciones. Este parámetro mide los impulsos de energía de vibración de breve duración y, por lo tanto, de alta frecuencia.

Pueden ser impulsos debidos a: Defectos en la superficie de elementos de rodamientos o engranajes. Rozamiento, impacto, contacto entre metal-metal en máquinas rotativas. Fugas de vapor o de aire a alta presión. Cavitación debida a turbulencia en fluidos.

Sin este parámetro es muy difícil detectar engranajes o rodamientos defectuosos. Con esta medida se encuentran rápidamente las vibraciones a altas frecuencias provocadas por estos defectos. El valor de spike energy es básicamente una medida de aceleración, pero tiene como unidad g-SE.

Severidad De Vibración

Un punto importante a la hora de hablar de vibraciones es conocer la severidad de vibración, ella indica la gravedad que puede tener un defecto. La amplitud de la vibración expresa la gravedad del problema, pero es difícil establecer valores límites de la vibración que detecten un fallo.

La finalidad del análisis de vibraciones es encontrar un aviso con suficiente tiempo para poder analizar causas y forma de resolver el problema ocasionando el paro mínimo posible en la máquina.

Una vez obtenido un histórico de datos para cada elemento de las máquinas que se estudian, el valor medio refleja la normalidad en su funcionamiento. Desviaciones continuas o excesivas indicarán un posible fallo que será identificado después, teniendo en cuenta la frecuencia a la que se producen las mayores vibraciones.

Cuando no se posee histórico de datos para una máquina, puede analizarse la severidad de vibración teniendo en cuenta las siguientes gráficas (figs. 3 y 4):

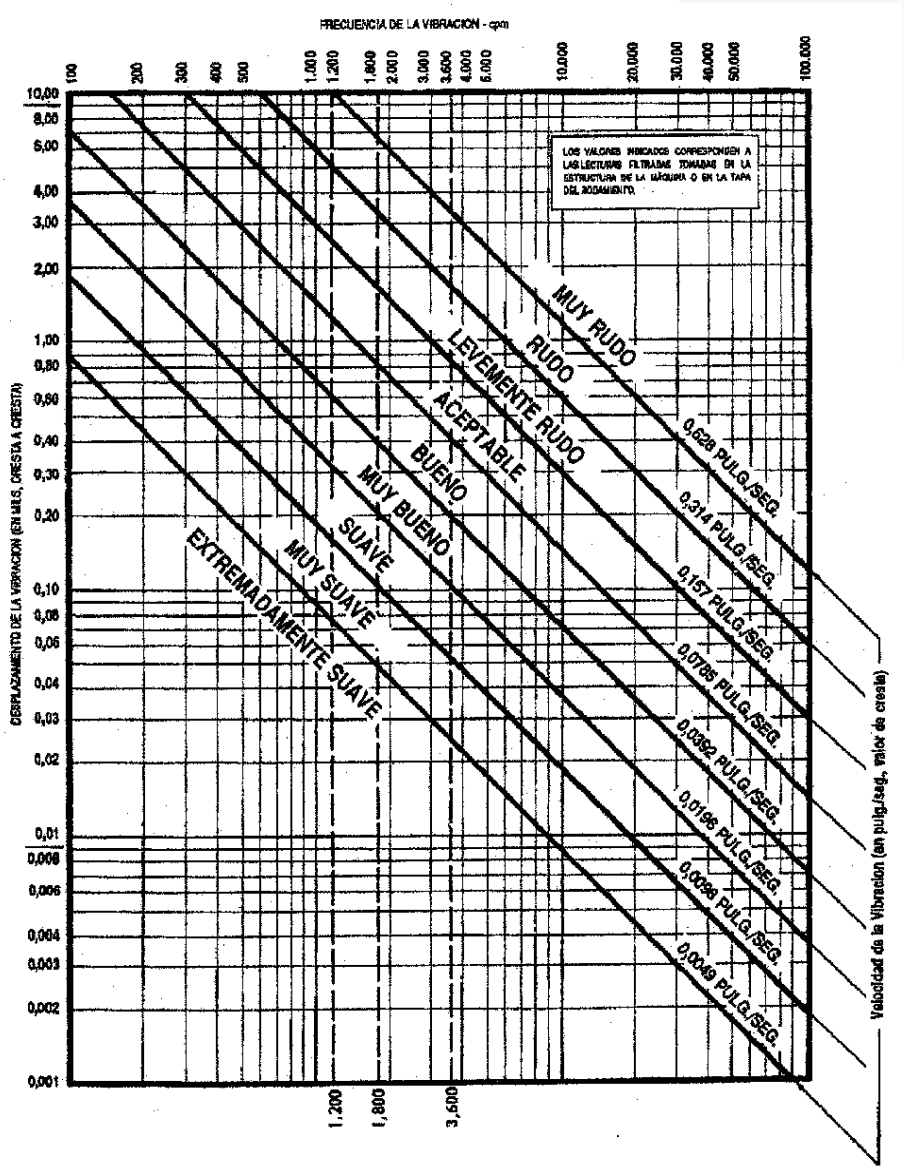


Figura 3

Gráfica de la severidad de la velocidad y el desplazamiento.

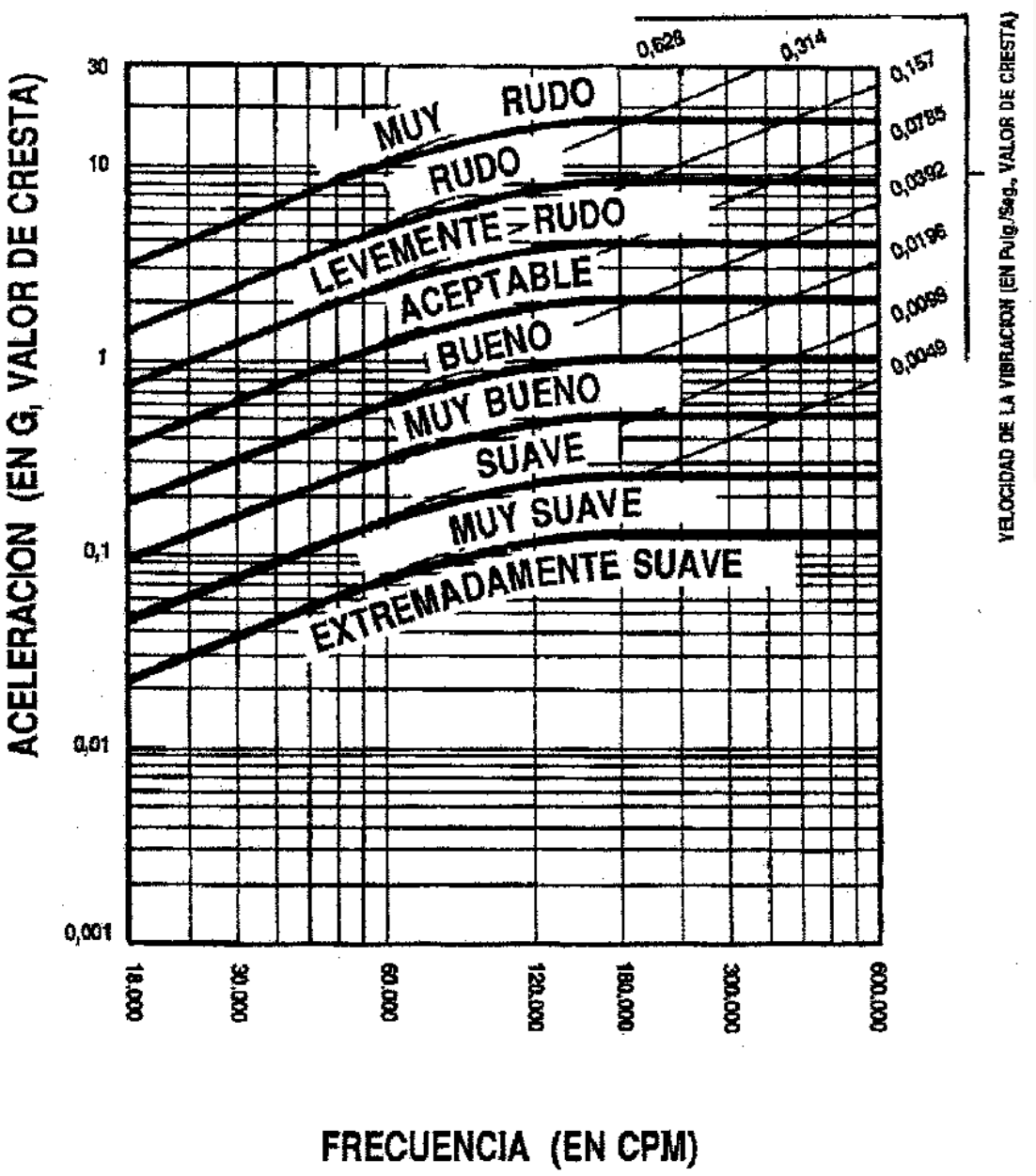


Figura 4

Gráfica de la severidad de la velocidad de aceleración.

La esencia del estudio de vibraciones es realizar el análisis de las mismas. El análisis de datos consta de dos etapas: adquisición e interpretación de los datos obtenidos al medir la vibración de la máquina. El fin a alcanzar es determinar las condiciones mecánicas del equipo y detectar posibles fallos específicos, mecánicos o funcionales.

La adquisición de datos es el primer y principal paso a dar para hacer un análisis de vibraciones. Los datos a tomar, desplazamiento, velocidad o aceleración dependerán de la velocidad de la máquina, de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia (rpm=cpm). Así, para bajas rpm, (bajos cpm), se tomarán datos de desplazamientos. Para velocidades que estén dentro del orcen de 600 y 60.000 rpm, se medirán velocidades. Y para los que sean de orden superior, los datos a tomar serán aceleraciones (fig. 5).

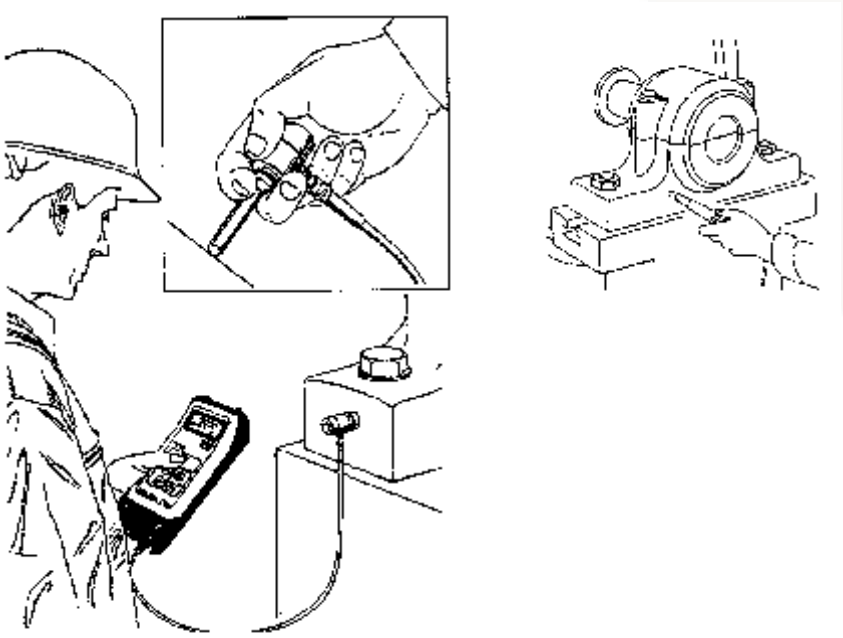


Figura 5

Toma de datos con transductor.

Pasos a seguir en la adquisición de datos:

1. Determinación de las características de diseño y funcionamiento de la máquina, como son: velocidad de rotación de la máquina, tipo de rodamiento, engranaje y condiciones del entorno en que esté situada como es el tipo de apoyo, acoplamientos, ruido, etc. También habrá que tener en cuenta las condiciones de funcionamiento como velocidad y cargas entre otras que normalmente afectarán a las mediciones de vibración.
2. Determinación de la finalidad de la vibración que podrá incluir:
   - Medidas de rutina para detectar en un momento determinado un posible fallo y determinar las causas que lo originan.
   - Medidas para crear un histórico de datos y con él obtener un valor de base, sobre el que estará el valor de vibración que deba tener la máquina cuando sus condiciones de trabajo sean normales.
   - Toma de datos antes y después de una reparación, la medida de antes pondrá de manifiesto el problema, elemento defectuoso y será más eficaz así su reparación. Después de la reparación se tomarán medidas que indiquen la evolución del elemento sustituido o la corrección del defecto existente.
3. Selección de los parámetros de medición: desplazamiento, velocidad, aceleración, spike energy. Ellos determinarán el transductor a utilizar.
4. Determinación de posición y dirección de las medidas con los transductores, la vibración se tomará generalmente en rodamientos de la máquina o puntos donde sea más probable un fallo por acoplamiento, equilibrio, puntos donde se transmitan las fuerzas vibratorias. Los tres sentidos principales en una medición son horizontal, vertical y axial. Sentidos radiales son horizontal y vertical, y se toman con eje del transductor a 90° con respecto al eje de rotación, como se observa en la figura 6.

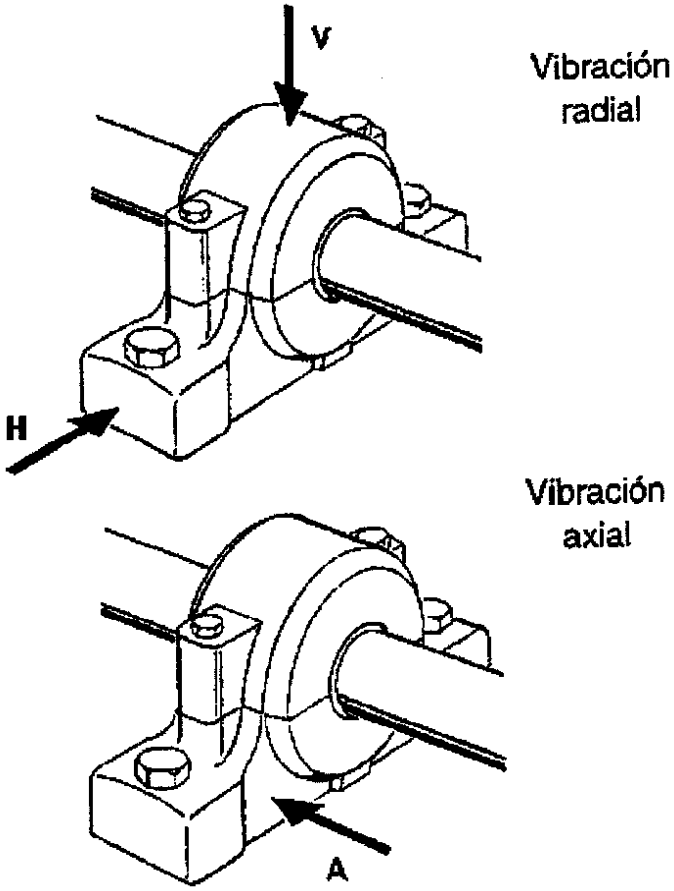


Figura 6

Sentido de toma de datos en una silla.

5. Selección del instrumento de medición y transductores.
6. Determinación del tipo específico de datos requeridos para la interpretación de las medidas realizadas. Así se ahorrará tiempo a la hora de realizar las medidas y se obtendrá de estas, información más útil en el análisis. Los datos obtenidos pueden ser: valores de magnitud total, espectro de frecuencias amplitud-frecuencia que indica el tipo de problema existente, amplitud-tiempo para vibraciones transitorias rápidas o vibraciones muy lentas, spike energy en rodamientos, engranajes y problemas de cavitación (fig. 7).

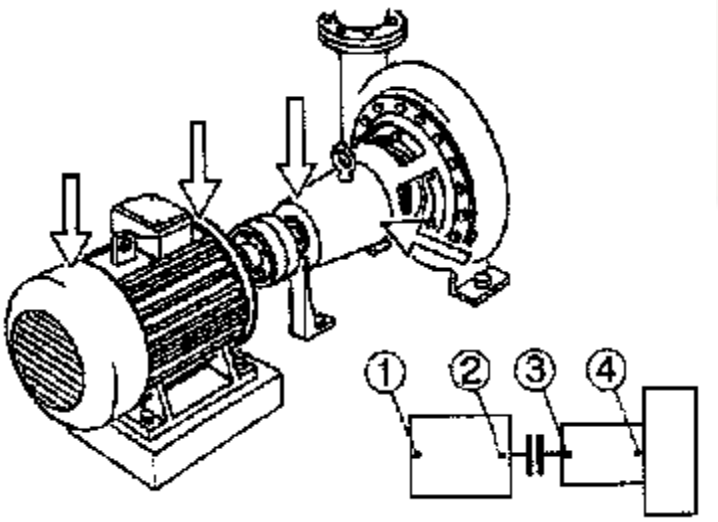


Figura 7

Puntos de toma de datos de motor y bomba.

7. Toma de datos. Paso esencial en el análisis, precisa de atención y fiabilidad de las medidas tomadas.

A la hora de la adquisición de datos es importante tener en cuenta:

- Secuencias de medición, tomar datos correctos y lo más rápido posible, evitan tiempo perdido.
- Lugar de toma de datos siempre será el mismo, con el transductor unido de una forma firme, para la veracidad de los datos.
- Seguimiento de la máquina, es decir, mantener un contacto con los operarios que trabajan con ella y los de mantenimiento, ellos serán las personas que conocen de cerca la máquina.
- Controlar el entorno exterior de la máquina, aspecto, ruido, etc.
- Atender tendencias inesperadas. Estar preparado para tomar más datos, medidas cuando pueda haber signos de algún problema.
- Mantener sólo datos coherentes, tomados con precisión.
- Comparar con máquinas similares y en igual forma de trabajo.

Por tanto, se puede decir que la toma de datos es un paso esencial para un buen análisis de vibraciones. Para una buena interpretación de los datos es necesario tener unos datos fiables que hayan sido tomados de una forma metódica y precisa. Así podrá hacerse un diagnóstico de algún problema lo más exacto posible.

Identificación de Causas de Vibraciones. Interpretación de Datos

Una vez obtenidos de una forma metódica y precisa los datos de vibraciones de una máquina donde se ha detectado un problema, es necesario identificar cual ha sido su causa y así buscar la forma y momento de reparación más eficiente, es decir, que elimine el fallo y su coste económico sea el mínimo posible.

Un defecto puede localizarse al comparar las amplitudes de las vibraciones tomadas. Normalmente una máquina que funciona correctamente tiene valores que suelen seguir una línea con tendencia ligeramente ascendente o constante. Cuando en algún momento los

valores aumentan o la tendencia asciende de una forma inesperada, se puede pensar en la presencia de algún problema.

Generalmente los valores de amplitud que se comparan son los de velocidad, una vez observado que esta ha aumentado de una forma inesperada, es importante comparar los valores de la energía de impulsos (g), estos valores indicarán la gravedad del problema. Así un fallo puede detectarse al encontrar una tendencia de velocidad ascendente de forma imprevista y unos valores del parámetro g altos. También es posible que existiendo un problema haya valores de spike energy altos y de repente disminuyan y poco a poco aumenten, esto puede dar lugar a un fallo total, donde la máquina deje de funcionar. Valores altos de spike energy pueden ser indicadores en la mayor parte de los casos de problemas de rodamientos, acoplamientos y en los casos más extraños de problemas hidráulicos.

Generalmente la máxima amplitud de vibración se da en los puntos donde se localiza el problema, aunque muchas veces la vibración es transmitida a otros puntos de la máquina aunque en ellos no se encuentre el problema. El análisis de las gráficas puede indicar el tipo de defecto existente, pero muy pocas veces aparecen problemas únicos y por tanto espectros donde se refleje un defecto claramente. La experiencia y el conocimiento de la máquina son dos factores fundamentales a la hora de identificar la causa que produce una vibración importante.

Es esencial una vez corregido el problema seguir la evolución de la reparación, de esta forma se conocerá si realmente existía el defecto, si estaba situado en el punto con máxima vibración y lo que es más importante, seguir la evolución tras la reparación y asegurarse que el problema ha desaparecido.

El estudio de los datos de vibraciones, de sus espectros es la base para encontrar las causas y la forma de corregir el defecto que ellas indican. Sólo es importante prestar especial atención a las vibraciones que vayan acompañadas de otros efectos como ruido, pérdida de aceite o cualquier fallo, o bien los valores de amplitudes que sean excesivos comparados con otros en funcionamiento correcto, en esos casos se analizará la forma de los espectros que identificarán las causas de los problemas.

Los problemas mecánicos más comunes en las máquinas que producen vibraciones son desequilibrio entre ejes, falta de alineación de acoplamientos, defectos en rodamientos y engranajes y problemas eléctricos. A continuación se pueden ver la forma de identificar estos problemas analizando los datos y espectros de vibraciones.

Desequilibrio

Esta es una de las causas más probable de que exista vibración en las máquinas, en casi todos los elementos es fácil encontrar un pico en el gráfico de amplitud frente a frecuencia, que denote un pequeño desequilibrio.

Como se puede ver en el siguiente gráfico (fig. 8) hay un pico en una frecuencia que coincide con la velocidad de giro.

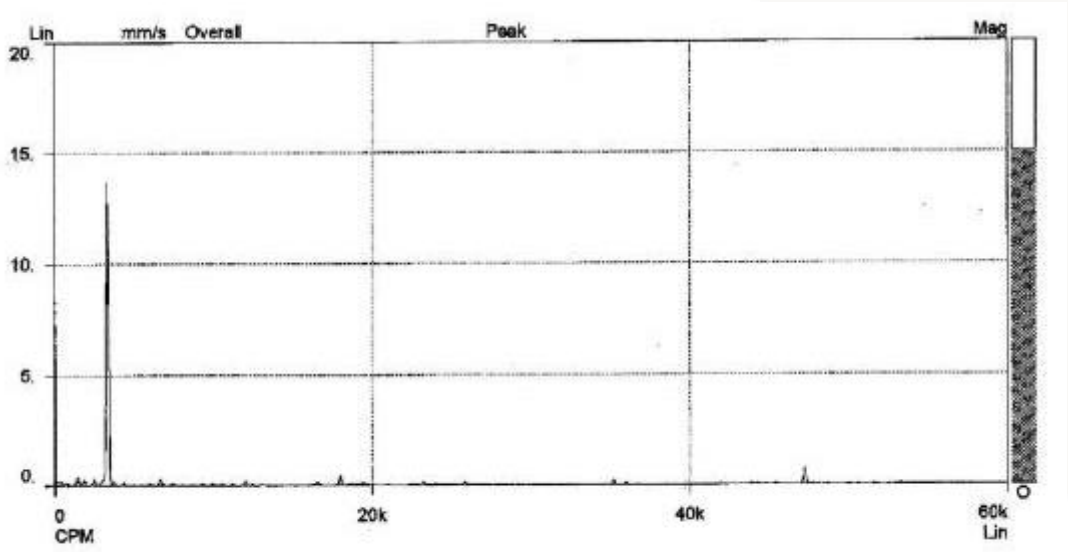


Figura 8

Espectro de velocidad de un problema de desequilibrio.

Para conocer la cantidad de desequilibrio hay que encontrar la amplitud de la vibración en la frecuencia igual a 1 x rpm. La amplitud es proporcional a la cantidad de desequilibrio. Normalmente, la amplitud de vibración es mayor en sentido radial (horizontal y vertical) en las máquinas con ejes horizontales, aunque la forma de la gráfica sea igual en los tres sentidos.

Como se ha dicho antes, para analizar datos de vibraciones son tan importantes la experiencia y el conocimiento de la máquina como los datos tomados en ella. Cuando aparece un pico en frecuencia igual a 1 x rpm. El desequilibrio no es la única causa posible, la desalineación también puede producir picos a esta frecuencia. Al aparecer vibraciones en esta frecuencia como otras causas posibles están los engranajes o poleas excéntricas, falta de alineamiento o eje torcido si hay alta vibración axial, bandas en mal estado (si coincide con sus rpm), resonancia o problemas eléctricos, en estos casos además del pico a frecuencia de 1 xrpm habrá vibraciones en otras frecuencias.

Desalineación

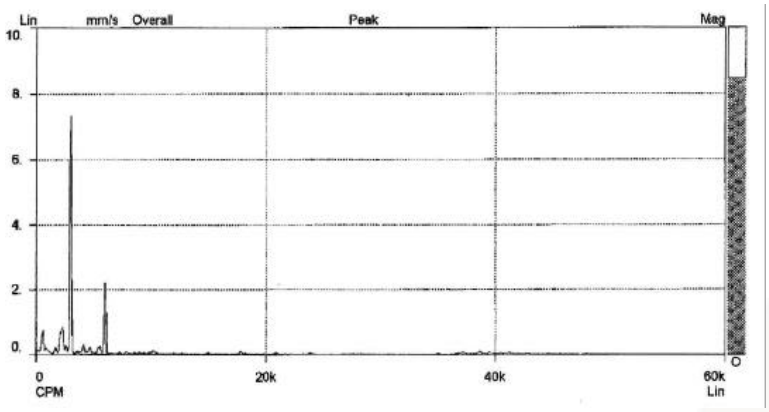


Figura 9

Es un problema muy común debido a la dificultad que supone alinear dos ejes y sus rodamientos de forma que no se originen fuerzas que produzcan vibraciones.

La forma de vibración de un eje torcido es similar a la de una mala alineación angular.

Para reconocer una vibración debida a una desalineación en la gráfica se pueden ver picos a frecuencias iguales a la velocidad de giro del eje, de dos o tres veces esta velocidad en situaciones donde este problema sea grave. Un ejemplo del espectro de este problema se observa en la figura 9, la forma de la gráfica será similar en las tres direcciones, variando únicamente la amplitud. Igual que en todos los casos, la amplitud es proporcional a la gravedad del defecto, aquí de desalineación. Este fallo puede presentar alta vibración en sentido axial además de radial. Así siempre que exista una alta vibración en axial y radial, y sila axial es mayor que la mitad de la radial puede existir un problema de desalineación o ejes torcidos.

En la figura 10 se pueden ver los tres tipos básicos de desalineación, en paralelo, angular y una combinación de ambos. La falta de alineación en paralelo, figura 11, produce sobre todo vibración en dirección radial con frecuencia igual al doble de la velocidad de giro del eje.

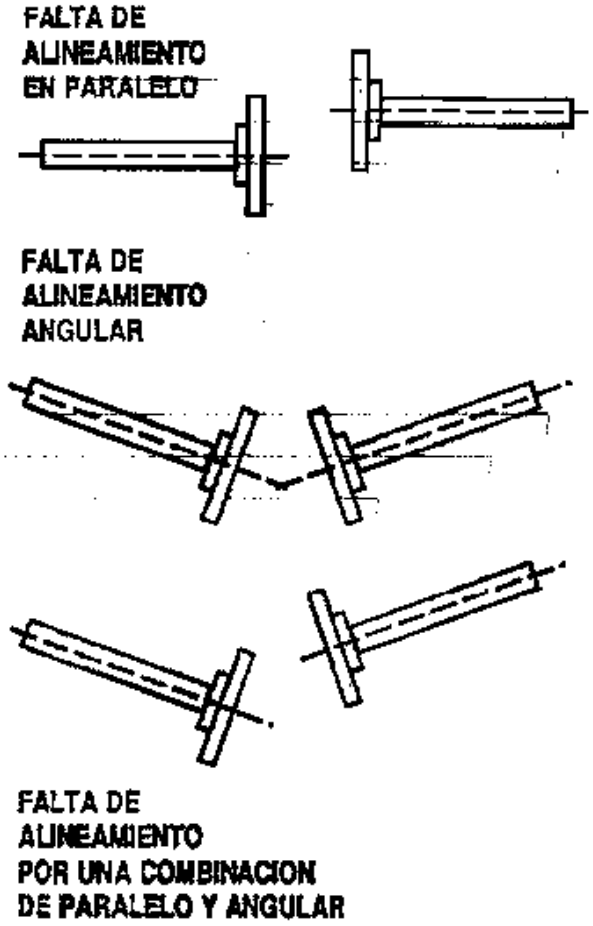


Figura 10

Tipos de falta de alineación.

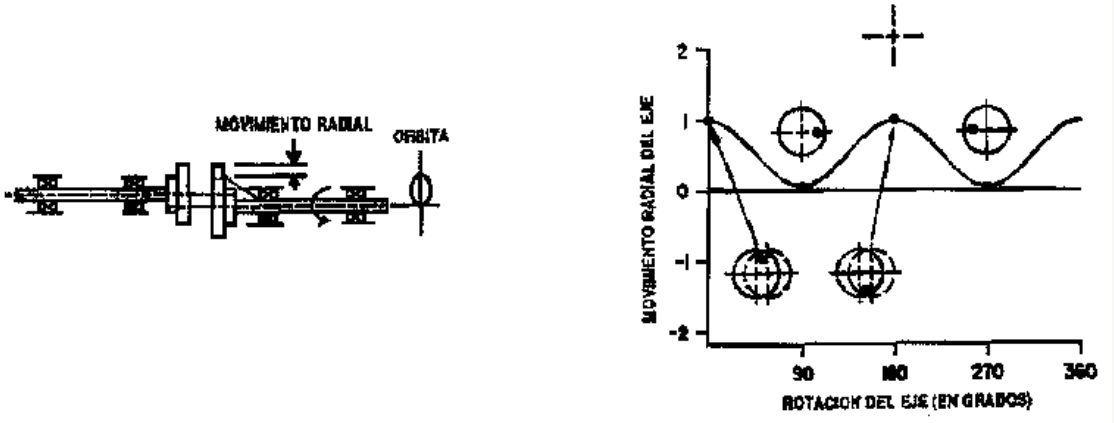


Figura 11

Falta de alineación en paralelo.

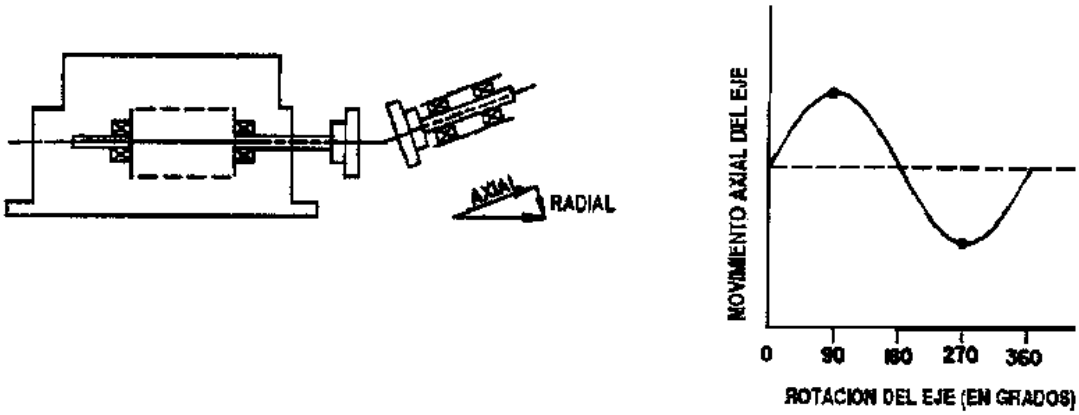


Figura 12

Falta de alineación angular.

La falta de alineación angular, representada en la figura 12, da vibración en dirección axial en los dos ejes a una frecuencia igual a 1 x rpm.

Las condiciones de una desalineación no siempre llevan consigo un acoplamiento.

Una desalineación entre eje y su rodamiento, figura 13, es un ejemplo usual de este defecto y que sólo se elimina corrigiendo la colocación del rodamiento.

Un casquillo mal alineado con su eje, como se ve en la figura 13, no crea vibración importante, a menos que además exista un problema de desequilibrio, este defecto sería el que produciría una falta de alineación.

Engranajes.

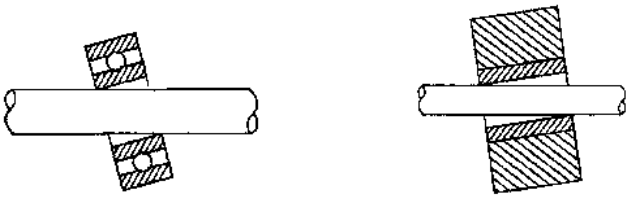


Figura 13

Rodamiento y casquillo mal alineados respecto al eje.

Este defecto se puede observar al encontrar picos a frecuencias que coinciden con múltiplos enteros de la velocidad de giro del engranaje que falla, además existirá vibración de amplitud menor de forma simétrica a la frecuencia del engranaje. En la figura 14 se pueden observar picos de valor importante a frecuencias que son múltiplos de la velocidad de giro de un piñón, de forma simétrica a estos picos existen otros de valor muy pequeño y separados una distancia igual a la velocidad de giro.

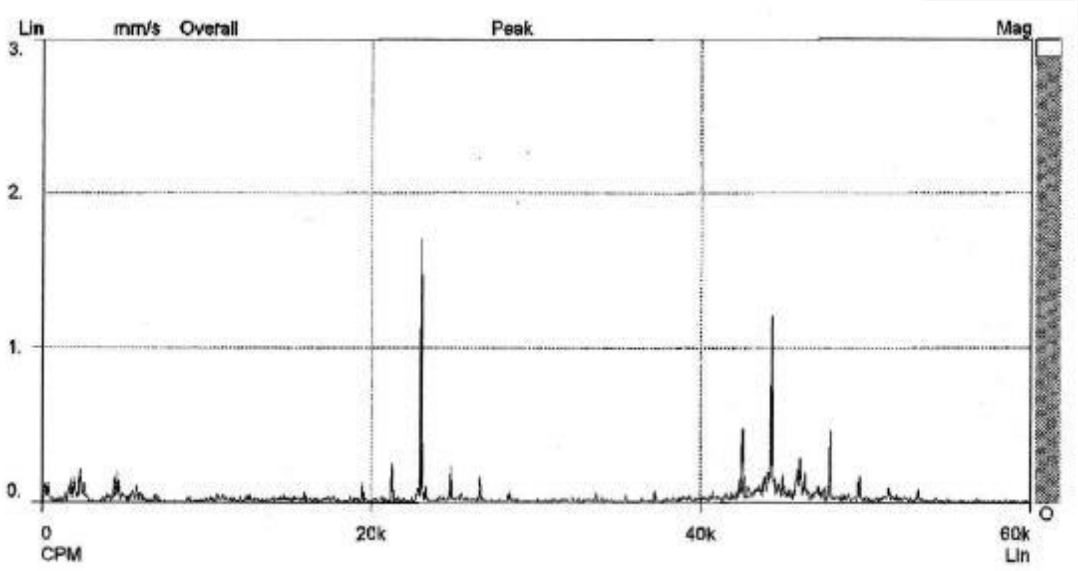


Figura 14

Espectro de velocidad de un problema de engranaje.

Los problemas de engrane que dan esta vibración son: desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallos de lubricación, elementos extraños entre dientes. Las vibraciones causadas por defectos de engranajes pueden ser detectadas en varios puntos de las máquinas. Esta es una característica que diferencia una gráfica causada por un engranaje con poca carga y la vibración producida por un rodamiento, ya que el diagrama de amplitud frente a frecuencia puede dar lugar a confusión cuando la carga del piñón es baja.

Tanto el fallo de engranaje como el de un rodamiento, llevan consigo también la aparición de ruido.

Problemas Eléctricos

La vibración es creada por fuerzas desiguales que pueden ser causadas por la forma interna de elemento. Es complicado reconocer gráficamente este problema, ya que no tiene características que indiquen de forma sencilla que esta es la causa de vibración.

El espectro puede llevar a errores por ser similar a la del desequilibrio, solo que aquí al desconectar la corriente el problema desaparecerá. Se detectarán picos mayores a distancias iguales a cuatro veces la velocidad de giro si los polos son cuatro, distinguiendo la vibración separada una frecuencia coincidente con la velocidad de giro. En la figura 15 se ve el espectro que da este tipo de problema.

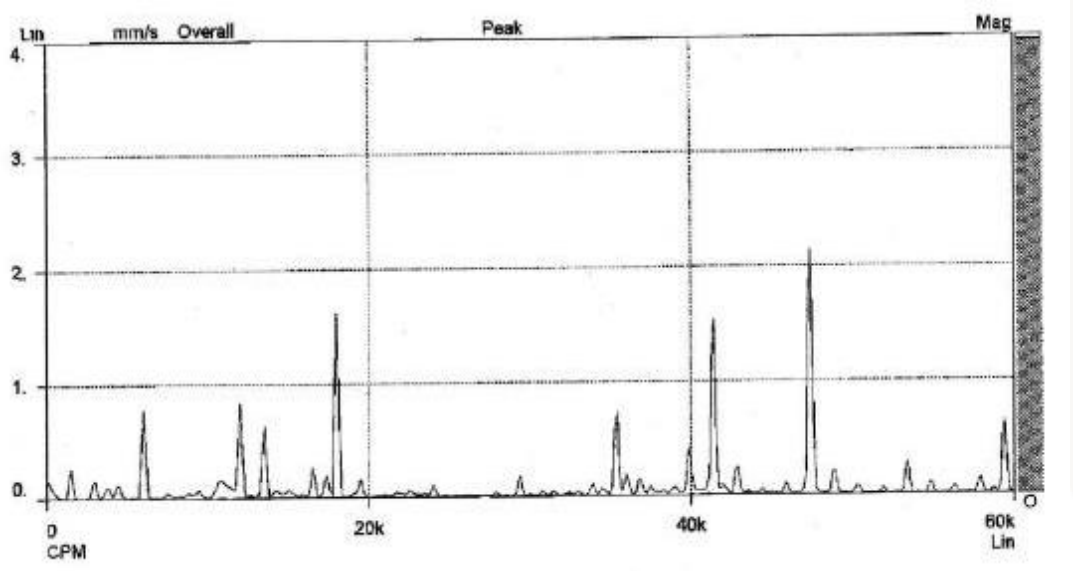


Figura 15

Espectro de velocidad de un problema eléctrico.

Rodamientos

Fallos en elementos del rodamiento dan vibración a unas frecuencias altas no relacionadas con la velocidad de rotación y de amplitud también aleatoria. A continuación, en las figuras 16 y 17 se pueden observar los espectros de velocidad y aceleración, respectivamente, de un rodamiento de bolas defectuoso.

Es relativamente fácil reconocer este fallo a ver la gráfica de amplitud-frecuencia, ya que se caracteriza por tener muchos picos juntos a altas frecuencias y de amplitud variable que dependerá de la gravedad del problema. La frecuencia a la que se produce la máxima amplitud puede dar una idea del elemento defectuoso del rodamiento. Los defectos en elementos rodantes, pistas de rodamiento o jaula de retención generan fuerzas que se transmiten al alojamiento y estructura que les rodea.

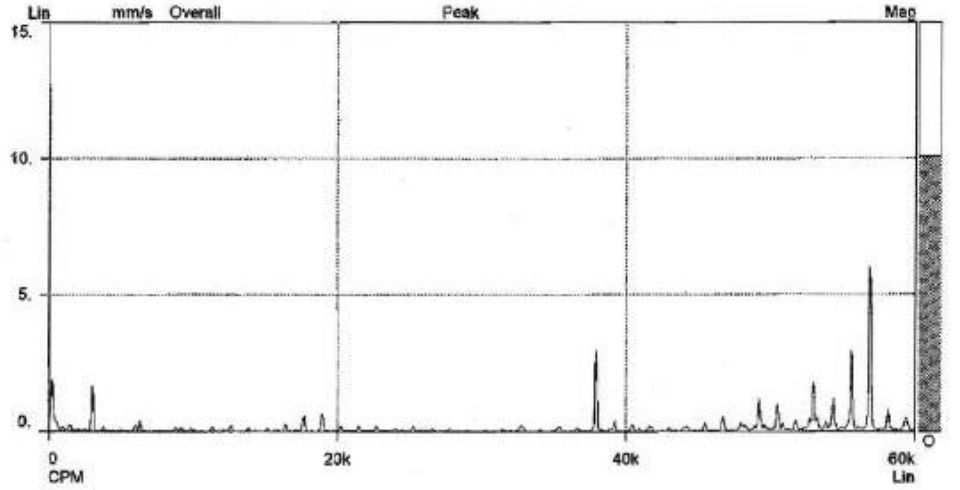


Figura 16

Espectro de velocidad de un rodamiento defectuoso.

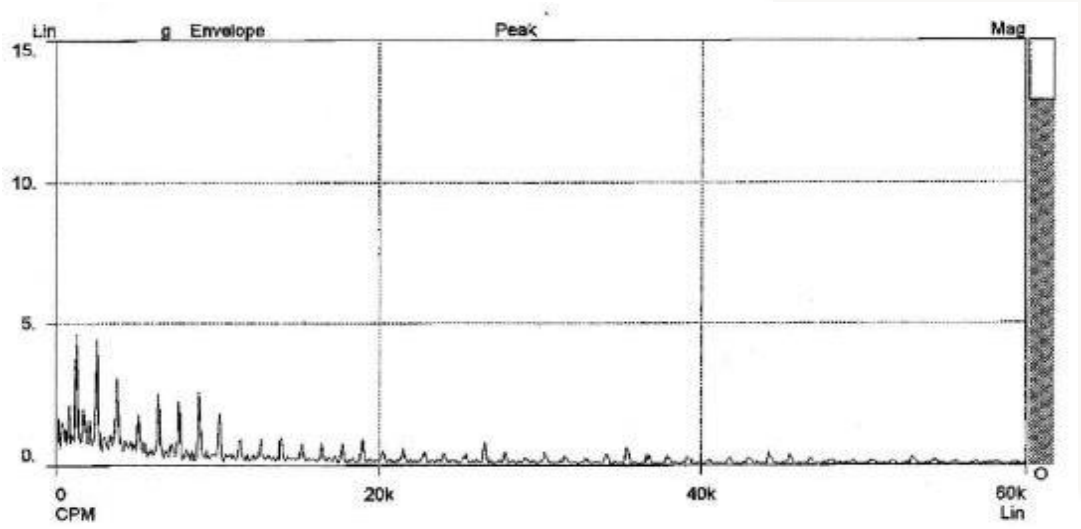
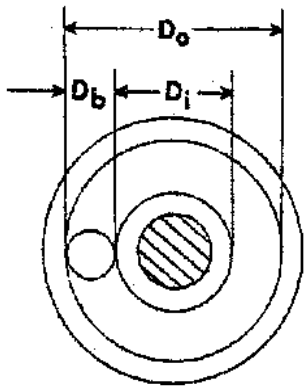


Figura 17

Espectro del parámetro g de un rodamiento defectuoso.



Nota: Eje en rotación, pista de deslizamiento externa fija

Defecto de la jaula o de una bola $F_{(jaula)} = \frac{D_i}{D_i+D_o} \times rpm$

Defecto de una bola $F_{(bola)} = \frac{D_o}{D_b} \times \frac{D_i}{D_i+D_o} \times rpm$

Defecto de la pista de deslizamiento interna $F_{(int)} = \frac{D_o}{D_i+D_o} \times M \times rpm$

Defecto de la pista de deslizamiento externa $F_{(ext)} = \frac{D_i}{D_i+D_o} \times M \times rpm$

Donde:
- D_i = diámetro de la pista de deslizamiento interna
- D_o = diámetro de la pista de deslizamiento externa
- D_b = diámetro de la bola
- M = cantidad de bolas en el rodamiento
- rpm = velocidad de rotación del eje
- F = frecuencia del defecto en cpm

Figura 18

Para detectar qué tipo de fallo existe se ha de obtener la frecuencia a la que la amplitud es mayor y comparar con las calculadas según las fórmulas dadas en la figura 18.

Cuando esta es la causa de la vibración es importantísimo conocer el valor de spike energy, con este parámetro se puede intuirla gravedad del problema. La gráfica que representa g-frecuencia indica que la vibración del rodamiento a alta frecuencia es inestable y generada al azar.

Así el estado de la máquina se identifica según la siguiente tabla:

	Nivel de vibración			
Estado máquina	Desplazamiento	Velocidad	Aceleración	*Spike energy*
Buenas condiciones	Normal	Normal	Normal	Normal
Rodamiento defectuoso Funcionamiento	Normal	Normal	Normal	Alto
Rodamiento defectuoso Funcionamiento	Normal	Normal	Alto	Alto
Problemas Analizar, parar	Normal	Alto	Alto	Alto
Problemas Analizar, parar	Alto	Alto	Alto	Alto

Figura 19

El fallo de un rodamiento se detecta sólo en la medida realizada en él, es decir, no se transmitirá al resto de los puntos de la máquina. Exteriormente el rodamiento defectuoso se notará por el exceso de ruido.

Los rodamientos son elementos importantes en la máquina y cuyo fallo puede dar problemas más graves, por eso es necesario tener un especial cuidado con ellos. Pueden fallar por errores en el montaje, lubricación inadecuada, defectos internos en la fabricación, corriente eléctrica, desalineación, rodamiento no preparado para la carga que soporta. Estas son las causas más comunes de fallo.

Por tanto, el análisis de vibraciones es una técnica, que aunque no exacta, es capaz de encontrar fallos en máquinas, anticipándose a la avería. Las ventajas de realizar este tipo de mantenimiento son la desaparición de fallos repentinos en los equipos estudiados, conocimiento del estado de la máquina en cada momento. Así se disminuyen los costes económicos por reparaciones imprevistas, paro en el proceso de producción, cambios de elementos que todavía pueden seguir funcionando, aumento de la eficiencia y disminución de costes de una parada, además de todo esto, ayuda a mejorar el mantenimiento preventivo a realizar en la fábrica. Detrás de todo esto las ventajas que ofrece este estudio son sobre todo de tipo económico, de seguridad frente a averías repentinas.

6.5 Pernos y Torques

Debido a que los pernos sueltos pueden causar fallas tanto mecánicas como eléctricas, todos los pernos y tuercas deben mantenerse apretados. El chequeo del apriete de los pernos debe ser incluido en los programas de mantención. La Tabla 2 entrega los valores de torque de los pernos para partes metálicas. Para los pernos de interpolo y polo principal, refiérase a la Tabla 3.

Tamaño de Llave	Tamaño de Hilo	Cabeza Hexagonal C1C5 Acero al Carbono Medio (Conexión Eléctrica)	
		Torque	
		Libra-Pie	Newton-Metros
7/16"	1/4-20	7-9	9-12
1/2"	5/16-18	13-17	18-23
9/16"	3/8-16	24-30	33-40
3/4"	1/2-13	60-75	80-100
15/16"	5/8-11	120-150	160-200
1-1/8"	3/4-10	210-260	280-350
1-3/16"	7/8-9	320-400	430-540
1-1/2"	1-8	460-580	620-790

Tabla 1

Valores de Torque para Apriete de Pernos - Partes Metálicas

La información contenida en la Tabla 2 es aplicable a todas las uniones apernadas, excepto cuando las partes no metálicas se encuentran apernadas a las partes metálicas. En este caso se recomiendan los valores de menor torque indicados en la Tabla 3 con el fin de impedir la fracturación de partes.

Tamaño de Llave	Tamaño de Hilo	Cabeza Hexagonal C1C5 Acero al Carbono Medio (Yugos, prisioneros escobilla, soportes de bobinas)	
		Libra-Pie	Newton-Metros
7/16"	1/4-20	5-7	7-9
1/2"	5/16-18	7-9	9-12
9/16"	3/8-16	13-17	18-23
3/4"	1/2-13	24-30	33-41
15/16"	5/8-11	60-75	80-100

Tabla 2

Valores de Torque para Apriete de Pernos - Partes No Metálicas a Partes Metálicas

Las siguientes precauciones, las cuales aplican al apriete de las uniones apernadas, deben ser consideradas en los procedimientos de mantención:

- Use una llave con limitador de torque solamente para apretar. Cuando sea necesario soltar los pernos, use otro tipo de llave.
- Las superficies de presión de los cojinetes y los hilos de las tuercas y pernos deben encontrarse limpias, secas y libres de aceite y grasa, en el momento de ajustarlas al valor de torque dado. Al encontrarse los hilos con aceite, se debe reducir los valores de torque en un 10%.
- Al apretar inicialmente una unión apernada, el último giro debe apretarse con una llave con limitador de torque para obtener un ajuste exacto.
- Cuando se revise el apriete de las uniones apernadas, la llave de torque debe usarse a los valores de torque máximo indicados en la Tabla 2 y Tabla 3 para asegurar un apriete adecuado.

Los pernos de polo sueltos pueden causar serias fallas catastróficas. A pesar que todos los pernos de polo son ajustados según los valores de torque específicos durante la fabricación, estos deben inspeccionarse periódicamente en terreno. La experiencia ha demostrado que las uniones apernadas tienden a soltarse durante el embarque y que la vibración, el calentamiento y el enfriamiento de las uniones apernadas provocan que se suelten.

Realice una inspección visual y un chequeo rápido del apriete de perno del polo principal e interpolo con una llave de torque. Refiérase a la Tabla 4 para verificar torques específicos de pernos de polo principal e interpolo.

Car-caza del Motor	Pernos de Polo Principal				Pernos de Interpolo			
	Ctd	Grado 2 HHCS con revestimiento de protección de material	Mate-rial del Perno	Valor de Torque en (Pie /libras)	Ctd	Grade 2 HHCS con revestimien-to de protección de material	Material del perno	Valor de Torque en (Pie /libras)
K-558A	4	1"-8 × 4" lg	Acero	310	4	3/4"-10 × 3-1/4" lg	Acero Grado 2	155
K-700B	3	1-1/4"-7 × 6.0" lg	Acero	660	3	3/4"-10 × 5.0" lg	Acero Grado 5	270
K-1690	5	1"-8 × 5.0" lg	Acero	310	5	5/8"-11 × 5-1/2" lg	Acero Grado 5	155

Tabla 3

Especificaciones de Pernos de Polo Principal e Interpolo

Puede resultar muy difícil usar la llave de torque en algunos pernos de polo, debido a la ubicación del motor y los accesorios montados. Un buen método para verificar el torque de estos pernos es obtener primero la sensación del torque deseado, con una llave de torque en un perno accesible. Una vez que tenga esta sensación del torque, verifique inmediatamente el perno difícil usando una llave normal, con aproximadamente la misma presión. La mayoría de los mecánicos obtendrán dentro de un 10% del torque deseado.

6.6 Motores De Corriente Alterna Jaula De Ardilla

Introducción A Las Máquinas Asíncronas De Inducción

Dado que la mayoría de las máquinas utilizadas en la industria están movidas por motores asíncronos alimentados por corriente alterna trifásica, en este apartado daremos unas ideas muy generales y básicas de este tipo de motores.

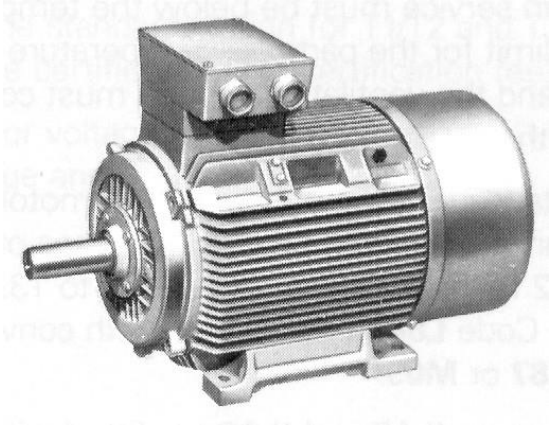


Tabla 4

Motor AC Jaula de Ardilla.

Como toda máquina eléctrica, los motores asíncronos constan de dos partes fundamentales y distintas:

- El estator; Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los bobinados de sección apropiada están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina.

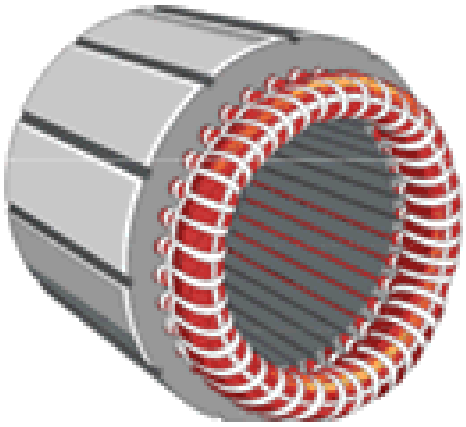


Tabla 5

Estator Motor Jaula de Ardilla

- El rotor; Es la parte móvil del motor. Está situado en el interior del estator y consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio apiladas que forman un cilindro, en el interior del cual se dispone un bobinado eléctrico. Los tipos más utilizados son o Rotor de jaula de ardilla o Rotor bobinado.

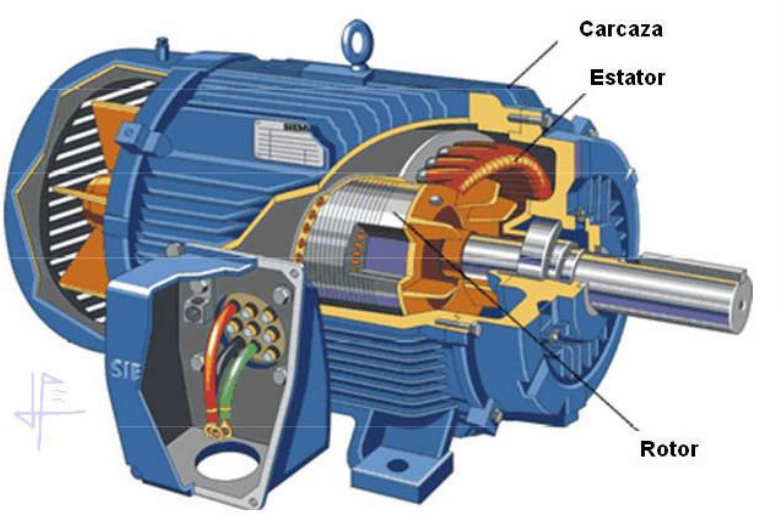


Tabla 6

Partes Motor AC.

A este tipo de motores se les denomina motores de inducción debido a que su funcionamiento se basa en la interacción de campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas. En el caso de los motores a los que hace referencia estas notas, las corrientes que circulan por el rotor son producidas por el fenómeno de inducción electromagnética, conocido comúnmente como ley de Faraday, que establece que si una espira es atravesada por un campo magnético variable en el tiempo se establece entre sus extremos una diferencia de potencial dado por la expresión:

$$e = \frac{d\Phi}{dt}$$

Dónde:

e =Diferencia de potencial inducida en la espira en voltios

Φ =Flujo que corta a la espira en Weber

t =Tiempo en segundos

El signo menos de la ecuación es una expresión de la ley de Lenz. Esta establece que la polaridad del voltaje inducido en la bobina es tal que si sus extremos se pusieran en cortocircuito, produciría una corriente que causaría un flujo para oponerse al cambio de flujo original. Puesto que el voltaje inducido se opone al cambio que lo causa, se incluye el signo menos en la ecuación.

Si se distribuye espacialmente alrededor del estator de un motor los bobinados de un sistema de tensiones trifásicos desfasadas 120º se genera un campo magnético giratorio (ya estudiado en el primer trimestre).

La velocidad de giro de este campo magnético, denominada velocidad de sincronismo, viene dada por la expresión:

$$n = \frac{60 \times f}{P}$$

Dónde:

n =Velocidad de giro del campo magnético en r.p.m

f = Frecuencia de la corriente eléctrica de alimentación de la máquina

P = Número de pares de polos magnéticos establecidos en el bobinado del estator

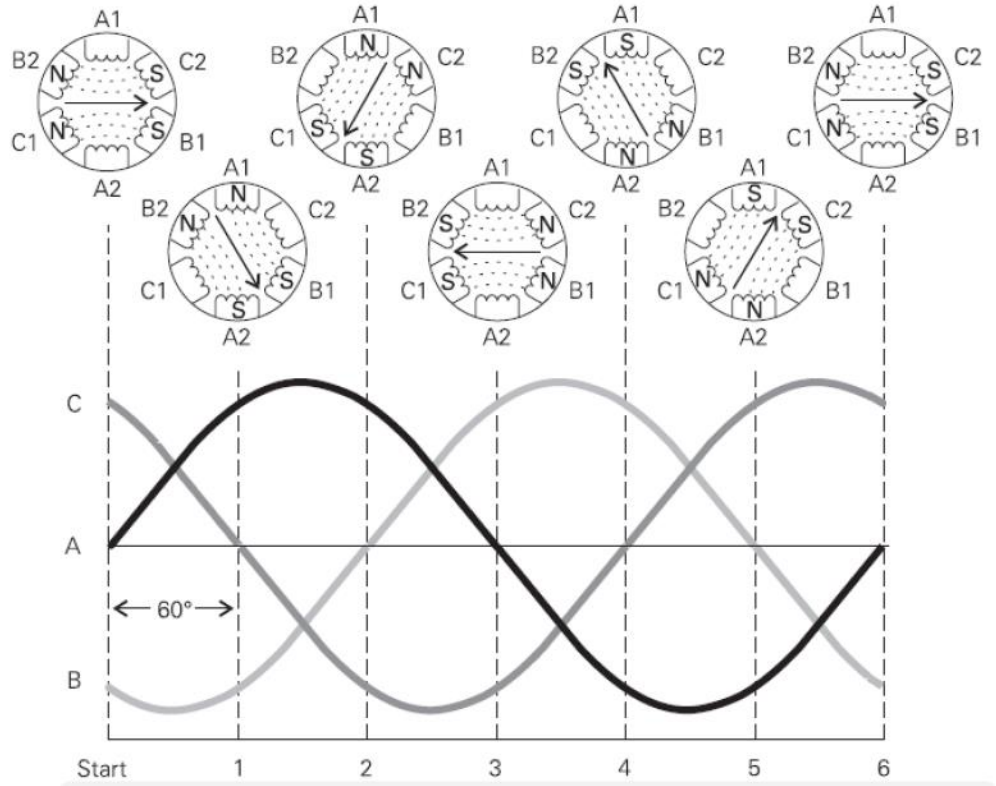


Figura 20

Campo magnético giratorio creado por una corriente alterna trifásica.

De este modo tendremos que las velocidades de sincronismo normalizadas en nuestro país para las máquinas eléctricas serían:

Nº pares de polos	r.p.m. del campo magnético
p=2	n=3000 r.p.m
p=4	n=1500 r.p.m
p=6	n=500 r.p.m

Tabla 7

Velocidades de Sincronismo.

En los motores eléctricos, la velocidad de giro del rotor es ligeramente inferior a la velocidad de giro del campo magnético del estator, debido a la fricción del rotor en los cojinetes, rozamiento con el aire y a la carga acoplada al eje del rotor, por tal motivo se les conoce a estos motores con el nombre de motores asíncronos Tal y como se acaba de indicar, la velocidad de giro del rotor es ligeramente inferior a la velocidad de sincronismo, a ésta diferencia se le da el nombre de deslizamiento que se expresa generalmente en tanto por ciento, referido a la velocidad de sincronismo. Se designa por la letra "s", y viene dado por la expresión:

Deslizamiento absoluto **Deslizamiento relativo**

$$s = n1 - n2 s\% = \frac{n1 - n2}{n1} \times 100$$

De donde;

s =Deslizamiento, $n1$ = velocidad de sincronismo, $n2$ = velocidad de giro del rotor

La frecuencia a que están sometidos los conductores del rotor es $fr = s \times f$ (f =frecuencia en Hz de la red eléctrica de alimentación al motor)

Motores De Rotor De Jaula De Ardilla

El motor de rotor de jaula de ardilla, también llamado de rotor en cortocircuito, es el más sencillo y el más utilizado actualmente. En núcleo del rotor está construido de chapas estampadas de acero al silicio en el interior de las cuales se disponen unas barras, generalmente de aluminio moldeado a presión.

Las barras del devanado van conectadas a unos anillos conductores denominados anillos extremos. El bobinado así dispuesto tiene forma de jaula de ardilla.

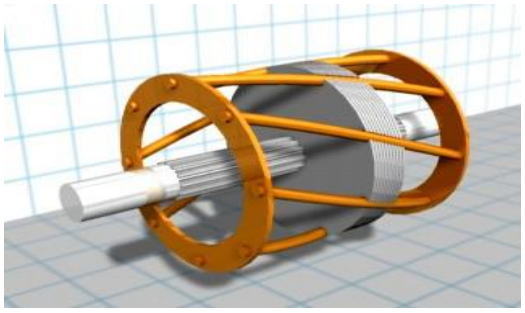


Figura 21

Construcción de un Rotor Jaula de Ardilla.

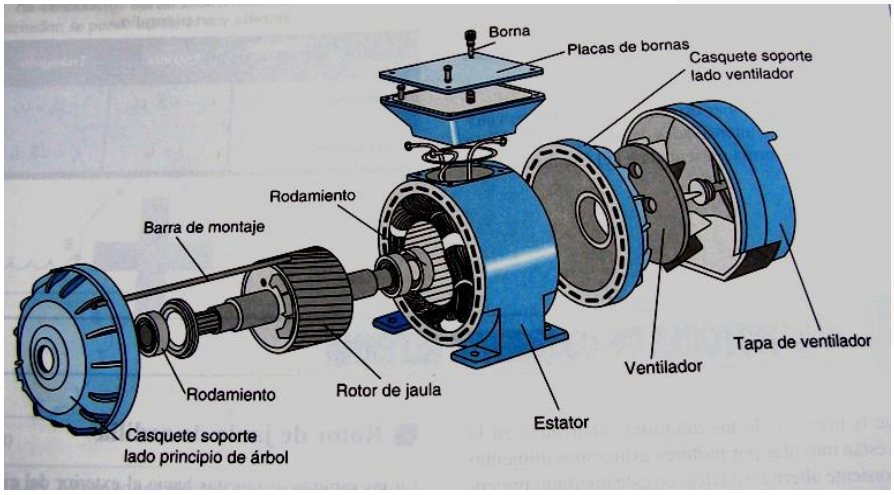


Figura 22

Motor Jaula de Ardilla y sus partes.

Las ranuras del rotor y suelen hacerse oblicuas respecto al eje para evitar así puntos muertos en la inducción electromagnética.

Un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla es que en el arranque absorbe una corriente muy intensa (de 4 a 7 veces la nominal o asignada), y lo hace además con un bajo factor de potencia, y a pesar de ello, el par de arranque suele ser bajo.

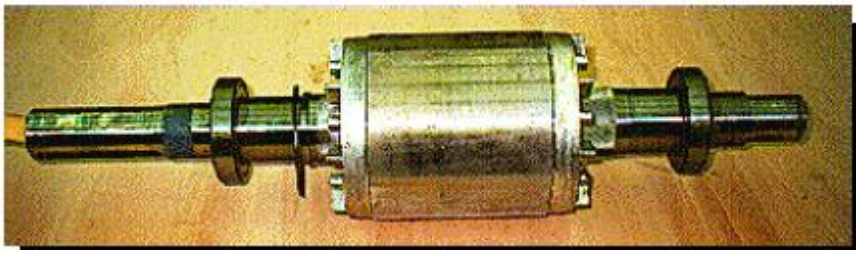


Figura 23

Rotor Jaula de Ardilla.

La baja resistencia del rotor hace que los motores de jaula de ardilla tengan excelentes características para marchas a velocidad constante.

Hasta hace unos cuantos años (década de los 90), un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla era que su velocidad no era regulable, pero actualmente con los variadores de velocidad electrónicos se puede conseguir un control perfecto de la práctica totalidad de parámetros del motor, entre los que destacan el par, la corriente absorbida y la velocidad de giro.

6.7 Control De Motores y Generadores

Motor En Jaula De Ardilla

Es un motor de inducción que tiene el rotor en jaula de ardilla como los monofásicos. Existen de jaula de ardilla sencilla y doble. En la figura se muestra este tipo de rotor.

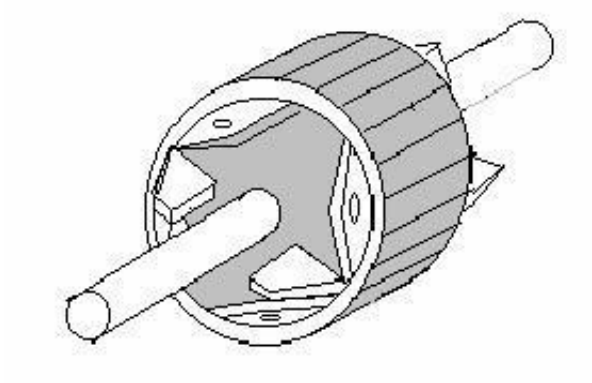


Figura 24

Rotor Jaula de Ardilla.

A. Partes Del Motor

Las partes del motor, son las siguientes:

- **Carcasa:** se construye de varias formas según el tamaño del motor; la base forma parte integral de la carcasa para que el motor descanse bien asentado sobre su estructura.
- **Caja de bornes:** Se emplea para conectar los terminales de las bobinas y concentrar los conductores de alimentación.
- **Escudos:** Sirven para cerrar el motor y sostener el eje del motor por medio de sus cojinetes. Se unen a la carcasa por medio de tornillos de fijación.
- **Eje:** Es la parte donde se sostienen los componentes del rotor y además sirve para la fijación de la polea en uno de sus extremos y el ventilador en el otro.
- **Ventilador:** Viene colocado en uno de los extremos del eje y mantiene refrigerado el motor para evitar su recalentamiento.
- **Rotor:** Es sólido montado sobre el eje y es en forma de jaula de ardilla, puede ser sencillo o doble.
- **Estator:** Está formado por su núcleo y bobinado. El núcleo es laminado hecho de chapas laminadas y viene ranurado para alojar las bobinas. Las bobinas cubren el ranurado del estator y deben estar bien aisladas para asegurar el perfecto funcionamiento del motor.

B. Conexiones

Las conexiones básicas del bobinado del estator de un motor trifásico son en estrella o en triángulo, según las características del motor y el voltaje de la red.

En la figura se presentan estos dos tipos de conexiones y la conexión a realizar en la placa de bornes.

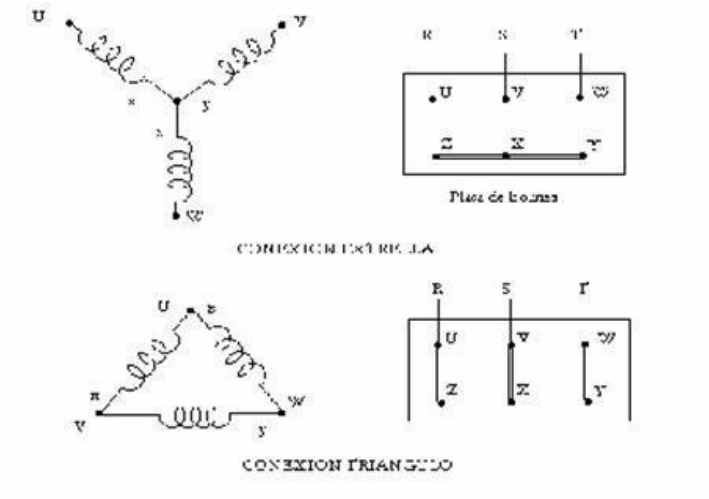


Figura 25

Conexiones Estrelle Triángulo.

C. Motor De Dos Velocidades

El motor de dos velocidades es con frecuencia una solución elegante y económica de problemas complejos. Según sea la naturaleza de la corriente, la relación de velocidades y las de potencias, estos motores tienen uno o dos bobinados.

Motor de un solo bobinado: Es el más sencillo y más usado de los motores de dos velocidades, sus características son las siguientes:

- Velocidades en la relación de 1 a 2. Ejemplo: 3000 y 1500 rpm; 1500 y 750 rpm; 1000 y 500 rpm.
- Relación de potencias bien definidas para un tipo de motor y una gama de velocidades dada. Ejemplo: 4hp y 1500 rpm; 2 hp y 750 rpm.
- Una sola tensión de alimentación.

Motor de dos bobinados: Cuando la aplicación prevista requiere una relación diferente de velocidades y potencias se adopta un motor de dos bobinados, cada uno de los cuales corresponde a una polaridad y son alimentados alternativamente según la velocidad que se desee. Sus características son:

- Las potencias y velocidades pueden elegirse según sea su aplicación. Ejemplo: 3 hp a 3000 rpm o ½ hp a 500 rpm; 3hp a 1500 rpm o 2hp a 1000 rpm.
- Una o dos tensiones de alimentación
- Corriente de arranque mayor a la de un motor con un solo bobinado.

Existen también motores de doble tensión cuyo bobinado de estator es doble. Ejemplo: 220V/440V. Para conectar el motor a 220V sus bobinados se conectan en paralelo y para hacerlo a 440V sus bobinados se conectan en serie.

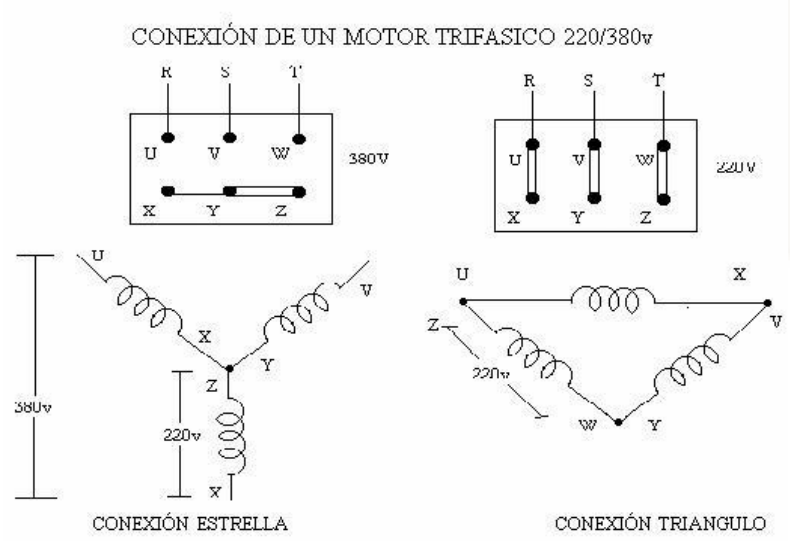


Figura 26

Motor de dos Bobinados.

Motor Con Rotor Bobinado

Es un motor que tiene estator igual al de jaula de ardilla y el rotor viene bobinado en estrella cuyos terminales van conectados a tres (3) anillos colectores rozantes fijados en el eje del motor. Los anillos colectores se conectan a un control de velocidad conformado por resistencias rotatorias y hace el oficio de arrancador.

La puesta en marcha se hace en 2,3 y 5 tiempos, según el caso por eliminación de las resistencias intercaladas en el circuito del rotor.

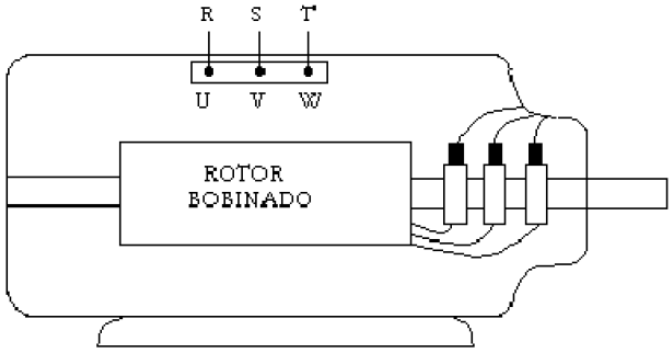


Figura 27

Motor con rotor bobinado.

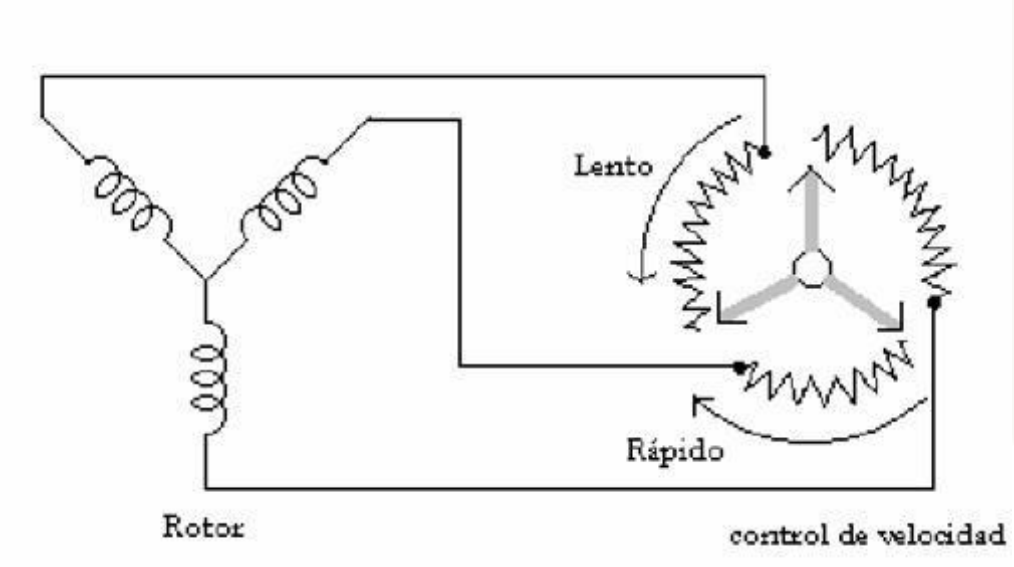


Figura 28

Control de velocidad con resistencia.

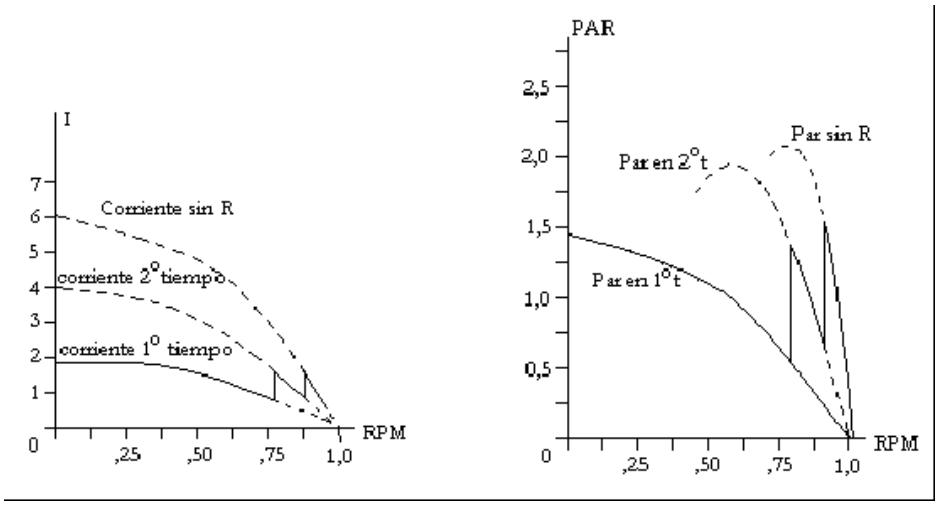


Figura 29

Curvas de corriente y torque.

Motor Trifásico Sincrónico

Contrario a los anteriores motores trifásicos, el motor trifásico sincrónico tiene la velocidad del rotor igual a la velocidad del campo magnético del estator, esto es, su deslizamiento es cero.

Su estator es igual al de jaula de ardilla, pero su rotor está compuesto por un bobinado de polos salientes y en su interior otro en jaula de ardilla.

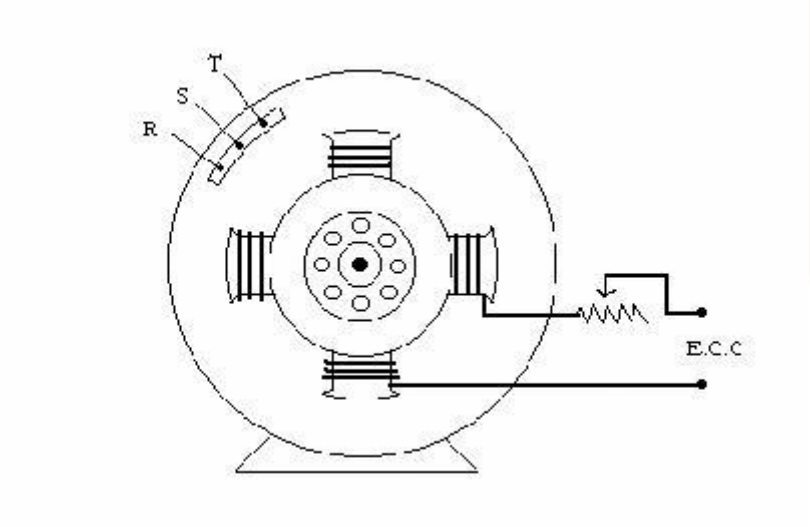


Figura 30

Motor trifásico sincrónico.

Inicialmente se aplica la corriente trifásica al bobinado del estator y con el rotor en jaula de ardilla arranca funcionando como motor asincrónico, o sea, Vr menor a Vs. Luego se conecta corriente continua al bobinado del rotor de polos salientes arrastrando la velocidad del campo del estator al rotor por tener polos fijos igualando de esta forma las velocidades y volviéndose sincrónico. La C.C. es aplicada al rotor por medio de los dos anillos rozantes y sus correspondientes escobillas.

Características:

- Velocidad rigurosamente constante y funcionamiento estable si la carga no sobrepasa cierto límite. De lo contrario, se inmoviliza rápidamente y el estator puede tomar corrientes peligrosas para su bobinado.
- La velocidad es función de la frecuencia de la red y del número de polos del estator.

$$rpm = 120f/p$$

Dónde:

f = Frecuencia de la red y p = No de polos

- Colocando un reóstato en el circuito del rotor se puede sobre excitar y con ello mejorar el factor de potencia de la red. Hace las veces de un condensador y por esos se le llama condensador sincrónico.
- Se usa cuando se requiere una velocidad rigurosamente constante como en telares, máquinas - herramientas, etc.

6.8 Control De Motores

Características De Un Motor

El motor constituye el corazón de una planta industrial de cualquier empresa productiva y por tanto, todo técnico o ingeniero debe conocer sus características, su forma de arrancado y sus protecciones.

Placa Característica

De las cosas importantes que se debe tener claridad es sobre el significado de los datos en la placa característica del motor.

Motor Trifásico En Jaula De Ardilla

220 - 380v		5,38 - 9,3 AMP
PH = 3	Hz = 60	COSφ = 0,85
RPM = 1710	HP = 3	KW = 2,2
CODIGO: B		

Tabla 8

Placa Característica Motor Trifásico.

Su interpretación es la siguiente:

Tensión aplicada en triángulo	= 220 V
Tensión aplicada en estrella	= 380 V
Corriente consumida en estrella	= 5,38 Amp.
Corriente consumida en triángulo	= 9,3 Amp.
Número de fases de motor	= 3 (trifásico)
Frecuencia en ciclos por segundo	= 60 Hz.
Factor de potencia del motor	= 0,85
RPM del motor con carga	= 1710
Potencia en caballos fuerza	= 3 HP
Potencia en Kilovatios	= 2,2 Kw
Tipo de motor trifásico	= Jaula de ardilla, código B

Interpretación

Con esta información se puede calcular su eficiencia, deslizamiento y par motor así:

Potencia de salida	= 3 HP = 3 x 746 = 2238 W.
Potencia de entrada	= 1,73 x E.I cosϕ
	= 1,73 x 220 x 9,3 x 0,85 = 3008,6 W
Eficiencia	= 2238 / 3008,6 = 74,4%
Deslizamiento	= (1800 - 1710)/ 1710 x 100%= 5,3%
Par motor	= 746 x HP /RPM = 746 x 3 / 1710
	= 1,31 m-kg.

Inversión De Giro

El sentido de rotación de un motor trifásico se invierte intercambiando dos fases cualesquiera en los terminales del motor.

Sentido directo	Sentido inverso
R → U	R→V
S → V	S→U
T → W	T→W

Tabla 9

Inversión de Giro Motor Trifásico

En la figura se diagrama el control manual de inversión pasando el conmutador de la posición 1 a la posición 2. Bien entendido es que el cambio de rotación se hace cuando el motor está detenido.

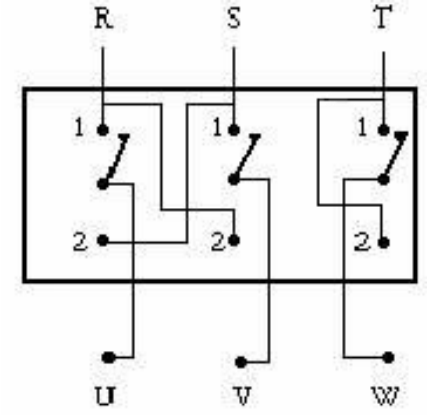


Figura 31

Inversión de Giro Manual.

Arranque De Un Motor

- **Arranque directo:** El arranque de los motores de baja potencia se hace directamente conectando el estator a la red por medio de un interruptor tripolar.
- **Arranque estrella triángulo:** Consiste en arrancar el motor en estrella que se consume menos corriente y luego pasarlo a conexión triángulo cuando la velocidad sea la nominal. Se realiza en dos tiempos.

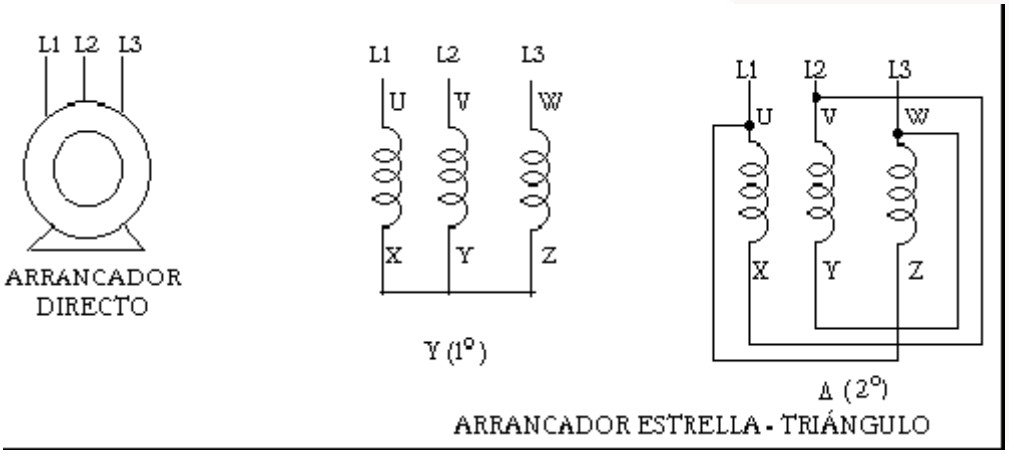


Figura 32

Arranque Estrella Triángulo.

- **Arranque por resistencias:** En el momento del arranque se insertan resistencias en serie en cada fase del estator. Luego se ponen en corto circuito tan pronto como la velocidad sea normal.
- **Arranque por autotransformador:** El autotransformador comprende varias tomas intermedias y el arranque se realiza en tres (3) tiempos.

1. Conexión del autotransformador en estrella al motor. Se arranca a tensión reducida.
2. Se abre el punto común del bobinado del autotransformador.
3. Se desconecta el autotransformador y el motor trabaja a plena tensión.

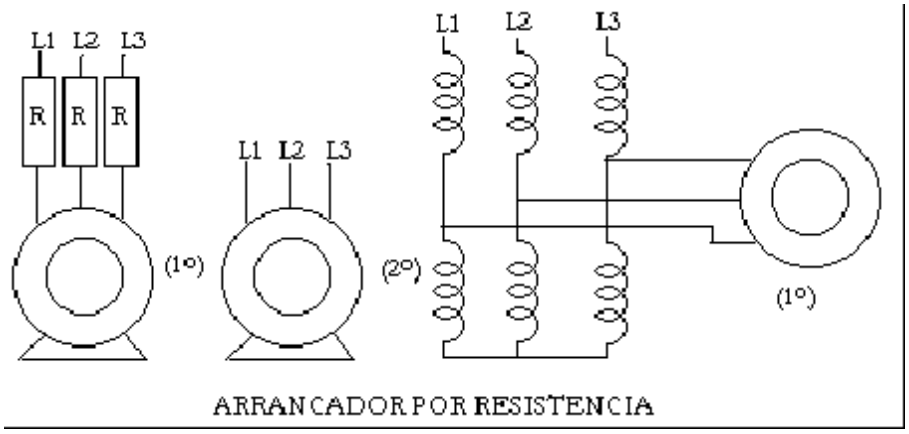


Figura 33

Arrancador por resistencias.

Características De Arranque

Las siguientes son las características según el tipo de arranque del motor:

Corriente de arranque:

- Directo: 4 a 8 veces la corriente nominal.
- Estrella - triángulo: 1,3 a 2,6 veces In.
- Resistencia: 4,5 veces la In.
- Autotransformador: 1,7 a 4 veces In.

Par de arranque:

- Directo: 0,6 a 1,5 veces del nominal.
- Estrella - triángulo: 0,2 a 0,5 veces.
- Resistencia: 0,6 a 0,85 Veces.
- Autotransformador: 0,4 a 0,85 Veces.

Duración del arranque:

- Directo: 2 a 3 segundos.
- Estrella - triángulo: 7 a 12 segundos
- Autotransformador: 7 a 12 segundos.

Ventajas:

- Directo: Arranque simple y poco costoso.
- Estrella - triángulo: Arrancador relativamente económico.
- Resistencia: Posibilidad de arreglar los valores en el arranque.
- Autotransformador: Buena relación par- corriente de arranque.

Inconvenientes:

- Directo: Corriente de arranque elevada.
- Estrella- triángulo: Par de arranque débil y corte de la alimentación en el paso Y→Δ
- Resistencia: Para un mismo par de arranque, la corriente de arranque por este método es mayor.
- Autotransformador: Es el más costoso de los métodos de arranque.

Aplicaciones:

- Directo: Pequeñas máquinas de igual arranque a plena carga.
- Estrella - triángulo: Máquinas de arranque en vacío, ventiladores, bombas centrífugas de poca potencia.
- Resistencia: Máquinas de fuerte potencia o fuerte inercia donde la reducción de la corriente de arranque es un criterio importante.

Curvas Características.

Las curvas de corriente y par en los diferentes tipos de arranque se muestran a continuación:

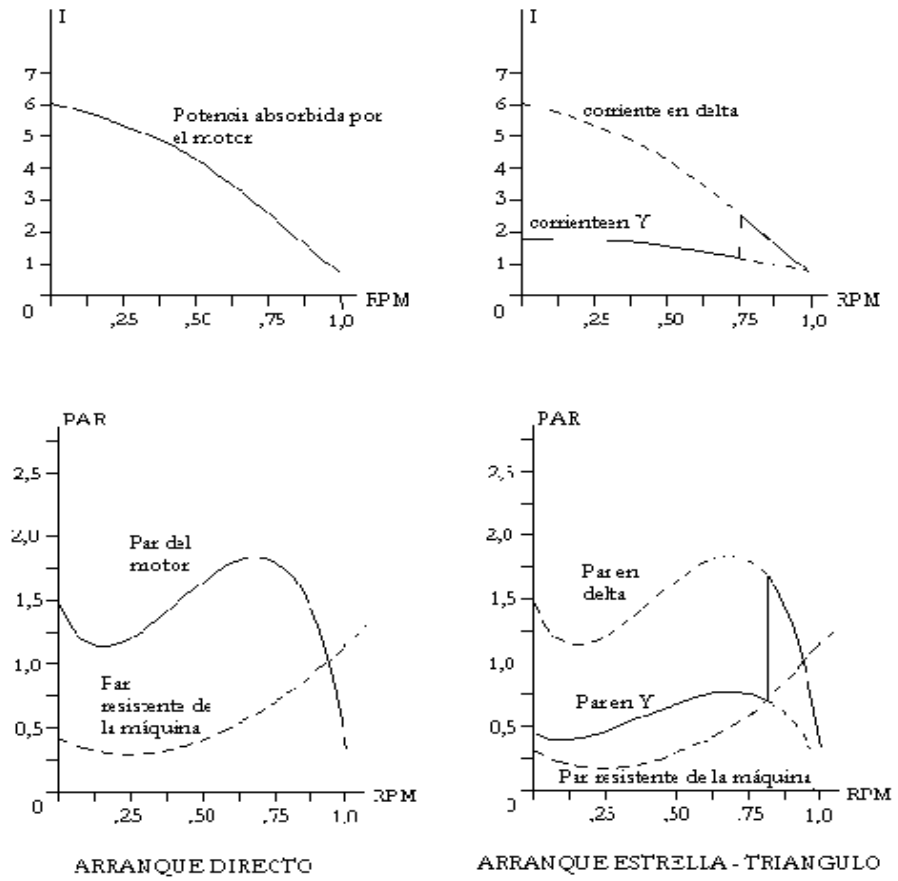


Figura 34

Curva Corriente Torque de arrancadores en Directo y Estrella Triángulo.

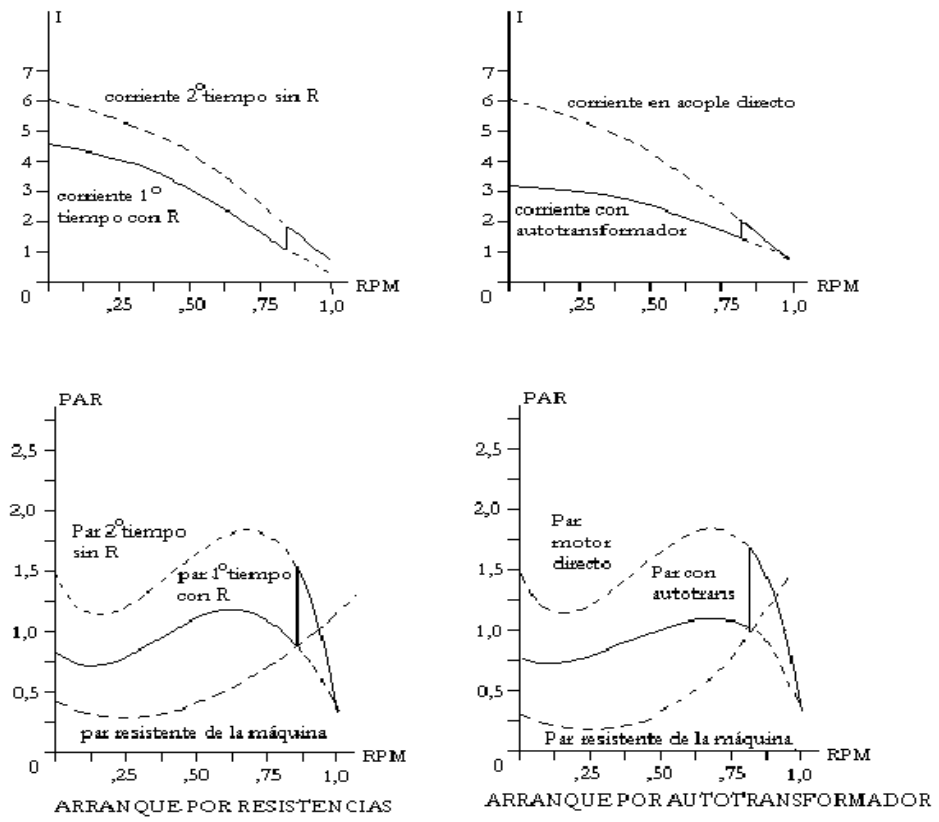


Figura 35

Curva Corriente Torque de arrancadores por Resistencias y Autotransformador.

Control Con Contactores

El control de un motor, ya sea un simple interruptor de volquete o un complejo sistema con componentes tales como relevadores, controles de tiempo e interruptores, controladores, compensadores, controla alguna operación del motor eléctrico. Por lo tanto, al seleccionar e instalar un equipo de control para un motor se debe considerar una gran cantidad de diversos factores a fin de que aquel pueda funcionar correctamente junto a la máquina para la que se diseña.

Algunos factores a considerar son las siguientes:

Arranque, parada, inversión de rotación, marcha, control de velocidad, seguridad del operador (dispositivos pilotos), protección contra daños, mantenimiento de los dispositivos de arranque (fusibles, interruptores, cortacircuitos).

El motor se puede controlar desde un punto de lejano automáticamente usando estaciones de botones asociados con contactores (interruptores magnéticos). Si el motor se controla automáticamente pueden usarse los siguientes dispositivos:

a) Interruptor de flotador: Para controlar el nivel de un tanque abriendo o cerrando unos contactos que puede accionar una bomba. También para abrir o cerrar una válvula para controlar un fluido.

b) Interruptor de presión: Controla la presión de los fluidos. Permite arrancar un compresor de aire de acuerdo a la demanda de presión de aire que exista.
c) Temporizador: Para controlar un periodo de tiempo diferido de cerrado o abierto.
d) Termostato: Interruptor que funciona por la acción de la T.
e) Interruptor de límite: Se usan para parar máquinas, equipo y productos en proceso, durante el curso.

Arranque y Parada

Se deben considerar las siguientes condiciones:

- Frecuencia del arranque y la parada.
- Arranque liviano o pesado.
- Arranque rápido o lento. (Debe ser lento e ir aumentando la velocidad).
- Arranque y parada manual o automática.
- Parada rápida o lenta. (la parada debe ser rápida).
- Paradas exactas (Ej. En los ascensores).
- Frecuencia en la inversión de rotación.

Respecto al control de velocidad se debe considerar las siguientes condiciones:

- Velocidad constante (bomba de agua).
- Velocidad variable (grúa).
- Velocidad ajustable.
- Velocidad múltiple (torno revolver).

Arrancadores Manuales

Se usan para arrancar pequeños motores monofásicos de C.A. o C.C. menores de 1 hp. Estos arrancadores tienen protección térmica contra sobrecarga. Cuando ocurre la sobrecarga la palanca se mueve automáticamente dejando los contactos abiertos. Los contactos no pueden volver a cerrarse hasta que el elevador de sobrecarga se restablezca manualmente a la posición ON.

La corriente de arranque no disparará al arrancador. El térmico es de aleación fusible, que con la sobre corriente continua eleva la temperatura del interruptor liberando el trinquete y disparando el mecanismo interruptor.

Se pueden usar arrancadores manuales del tipo de botones (start, stop) para motores de C.C. hasta 2 hp, motores monofásicos hasta 5 hp y motores trifásicos hasta 7 ½ HP.

Arrancadores Magnéticos

Emplean energía electromagnética para cerrar los interruptores. Se utilizan ampliamente porque se pueden controlar desde un punto alejado. Generalmente estos arrancadores se controlan por medio de una estación de botones, in interruptor del flotador o relevos de control de tiempo. Se fabrican en muchos tamaños como el 00 (10 Amp) hasta el tamaño 8 de 1350 Amp. A cada tamaño se le ha asignado cierta capacidad en hp. Los arrancadores existen de 2 polos para motores monofásicos y de 3 polos para trifásicos.

Los motores se pueden sobrecargar si el voltaje de entrada está bajo o si se abre una línea en el sistema polifásico (ya que funcionaría como monofásico). Bajo cualquier condición de sobrecarga, un motor toma una corriente excesiva que causa el sobre calentamiento.

Como el aislante del devanando del motor se deteriora cuando se somete a sobre calentamiento, existen límites establecidos para la temperatura de operación del motor. Para protegerlo contra el sobre calentamiento se emplean relevadores de sobrecarga en un arrancador para limitar cierto valor la cantidad de corriente que toma. Esta es la protección contra sobrecarga o de marcha.

Los relevadores (magnéticos o térmicos) se sobrecargan actúan para desconectar el arrancador y parar el motor cuando hay sobre corriente.

Relevadores Y Contactores

Los relevadores magnéticos se utilizan como dispositivos auxiliares en los circuitos de control para interrupción, en las bobinas de los arrancadores grandes y para controlar motores pequeños u otras cargas tales como calefactores eléctricos, luces piloto o señales audibles. No proporcionan protección para sobrecarga a los motores y ordinariamente se usan en sistemas de control de dos alambres. Los contactos se usan con más frecuencia para controlar circuitos que para accionar circuitos.

Los contactores son interruptores accionados mediante electromagnetismo que proporcionan un medio seguro y conveniente para interrumpir y conectar circuitos derivados. La diferencia principal entre un contactor y un arrancador es que el primero no tiene relevadores de sobrecarga. Los contactores se emplean para interrumpir cargas como alumbrado, calefacción y para controlar motores de C.A. cuando la protección contra sobre carga se instala separadamente.

Los contactores y arrancadores tienen para la extensión del arco que se forma al abrirse los contactos unas bobinas de extensión de alambre grueso que se montan sobre los contactos en serie con la carga.

Estaciones De Botones

Es un dispositivo que controla un motor al oprimir un botón. Los contactos del botón son generalmente dobles, de tal manera, que al oprimir el botón se cierra un contacto pero se abre otro. La estación de botones se puede montar directamente junto al controlador o a cierta distancia de éste si se desea. La corriente que interrumpe una estación de botones es pequeña. La estación de botones puede controlar el arranque y parada de un motor, marcha hacia delante, marcha hacia atrás, rápido o lento.

Control De Dos Alambres

Dispositivos de control: Termostato, interruptor de flotador, interruptor de presión etc. El arrancador se desconecta cuando ocurre una falla de voltaje y se conecta tan pronto como se restablece la energía. Tiene la ventaja de que el operario no tendrá que arrancar de nuevo para la operación de la máquina. Los sopladores, extractores y ventiladores son ejemplos de aplicación. Tiene la desventaja de que los materiales en producción se pueden dañar al arrancar repentinamente la máquina cuando se restablece la energía.

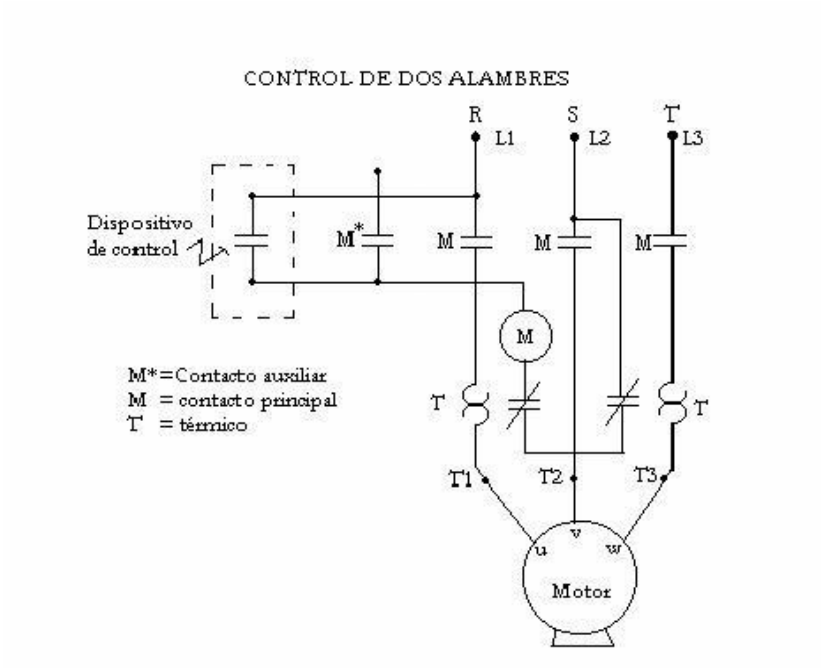


Figura 36

Control de dos alambres.

Control De Tres Alambres

El arrancador se desconectará al ocurrir una falla de voltaje, pero no se conectará automáticamente al restablecerse la energía. Un operario tendrá que oprimir el botón de arrancar para reanudar la producción.

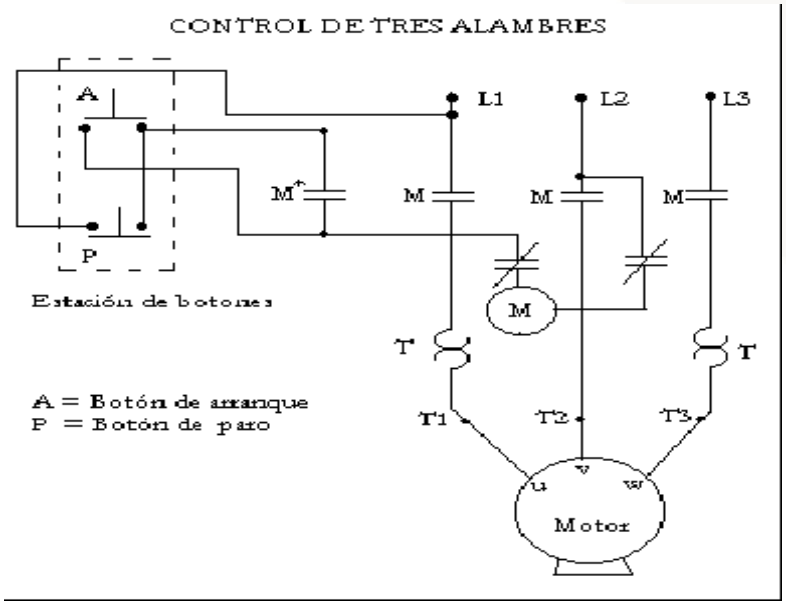


Figura 37

Control de tres alambres

Estaciones De Botones Múltiples.

El circuito de control de botones de tres alambres puede extenderse mediante el uso de varias estaciones de botones para control. El motor se puede parar o arrancar desde cierto número de estaciones separadas, conectando en paralelo los botones de arranque y en serie los de parada

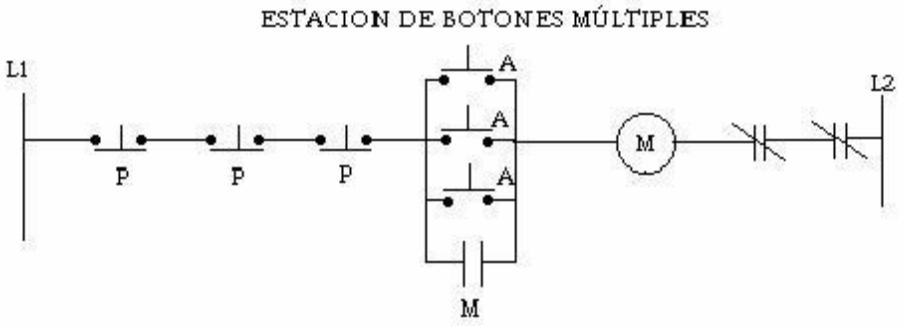


Figura 38

Estación de botones múltiple.

Arrancador Reversible

Se usan para inversión de marcha de los motores trifásicos y monofásicos. Se construye usando dos contactores y una estación de botones.

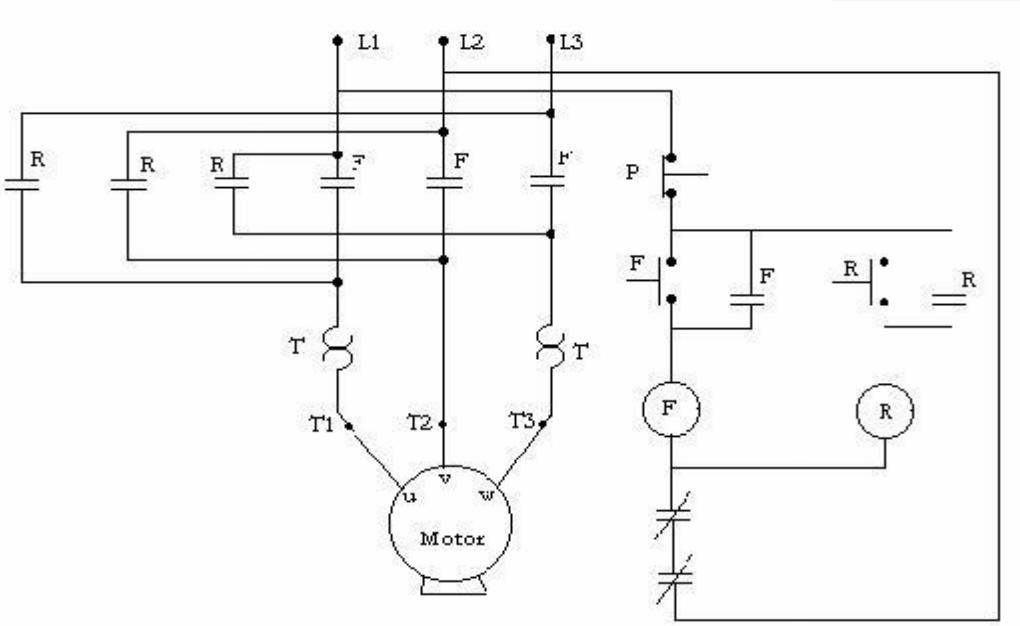


Figura 39

Arrancador reversible.

Arrancadores Estrella-Triángulo

El motor arranca en estrella y funciona en triángulo. Los motores estrella-triángulo, o sea, los que tienen los puntos para conexión (Y→Δ) en el exterior, se usan principalmente para impulsar cargas centrífugas tales como ventiladores, sopladores, bombas centrífugas, etc. y en aplicaciones donde se requiera un torque de arranque reducido.

Si bien la corriente en el arranque y la corriente de línea son menores al conectarse en estrella que cuando se conecta en triángulo, la corriente del bobinado es menor que la de la línea cuando se conecta en triángulo. A causa de esto, los relevadores de sobrecarga se deben seleccionar con base en la corriente del devanado y no a la corriente a plena carga de la conexión triángulo. Esto es, la corriente a plena carga se divide por 1,73.

La transferencia automática de estrella a triángulo se hace por medio de un controlador de tiempo.

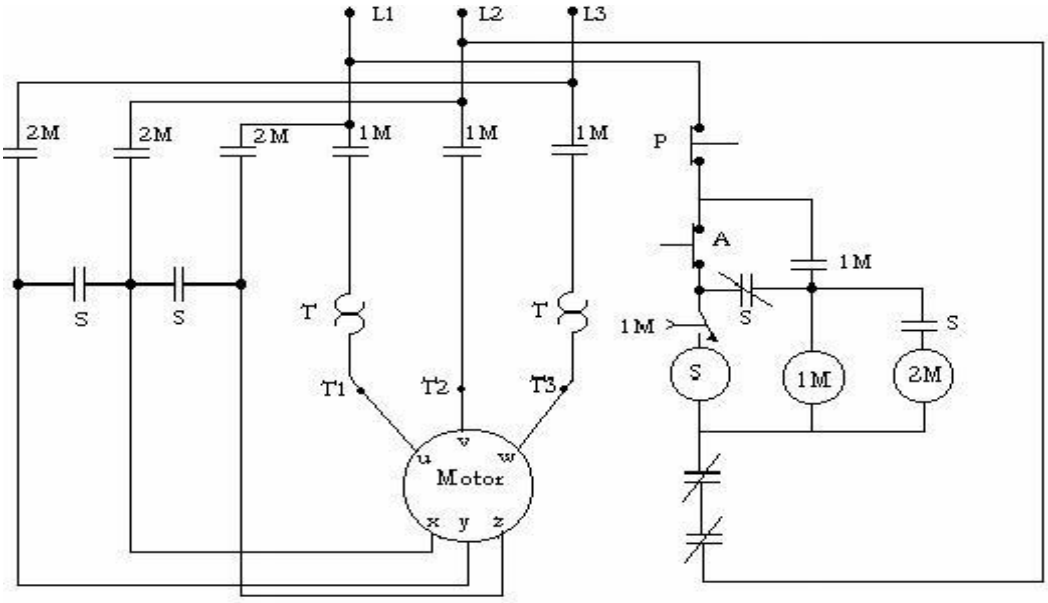


Figura 40

Arrancador Estrella Triángulo.

Arrancadores De Resistencias.

Se arranca el motor mediante la conexión de una resistencia en serie con la línea del motor. Por lo tanto, la velocidad y la corriente de arranque se reducen y las resistencias se pueden desconectar cuando el motor alcance cierta velocidad.

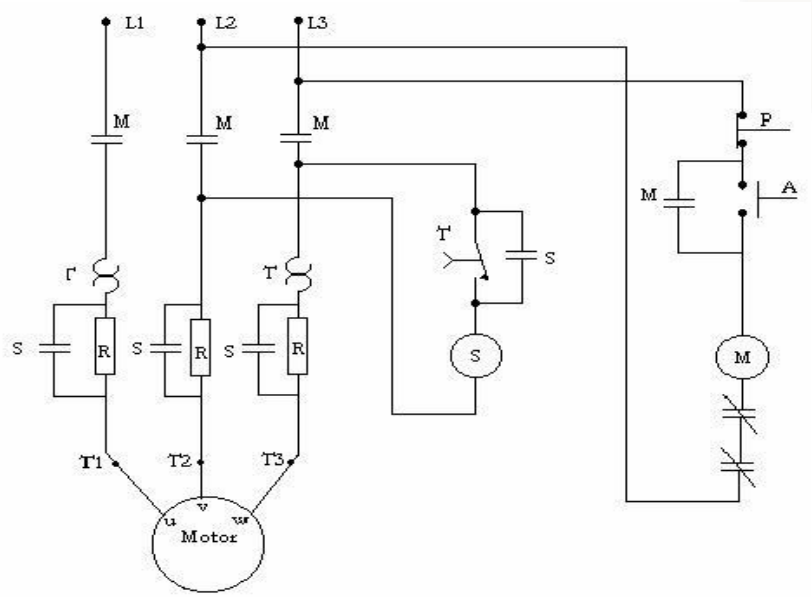


Figura 41

Arrancador con resistencias.

Instalación De Motores

Para instalar un motor se debe seleccionar:

- El fusible.
- El térmico del contactor.
- El calibre de los conductores.
- El tamaño del conduit.
- El interruptor de seguridad.

Elección De Fusibles

Motor trifásico en jaula de ardilla y sincrónico.

- Con letra de código A: Capacidad de corriente no inferior al 150% de la corriente a plena carga.
- Con letra de código de la B a la E: Capacidad de 250%.
- Con letra de código de la F a la V: Capacidad de 300%.

Motor con rotor bobinado

- Capacidad de 150%.

Elección Del Contactor

Capacidad de corriente del 125%.

Valores comerciales:

Fusibles en Amp: 15, 20, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450.

Térmicos en Amp: 15, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 125, 150, 175, 200, 225.

Elección De Conductores

Los conductores deben tener una capacidad de corriente no inferior al 125% de la corriente a plena carga.

No AWG: 14, 12, 10, 8, 6, 4, 3, 2, 1, 0, 2/0, 3/0, 4/0.

AMPER: 15, 20, 30, 40, 55, 70, 80, 95, 110, 125, 145, 165, 195.

Elección Del Conduit

	Diámetro en pulgadas								
No	NUMERO DE CONDUCTORES POR DUCTO								
AWG	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	½	½	½	½	¾	¾	¾	1	1
12	½	½	½	¾	¾	1	1	1	1 ¼
10	½	½	¾	¾	1	1	1	1 ¼	1 ¼
8	½	¾	1	1	1 ¼	1 ¼	1 ¼	1 ¼	1 ¼
6	½	1	1	1 ¼	1 ½	1 ½	2	2	2
4	½	1 ¼	1 ¼	1 ½	2	2	2	2	2 ½
3	¾	1 ¼	1 ¼	1 ½	2	2	2	2 ½	2 ½
2	¾	1 ¼	1 ¼	1 ½	2	2	2 ½	2 ½	2 ½
1	¾	1 ½	1 ½	2	2	2 ½	2 ½	3	3
0	1	1 ½	2	2	2 ½	2 ½	3	3	3
2/0	1	2	2	2 ½	2 ½	3	3	3	3 ½
3/0	1	2	2	2 ½	3	3	3	3 ½	3 ½
4/0	1 ¼	2	2	2 ½	3	3	3 ½	3 ½	4

Tabla 10

Diámetro del Conduit en instalación de motores.

Elección Del Interruptor De Seguridad

La siguiente tabla relaciona la capacidad en Amperios que debe tener un interruptor de seguridad tripolar de 220V en función de la capacidad en H.P. del motor.

AMPERIOS	CAPACIDAD EN HP	
	NORMAL	MAXIMO
30	3	7 ½
60	7 ½	15
100	15	30
200	25	50
400	50	100

Tabla 11

Elección del interruptor de seguridad.

Controles Electrónicos

Uso De Driver´s

Controlar motores DC utilizando microcontroladores generalmente se requiere de drivers. Uno de ellos puede ser el L293B que tiene la siguiente configuración:

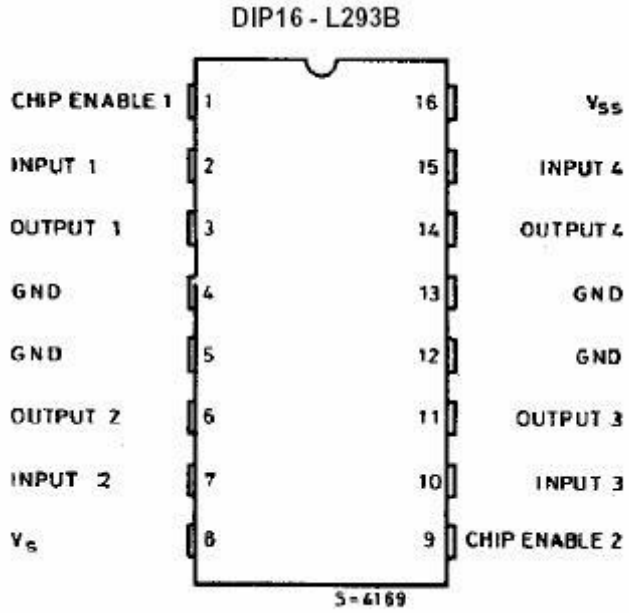


Figura 42

Driver L293B

Descripción: El driver L293B tiene cuatro canales capaces de proporcionar en cada una de sus salidas hasta 1 amperio y dispone de entrada de alimentación separada para cada uno de ellos.

Funcionamiento: Cada canal o driver es controlado por medio de una señal de control compatible TTL (no superior a 7V) y se habilitan de dos en dos por medio de las señales de control EN1 (canal 1 y 2) y EN2 (canal 3 y 4). En la siguiente tabla se describe el comportamiento de las salidas referente a sus entradas.

ENn	INn	OUTn
H	H	H
H	L	L
L	H	Z
L	L	Z

Tabla 12

Comportamiento de Salidas con respecto a las Entradas.

H= Nivel Alto "1" L= Nivel Bajo "0" Z = Alta Impedancia

Así pues, vemos que poniendo a nivel alto la entrada de habilitación "EN" del driver, la salida de este "OUT" pasa de alta impedancia al mismo nivel que se encuentre la entrada del driver "IN" pero amplificado en tensión y en corriente, siendo esta de 1A máximo. La tensión de alimentación del circuito integrado no es la misma que se aplica a las cargas conectadas a las salidas de los drivers, y para estas salidas se ha de alimentar el driver por su patita número 8 (Vs), la tensión máxima aplicable a estas patitas es de 36V

Como este integrado no dispone de disipador, se recomienda hacer pasar una pista ancha de circuito impreso por las patitas de masa que junten todas estas y al mismo tiempo haga de pequeño disipador térmico, aunque para grandes cargas lo mejor es usar un disipador como el mostrado en la siguiente figura.

Aplicación práctica: Con un L293B se puede tener control bidireccional con 2 motores o control unidireccional con 4 motores.

Control Unidireccional: En la siguiente figura se presentan dos formas de conectar un motor para control unidireccional, M1 se activa al poner la entrada del driver conectado a este, a nivel bajo 0, mientras que M2 se activa al poner la entrada del driver a nivel alto 1 y se para al ponerla a nivel bajo 0.

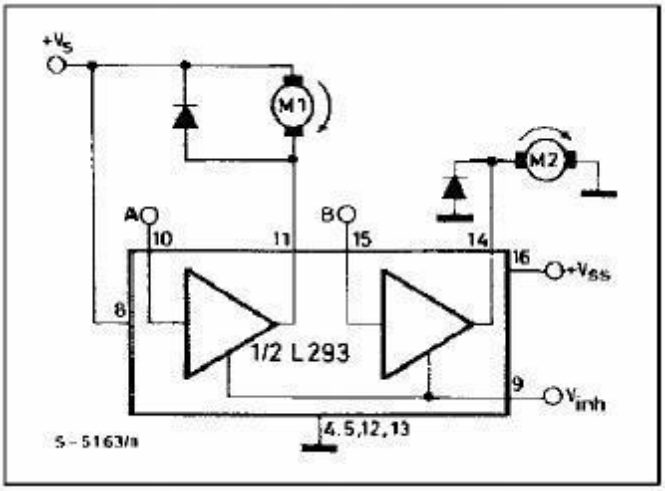


Figura 43

Control Unidireccional

La entrada enable es como un interruptor general y deberá ponerse a nivel alto 1 para poder operar con los drivers que controla, o a nivel bajo 0 si se quiere desconectar el control de estos.

Vs será la tensión de alimentación necesaria para los motores.

Los diodos 1N4007 son para proteger el circuito de los picos de arranque y parada de los motores debido a la corriente inversa inducida por estos.

Control Bidireccional: En el siguiente circuito se presenta el modo de conectar un motor para permitir controlarlo tanto hacia delante como hacia atrás.

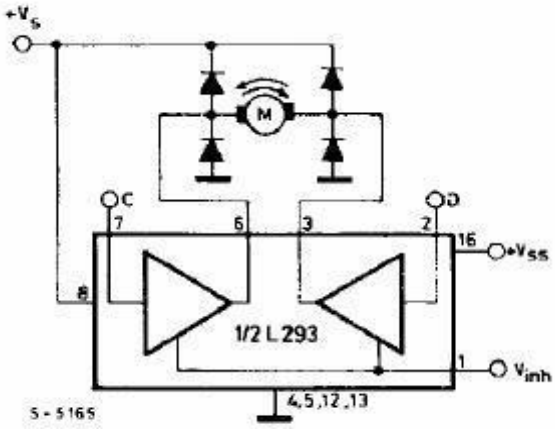


Figura 44

Control Bidireccional

El Semiconvertidor

Un control de la velocidad para un motor DC se realiza variando el ángulo de disparo de los tiristores (T1 y T2) con el fin de variar el valor de la componente dc de la señal rectificada que se aplicará al motor. Para este semiconvertidor el valor de DC de la señal de salida está dado por la fórmula:

$$Vdc = \frac{Vm}{\pi}(1 + cos \propto)$$

Donde Vm es el valor pico de la señal de entrada y α es el valor del ángulo de disparo de los tiristores, así podemos ver que si tenemos como ángulo de disparo 0° el valor DC de la señal de salida será máxima y se tendrá así la máxima velocidad, en caso contrario, si el ángulo de disparo es 180° tendremos que el valor DC de la señal será 0 (cero) y la velocidad será nula.

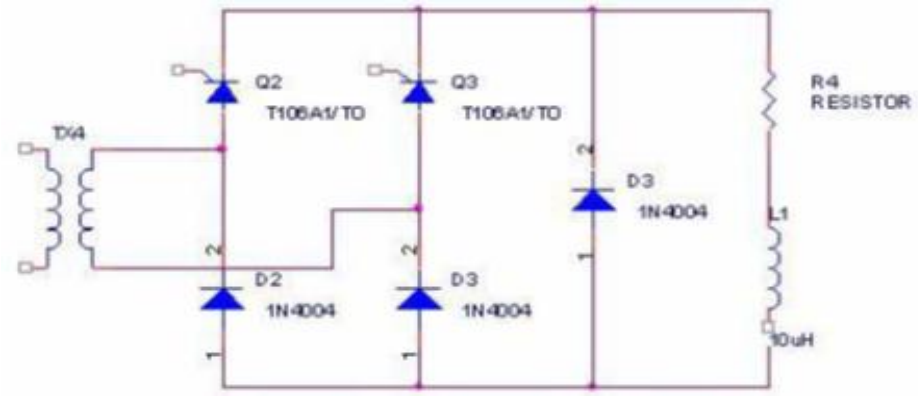


Figura 45

Semiconvertidor

Un circuito detector de cruce por cero debe avisar al microcontrolador este momento por un pin de entrada (P1.4) y además detectar el nivel de la señal AC por otro pin de entrada (P1.3) con la señal del comparador LM339.

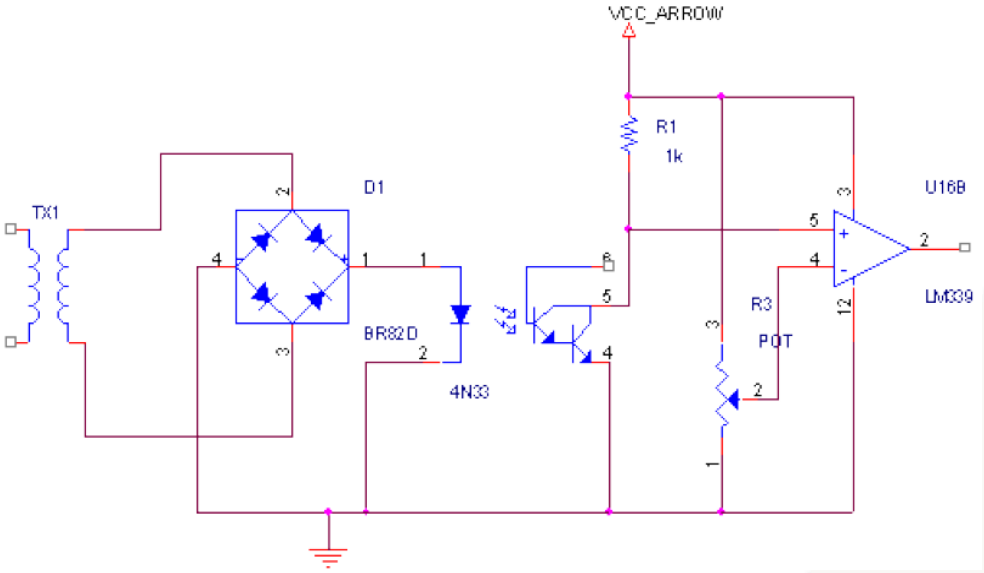


Figura 46

Circuito detector de cruce por cero.

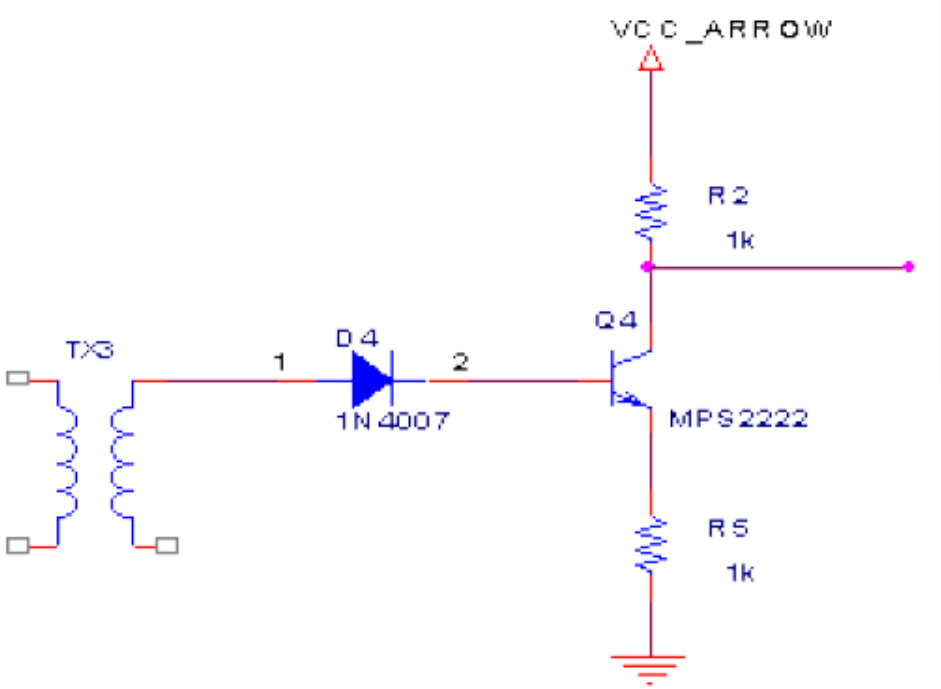


Figura 47

Detector nivel de señal AC.

El microcontrolador debe indicar la polaridad seleccionada (P1.0) y los dos disparos a los tiristores (pines de salida P1.1 y P1.2).

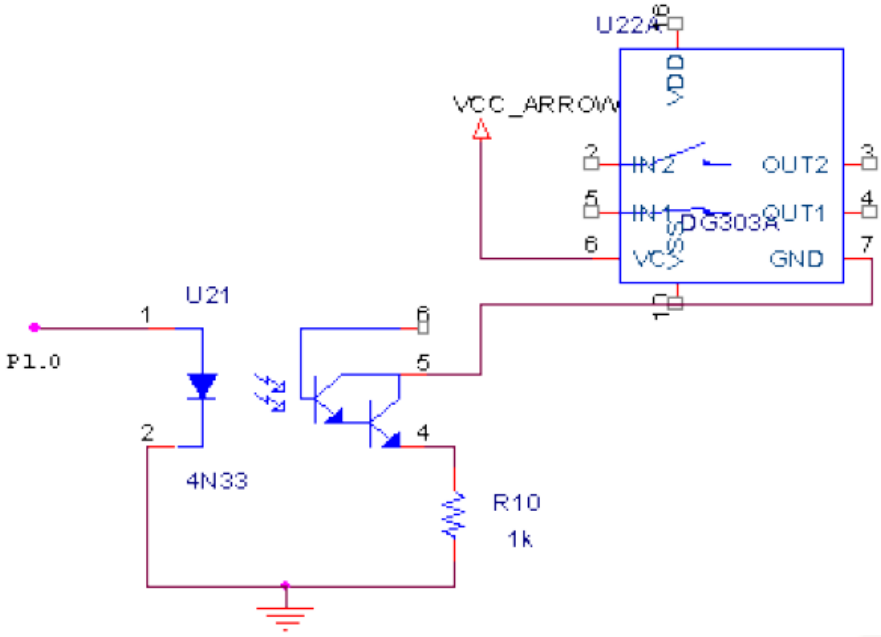


Figura 48

Indicador polaridad seleccionada.

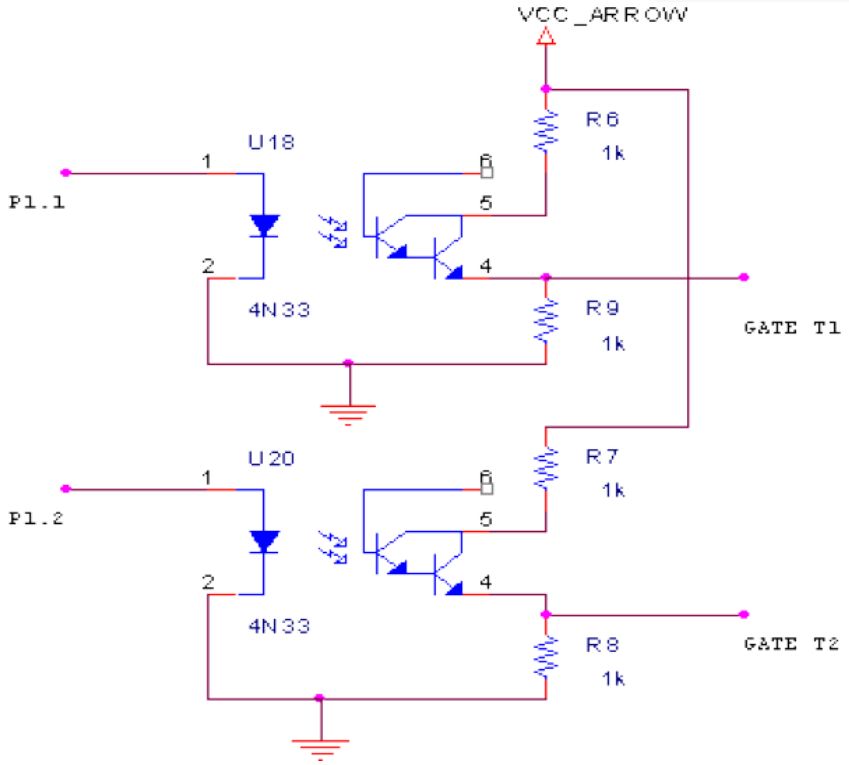


Figura 49

Detector de disparo de los tiristores.

Se utilizan los tiristores T106 y diodos 1N4007, además de protección contra dv/dt con resistencias de 39Ω y condensadores de 0.1µF. También se conecta una resistencia de carga de 270Ω para obtener la señal deseada y poderla transmitir al comparador de voltaje.

El circuito de disparo puede también estar basado en el uso de opto-triac para cada una de las gates como el MOC3011 con resistencia de gate de 100Ω y resistencia para el diodo de 1KΩ.

El Cicloconvertidor

Un microcontrolador genera los pulsos de disparo a los tiristores de la etapa de potencia. Este ciclo inversor está diseñado para reducir la frecuencia de la red a aproximadamente 20Hz.

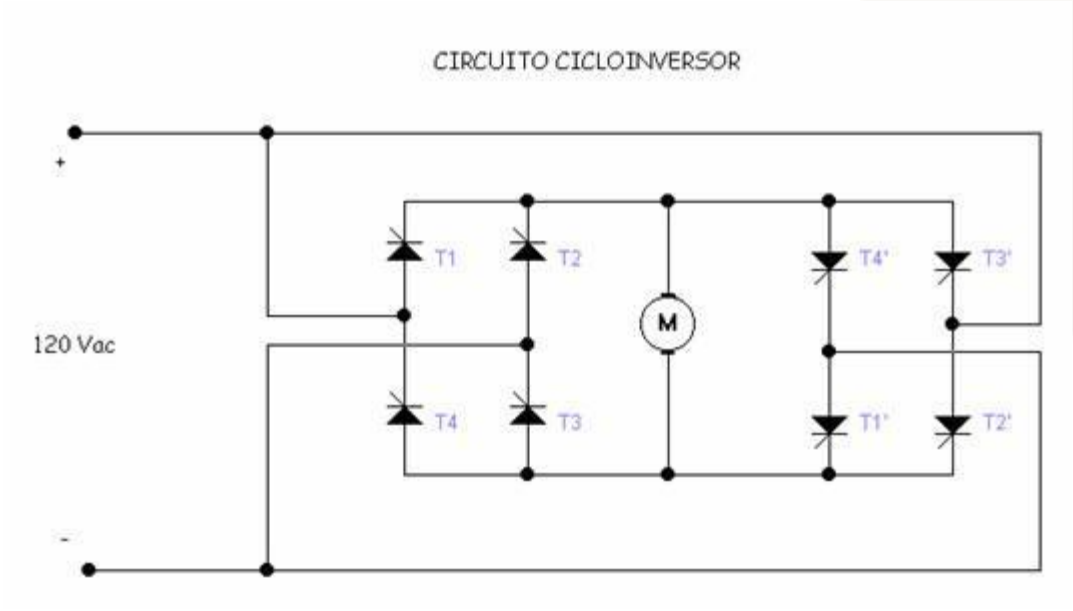


Figura 50

Cicloconvertidor.

El circuito consta de un de cruce por cero, el cual ayudará a sincronizarse con la red para activar los tiristores en el tiempo indicado y no causar posibles daños en estos, sin embargo, se le adicionó un circuito detector de polaridad en el cual ayudará a que el proceso de control inicie en un semiciclo positivo y que los tiristores se disparen en inverso. Consta además de un circuito seleccionador que tendrá la opción de variar los ángulos de activación, es decir, se podrá variar la velocidad del motor o en el mejor de los casos detenerlo.

El microcontrolador tomará los pulsos generados del cruce por cero, del detector de polaridad y la señal que entrega el circuito seleccionador para procesarlos y generar la correspondiente secuencia de pulsos a la velocidad seleccionada.

El circuito de potencia consta de dos bloques de tiristores configurados de tal forma que al activarlos ninguno de estos me genere corto en la red. Un bloque enviará a la carga el semiciclo positivo y el otro el semiciclo negativo ya modificado. (a 20Hz)

La señal resultante que caerá sobre la carga después de hacer todo el proceso de control de los tiristores es la siguiente en donde se indicará cuáles son los tiristores que estarán activos en unos tiempos determinados:

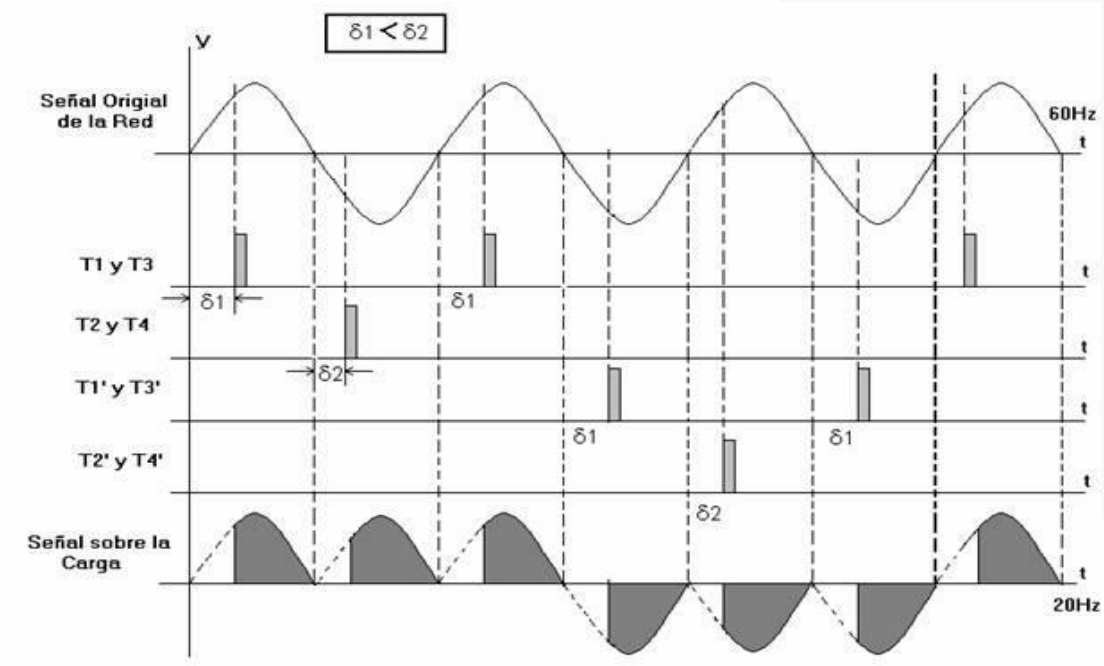


Figura 51

Señal de un Cicloconvertidor.

Generador De Cruce Por Cero:

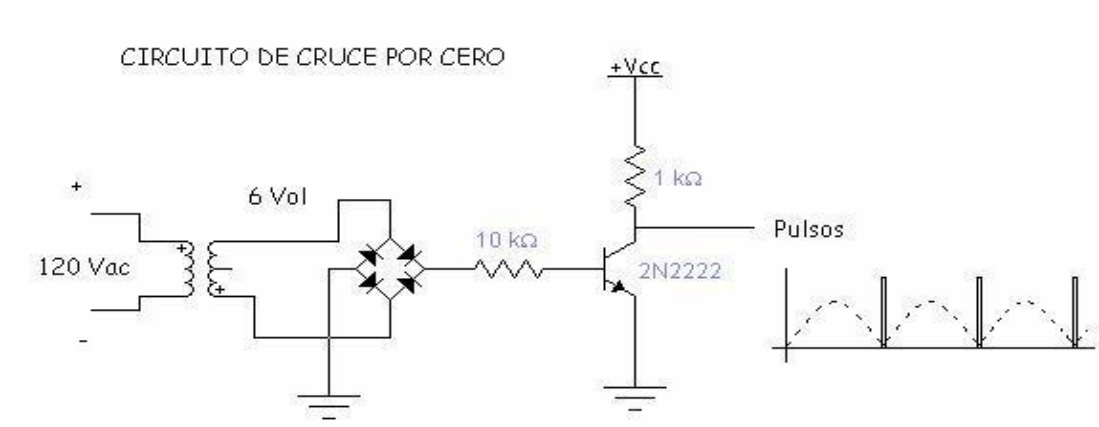


Figura 52

Generador de cruce por Cero.

Circuito Detector De Polaridad:

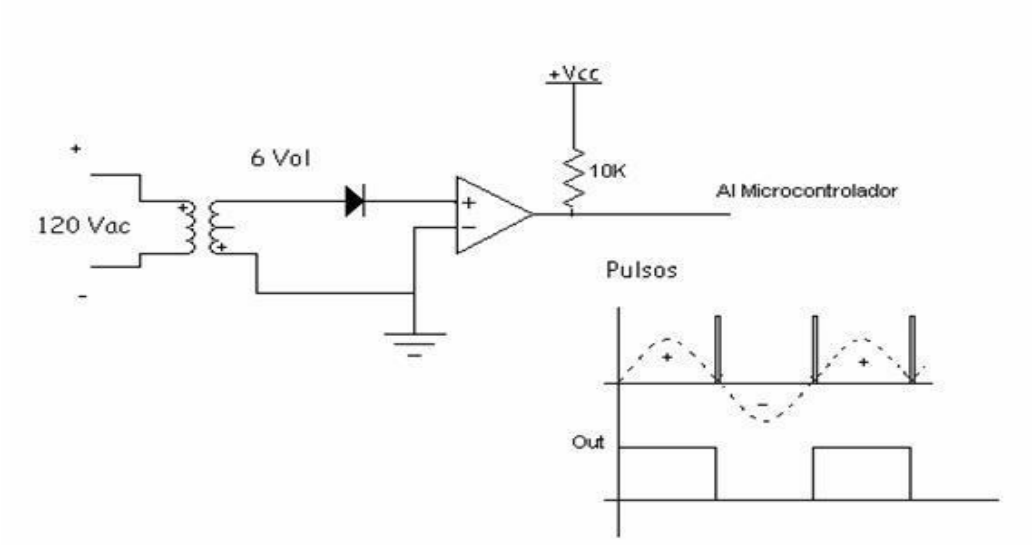


Figura 53

Circuito detector de polaridad

Circuito Seleccionador

Este circuito consta de unos flip-flop tipo D, el cual la selección que realice se mantendrá y estará allí hasta el tiempo que determine necesario. La activación de estos flip-flop se realiza por medio de una compuerta OR, teniendo como señal de entrada los pulsos que vienen de los interruptores.

Para mejorar la señal de selección que le ingresa al microcontrolador se colocó un buffer, utilizándolo también para mejorar el cruce por cero y la salida del microcontrolador a la etapa de potencia.

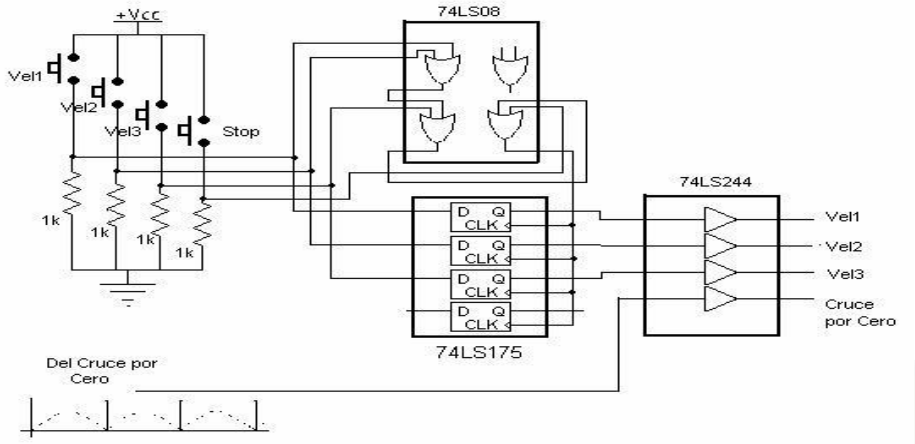


Figura 54

Circuito seleccionador

Circuito De Potencia:

Este circuito consta de una etapa de desacople en la cual me aísla las señales DC de control con las AC de carga por medio del integrado MOC 3021, en el que suministrara el pulso suficiente sobre la gate del tiristor para activarlo.

Para el circuito de potencia se utilizó tiristores que manejan hasta 10 Amperios para evitar que corrientes excesivas los destruya. Además se protegió contra el dv/dt (colocando un condensador y una resistencia en serie entre ellos y en paralelo con el tiristor) y contra el di/dt (colocando una bobina en serie con la carga) para evitar posibles daños en el circuito.

El circuito correspondiente es el siguiente:

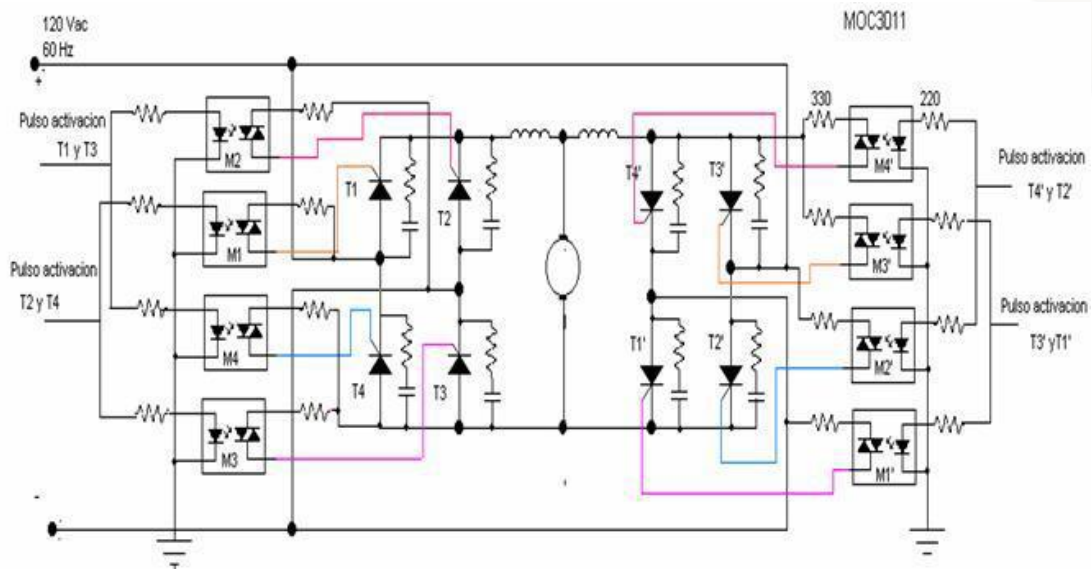


Figura 55

Circuito de potencia

Control Por Pwm

La señal PWM generada por ejemplo por un microcontrolador es aplicada al circuito de potencia, el cual consiste de un transistor BJT de conmutación de referencia ECG51 que maneja un $tf = 0.7\mu s$ y un circuito con diodo anti paralelo con el motor para facilitar la descarga inductiva soportada por un circuito RC que es un ajuste para esta compensación. Un circuito RC enla base del BJT ayuda a la rápida conmutación y un diodo de switcheo evita las corrientes inversas para la parte digital.

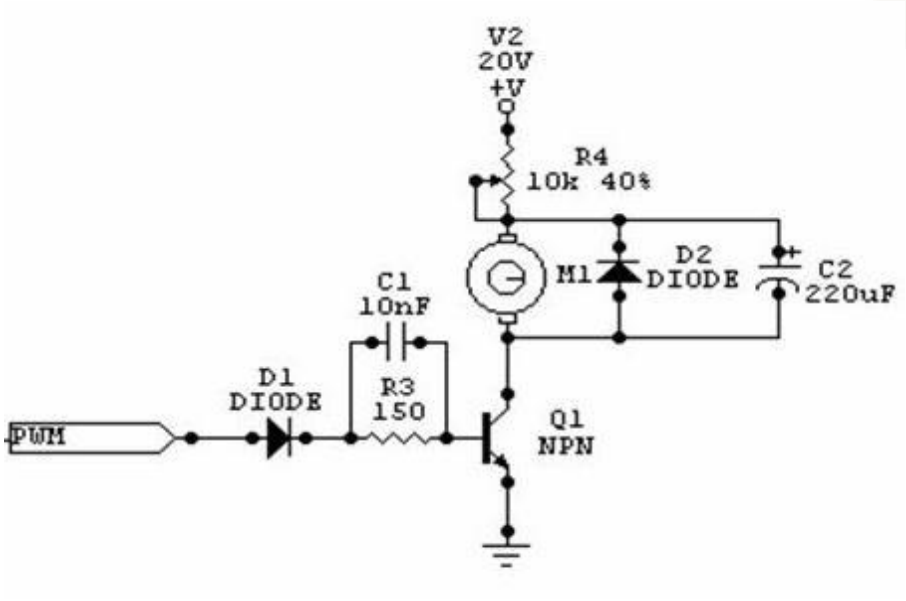


Figura 56

Control por PWM.

Convertidor De F-V.

El LM2907 es un convertidor frecuencia-voltaje fabricado por la National Semiconductor. Su aplicación es:

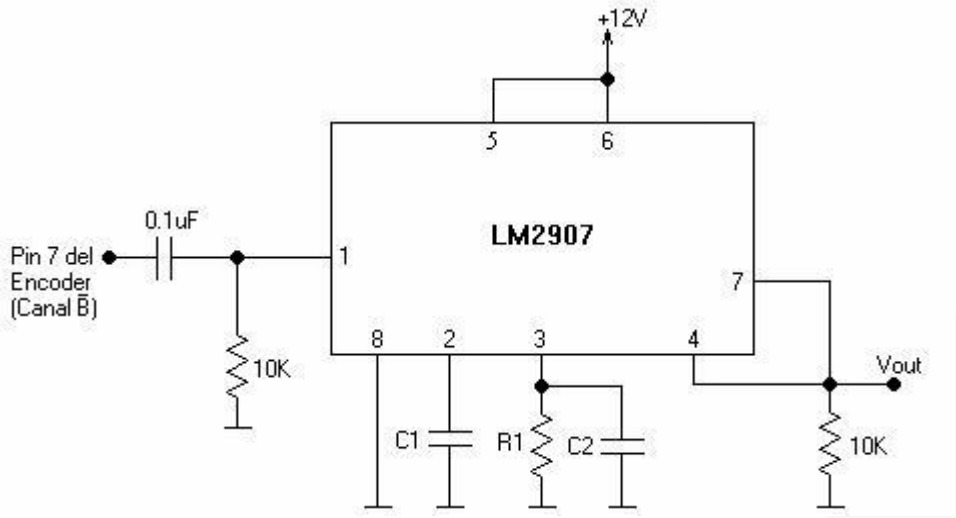


Figura 57

Convertidor F-V

$$Vout = Vcc * fin * C1 * R1$$

$$fmax = \frac{I_2}{C1 \times Vcc}$$

$I2 = 180\mu A$ Para Vcc = 12 Vol (Se obtiene de las curvas de operación del PDF)

Si $fmax = 40KHz$ entonces,

$$C1 = \frac{180\mu A}{40KHz \times 12V} = 375pf = 330pf + 33pf$$

Se necesita que la característica del sensor sea:

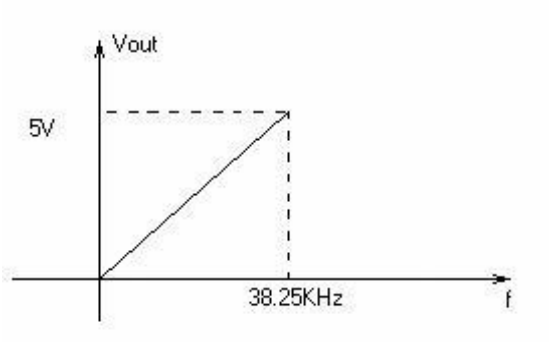


Figura 58

Características del sensor

$$R1 = \frac{Vout}{Vcc \times f_{in} \times C1} = \frac{5V}{12V \times 38.25KHz \times 363pF} = 33K\Omega$$

$$\frac{R1 \times C1}{Vcc \times f_{in} \times C1} \leq \tau_{motor}$$

$$\tau_{motor} = 20.43ms$$

$$R1 \times C1 \approx 2ms$$

$$C2 = \frac{2ms}{33k\Omega} = 60nf \approx 68nf$$

Circuito Para Detectar El Sentido De Giro Del Motor:

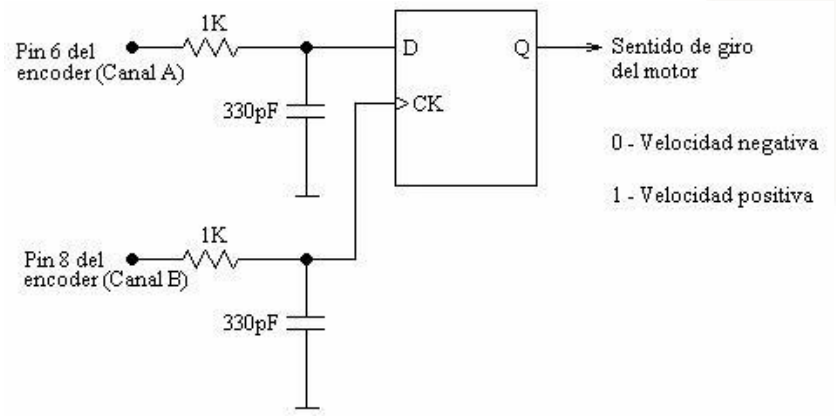


Figura 59

Detector sentido de giro.

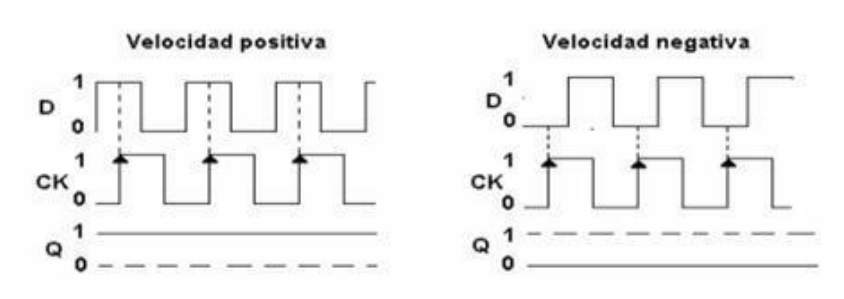


Figura 60

Sentido de giro del motor

6.9 El Alternador

Introducción

El alternador y la dinamo, son generadores de corriente que transforman la energía mecánica que recibe en su árbol en energía eléctrica que se recoge en sus bornes.

El mayor inconveniente de las dinamos es su régimen de funcionamiento, ya que, en sus velocidades críticas no suministra corriente hasta un número determinado de revoluciones, alrededor de unas 1.500, y tampoco se puede emplear una multiplicación en la transmisión para obtener la carga a un bajo régimen del motor; cuando éste funcionase a un régimen alto en carretera, la velocidad de la dinamo sobrepasar la sus límites críticos de máxima velocidad.

La posibilidad de giro en los alternadores permite su acoplamiento, de forma que inicie la carga y entrega de corriente con el motor funcionando a ralentí, consiguiéndose su potencia nominal a un reducido régimen de revoluciones; esto permite alimentar todos los servicios instalados en el vehículo, aun en condiciones adversas, quedando la batería como elemento reservado para la puesta en marcha del mismo, y encontrándose siempre con carga suficiente para una buena prestación de servicio.

Características Del Alternador.

Aunque la producción de corriente en esta máquina es análoga a la de la dinamo, se diferencia esencialmente en que las bobinas inducidas permanecen estáticas, siendo el campo inductor el que se mueve con el rotor, alimentado con corriente continua procedente del mismo generador a través de dos anillos rozantes situados en el eje del rotor.

Esta disposición de los elementos del alternador proporciona grandes ventajas al mismo, tales como el poder girar a grandes revoluciones sin deterioro en sus elementos móviles, cosa que no ocurría en la dinamo, cuya velocidad máxima quedaba limitada por efecto de su colector y de sus escobillas. Con el alternador se consigue una mayor potencia útil para un mismo volumen y peso que en la dinamo.

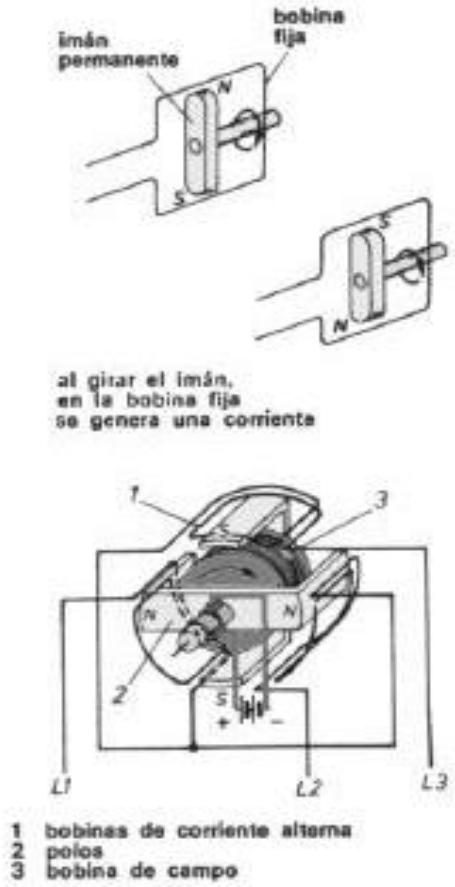


Figura 61

Rotor de un Alternador

Descripción Y Características De Sus Componentes

Un alternador tipo está constituido por los siguientes elementos:

- Un conjunto inductor formado en el rotor o inductor (5) del alternador.
- Un conjunto inducido formado en el estator (4).
- Un conjunto puente rectificador (6) y (7).
- Carcasa y demás elementos complementarios de la máquina.
- En la figura pueden verse con detalle el despiece de diferentes tipos de alternadores

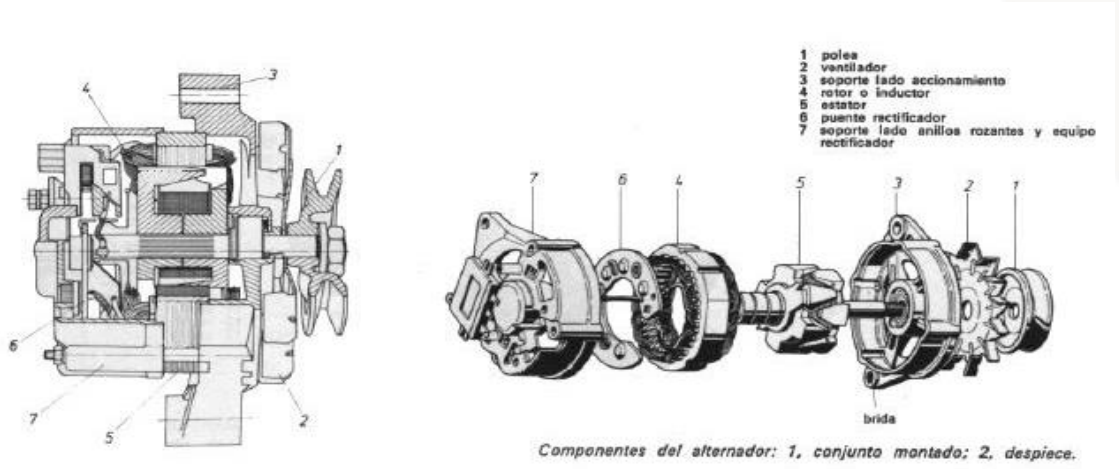


Figura 62

Despiece de un alternador.

Rotor o Inductor

El rotor, o elemento móvil del alternador, es el encargado de crear el campo magnético inductor, el cual en su desplazamiento de giro crea la variación de flujo necesaria en las espiras del estator, para generar en ellas la fuerza electromotriz inducida y, por tanto, la corriente eléctrica.

Constitución Del Conjunto

El conjunto está formado por un eje o árbol (1) sobre el cual va montado un núcleo magnético (2) formado por dos piezas de acero forjado que llevan unos salientes o dedos entrelazados sin llegar a tocarse, que constituyen los polos del campo magnético inductor.

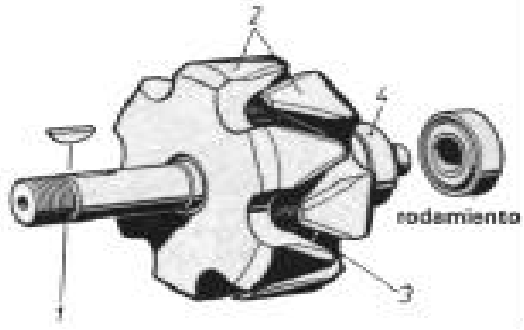


Figura 63

Rotor.

Cada una de las dos mitades del núcleo lleva 4 o 6 salientes, con lo que se obtiene un campo inductor formado por 8 o 12 polos.

En el interior de los polos, va montada una bobina inductora (3) de hilo de cobre aislado y de muchas espiras, bobinada sobre un carrete de material termoplástico.

En uno de los lados del eje, va montada una pieza de material termo estable fija al eje del rotor, en la que se encuentran moldeados dos anillos rozantes de cobre (4), a los cuales se unen los extremos de la bobina inductora. A través de estos anillos, y por medio de dos escobillas de carbón grafitado la bobina recibe la corriente de excitación generada por el propio alternador a través del equipo rectificador (autoexcitación).

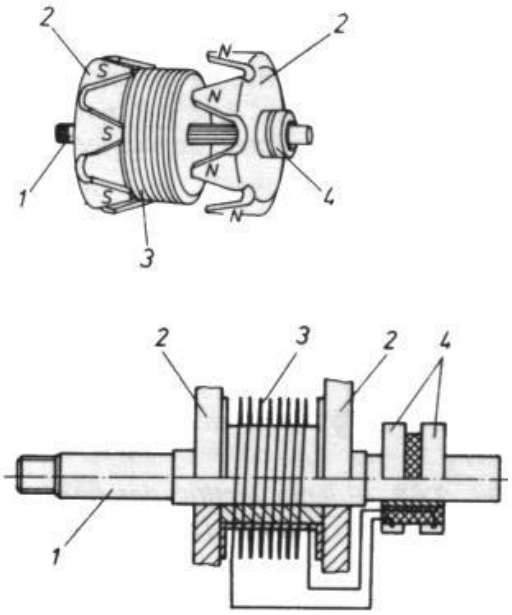


Figura 64

Rotor y sus partes.

Este equipo móvil perfectamente equilibrado dinámicamente, para evitar vibraciones, constituye un conjunto extraordinariamente robusto que puede girar a gran velocidad sin peligro alguno, al no tener como la dinamo elementos que pueden ser expulsados por efecto de la fuerza centrífuga, como ocurre con el colector y bobinas inducidas.

Estator o Inducido

El estator es el elemento donde van alojados los conductores inducidos que generan la corriente eléctrica.

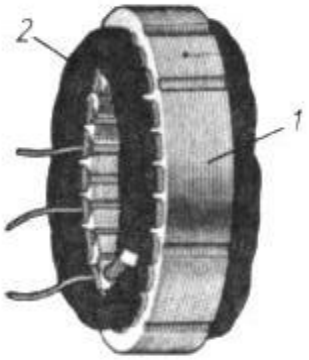


Figura 65

Estator.

Armazón Del Estator

Está formado por un paquete ensamblado de chapas magnéticas (1) de acero suave laminado en forma de corona circular, troqueladas interiormente para formar en su unión las ranuras donde se alojan las bobinas inducidas (2); tienen mecanizado el diámetro exterior para su encaje y acoplamiento en la carcasa, que cierra el conjunto del alternador.

Devanado Del Estator

El devanado de los conductores que forman el inducido está constituido generalmente por tres arrollamientos separados y repartidos perfectamente aislados en las ranuras que forman el estator. Estos tres arrollamientos, o fases del alternador, pueden ir conectados según el tipo, en estrella o en triángulo, obteniendo de ambas formas una corriente alterna trifásica, a la salida de sus bornes.

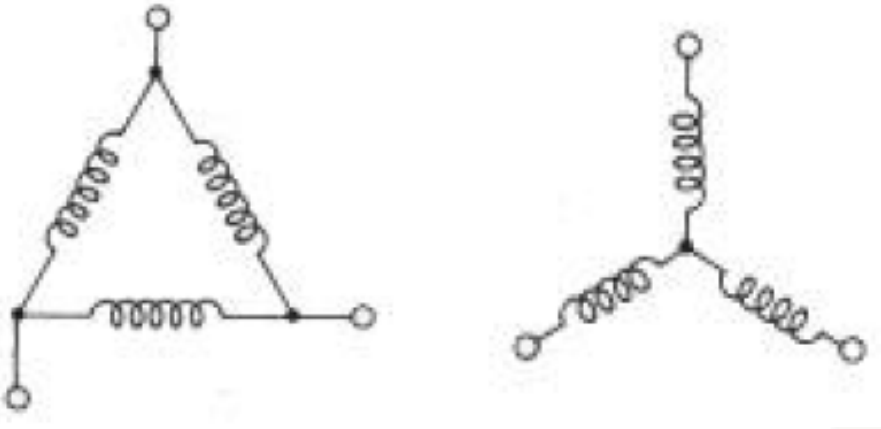


Figura 66

Conexión Triángulo Estrella.

Equipo Rectificador

El alternador produce corriente alterna y si se requiere corriente continua, se precisa un equipo rectificador.

Este conjunto, formado por varios diodos de silicio, puede ir montado directamente en la carcasa lado anillos rozantes o en un soporte en forma de corona circular cortada, conexionados a cada una de las fases del estator, formando un puente rectificador, obteniendo a la salida del mismo una corriente continua.

Diodo

El diodo está formado por un envase metálico, con un cristal de silicio en su interior, unido a un vástago de conexión y relleno de silicona. Tiene la misión de rectificar la corriente alterna obtenida en el estator, por su propiedad de dejar circular la corriente eléctrica en un sólo sentido.

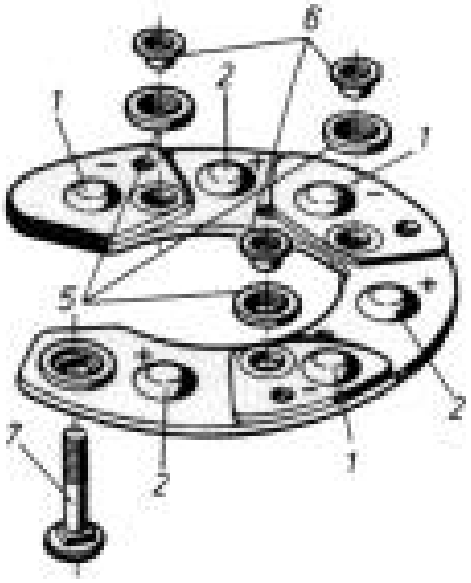


Figura 67

Conjunto de diodos.

Portaescobillas y equipo rectificador.

La parte de carcasa lado anillos rozantes (7) lleva sujeto en su interior el portaescobillas (8), sobre el que se deslizan las mismas perfectamente aisladas y que reciben corriente directamente del equipo regulador. Sobre esta parte de carcasa se monta, sujeto a ella, el equipo rectificador y las tomas de corriente del alternador, así como el equipo de regulación electrónica en los alternadores que llevan este tipo de regulación incorporado.

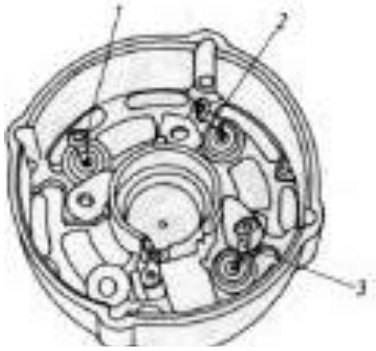


Figura 68

Portaescobillas.

Carcasa y Elementos Complementarios

La carcasa, o cuerpo del alternador está formada por dos semicuerpos o mitades de aluminio fundido (3) y (7), sirviendo de cierre al conjunto donde se alojan los componentes del mismo y soporta los rodamientos a bolas sobre los que se mueve el eje o árbol del rotor (5).

Ventilador Y Polea

Por el exterior del conjunto y sobre el árbol del rotor en el lado opuesto al de los anillos rozantes, va montado el ventilador (2), diseñado para mover el caudal de aire necesario para la ventilación del alternador y la polea de mando (1), fabricada en chapa de acero o en aluminio, con una garganta trapezoidal para alojar la correa de mando de la transmisión.

Funcionamiento Eléctrico

El funcionamiento y generación de la corriente en los alternadores está basado en los mismos principios de inducción electromagnética que la dinamo, de forma que un conductor situado bajo la influencia de las líneas de fuerza de un campo inductor genera en él una fuerza electromotriz inducida cuando existe una variación de flujo.

En los alternadores, el campo magnético inductor lo crea la bobina del rotor, al ser alimentada por corriente continua a través de sus anillos rozantes; y la disposición de sus masas polares crea un campo magnético, cuyas líneas de fuerza atraviesan en toda su periferia los conductores situados en el estator.

Al girar el rotor, los conductores situados en el estator van cortando el flujo emitido por las masas polares, cuyo corte de líneas de fuerza estará en función del giro producido por el rotor; así crean la variación de flujo necesaria para inducir en los conductores del estator una fuerza electromotriz, que será proporcional al campo magnético inductor y a la velocidad de giro de la máquina:

El rotor en su giro va enfrentando sucesivamente sus polos de signo contrario con los conductores del estator, creando en ellos corrientes, cuyo sentido o dirección va cambiando, según el polo que tenga enfrente; la corriente generada y obtenida a la salida de los arrollamientos del estator será una corriente alterna sinusoidal, cuya frecuencia (f) o número

de alternancias por segundo estará en función del número de polos (p) y de la velocidad de régimen en rpm. (n) de la máquina:

Rectificación De La Corriente

La obtenida a la salida de los arrollamientos inducidos es rectificada por medio de un puente rectificador, a base de diodos de silicio; se obtiene de esta forma una corriente continua en los bornes del alternador.

Tipos De Alternadores Y Características Eléctricas De Los Mismos

Muchos son los modelos de alternador existentes en el mercado construidos por diversos fabricantes; se diferencian unos de otros esencialmente por la tensión e intensidad que son capaces de proporcionar.

Clasificación de los alternadores. Según la disposición y conexionado de los arrollamientos situados en el estator, los alternadores utilizados en automoción pueden ser: monofásicos o trifásicos; conexionados éstos últimos en estrella o en triángulo, se obtienen distintas características eléctricas en los mismos.

Alternadores Trifásicos

Los alternadores trifásicos están formados por tres arrollamientos separados en su estator, constituyendo un sistema de tres corrientes alternas monofásicas de igual valor eficaz, y desfasadas 120º eléctricos. Estos tres arrollamientos pueden conexionarse en estrella o en triángulo, teniendo cada uno de ellos características diferentes en cuanto a la tensión e intensidad.

Alternador Trifásico Conexionado En Estrella

La conexión en estrella consiste en unir en un punto común los finales de cada fase del estator, conexionando los principios a un puente rectificador hexadiodo.

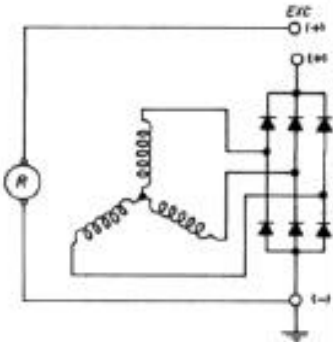


Figura 69

Conexión Estrella.

Alternador Trifásico Conexionado En Triángulo

Consiste esta conexión en unir el principio de cada fase con el final de la siguiente y los tres puntos de conexión con el puente rectificador

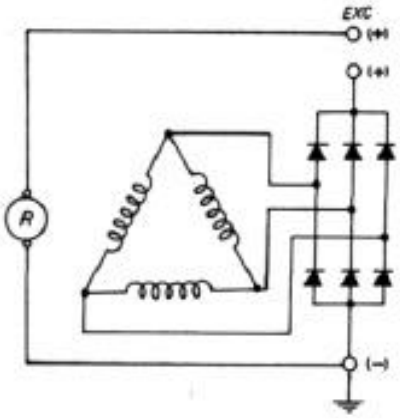


Figura 70

Conexión Triángulo.

Actividad N° 6

Introcucción a Motores Eléctricos CC y CA especialista Movimiento de rotación de un Motor CC.

Introducción a la actividad.

La siguiente actividad está diseñada para que el participante realice experiencias con la rotación en un Motor de CC de 12 volts. Se identificará la armadura y los campos del motor. Se les conectará en diferentes configuraciones y diferentes voltajes y se anotarán los resultados.

Estrategias metodológicas para el instructor.

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

Recurso Plataforma Web	✓
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	✓
Propuestas de situaciones problemáticas	
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	✓

Objetivos del aprendizaje

- Conocer las partes de un Motor de CC sus diferentes conexiones y efectos al conectarlo a un voltaje variable de CC.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos o en pares.

Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen la recolección de datos de la actividad a realizar, el instructor conectará el motor en configuración serie y paralelo, invertirá la alimentación al motor primero sin cambiar las conexiones y luego cambiando la alimentación solamente al campo del motor. Posteriormente se conectará con una fuente de poder a la armadura y con otra al campo, variando la tensión solamente a la armadura y se anotarán los resultados.

Materiales y Recursos

- 2 Fuentes de poder de CC.
- Contador de revoluciones.
- Multitester digital.
- Motor de CC de 12 volts.

Seguridad

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
    - Casco
    - Lente de seguridad
    - Zapatos de seguridad
    - Guantes de faena
    - Chaleco reflectante
    - Protector auditivo. Si aplica
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

El instructor pedirá a los participantes conexionar un motor de CC en configuración serie de acuerdo a un gráfico dibujado en la pizarra, se conectará a una fuente de tensión y se irá aumentando el voltaje de 0 a 12 volts y luego se disminuirá a 0 nuevamente, se verá el sentido de giro y el cambio en la velocidad, posteriormente se invertirán las conexiones hacia el motor en la fuente de tensión y se repetirá la experiencia, se les pedirá a los participantes formular su teoría de por qué el motor no cambió el sentido de giro. Se repetirá la experiencia ahora solamente cambiando la conexión de la armadura y manteniendo el campo con la misma conexión notando ahora el cambio en el sentido de giro, consultar a los asistentes la razón de esta experiencia.

El instructor pedirá a los asistentes conexionar el motor en forma independiente, según gráfico dibujado en la pizarra, el campo con una fuente de voltaje y la armadura con la otra fuente, se alimentará el campo del motor con 12 volts fijos y la armadura se irá incrementando de 0 a 12 volts y nuevamente a 0 volts, se invertirá la alimentación a la armadura y se repetirá la experiencia, se registrará los cambios de velocidad y sentido de giro.

Actividad N° 7

Introcucción a Motores Eléctricos CC y CA especialista Movimiento de rotación de un Motor AC

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante realice experiencias con la rotación en un Motor de CA de 220 volts monofásico. Se identificarán el rotor y el estator, se hará énfasis en la no necesidad de escobillas y la razón del porqué.

Estrategias metodológicas para el instructor.

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

Recurso Plataforma Web	✓
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	✓
Propuestas de situaciones problemáticas	
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	✓

Objetivos del aprendizaje

- Conocer las partes de un Motor de CA sus conexiones y la posibilidad de cambiar su sentido de giro pero no la velocidad al conectarlo a un voltaje menor.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos o en pares.

Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen la recolección de datos de la actividad a realizar, el instructor pedirá a los participantes conectar el motor de acuerdo a un gráfico dibujado en la pizarra.

Materiales y Recursos

- Fuente de poder de CA variable.
- Multitester digital.
- Motor de CA de 220 volts con partida con condensador.
- Contador de revoluciones.

Seguridad

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
    - Casco
    - Lente de seguridad
    - Zapatos de seguridad
    - Guantes de faena
    - Chaleco reflectante
    - Protector auditivo. Si aplica
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

El instructor pedirá a los participantes conexionar el motor de CA de acuerdo a un gráfico dibujado en la pizarra, se conectará a una fuente de tensión de 220 Volts y se disminuirá hasta 110 volts, se verá el sentido de giro y el posible cambio en la velocidad, también se verá cómo es afectado el torque colocándole carga al motor al variar el voltaje.

Luego el instructor pedirá a los participantes repetir la experiencia variando la conexión del condensador, se anotarán los resultados y se les pedirá que formulen una teoría de porqué el cambio de giro del motor.

Actividad N° 8

Introcucción a Motores Eléctricos CC y CA especialista Variador de Velocidad de un Motor CC.

Introducción a la actividad

El instructor hará actividades de control de velocidad y dirección de giro en motores de CC con driver dedicados para este propósito

Estrategias metodológicas para el instructor.

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

Recurso Plataforma Web	✓
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	✓
Propuestas de situaciones problemáticas	
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	✓

Objetivos del aprendizaje

- Conocer el funcionamiento de los drivers existentes en el mercado para controlar motores de CC tanto en velocidad como en sentido de giro.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos o en pares.

Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen la recolección de datos de la actividad a realizar, el instructor conectará el motor al driver de modo de efectuar la correcta configuración de motor/driver y controlar así sus movimientos mediante botoneras o joysticks.

Materiales y Recursos

Fuente de poder de CC.

Multitester digital.

Motor de CC de 12 volts.

Driver adecuado para el motor.

Seguridad.

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
    - Casco
    - Lente de seguridad
    - Zapatos de seguridad
    - Guantes de faena
    - Chaleco reflectante
    - Protector auditivo. Si aplica
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

El instructor pedirá a los participantes conexionar un motor de CC en configuración necesaria para polarizarlo correctamente, demostrará a los participantes cómo se puede controlar un motor con un control electrónico de potencia, modificando velocidad y sentido de giro de acuerdo a las exigencias de un operador.

7. Variadores de frecuencia nivel medio

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".

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.

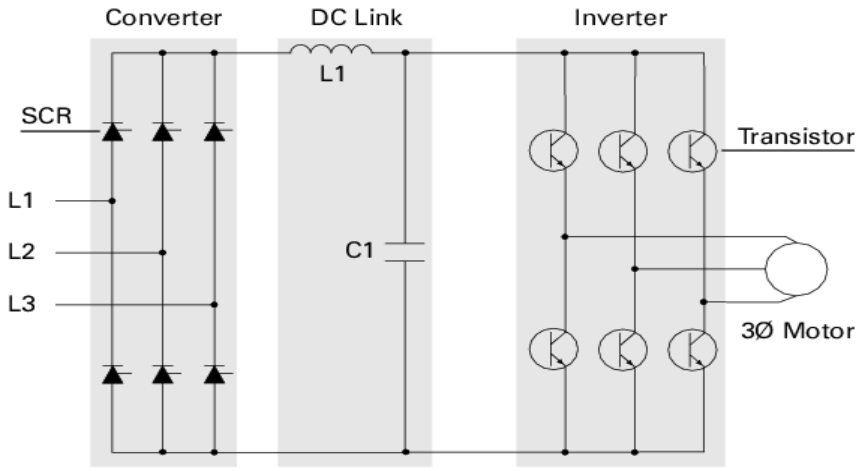


Figura 71

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.

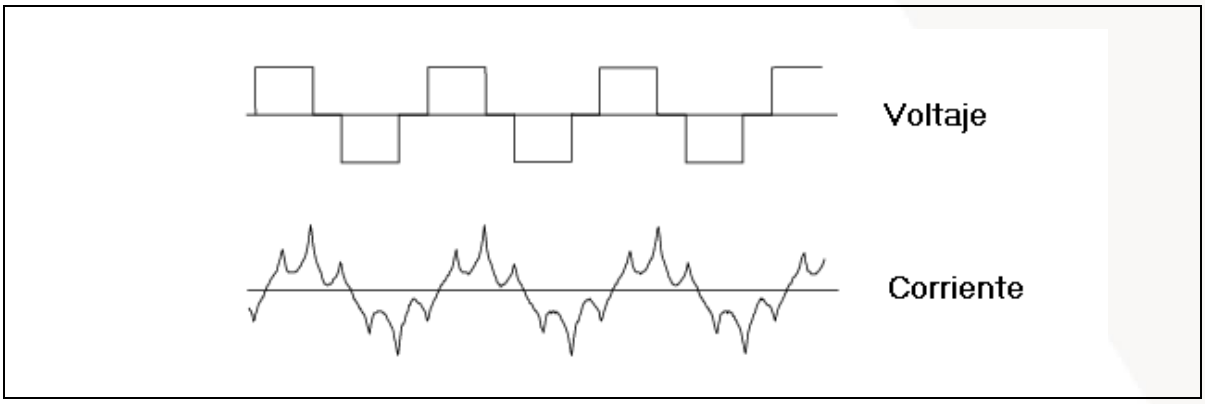


Figura 72

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.

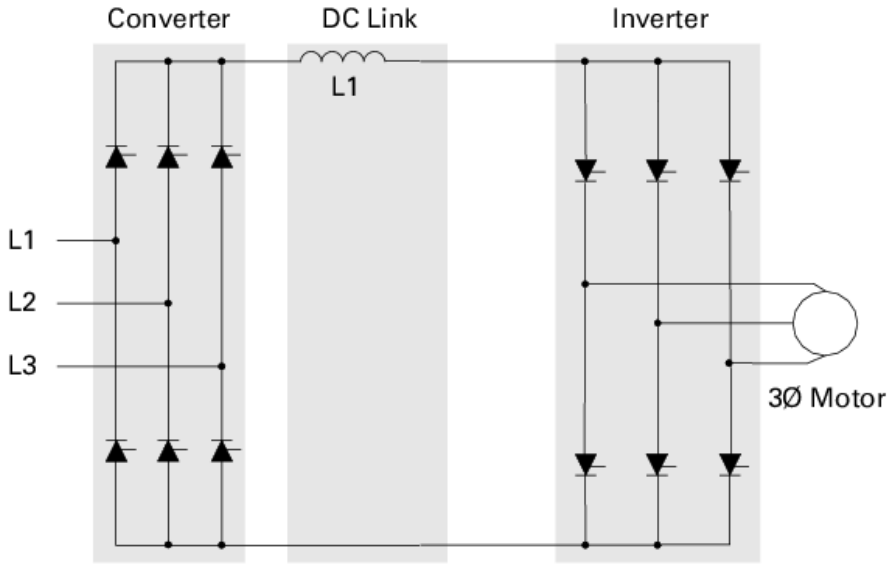


Figura 73

Convertidor de Frecuencia CSI

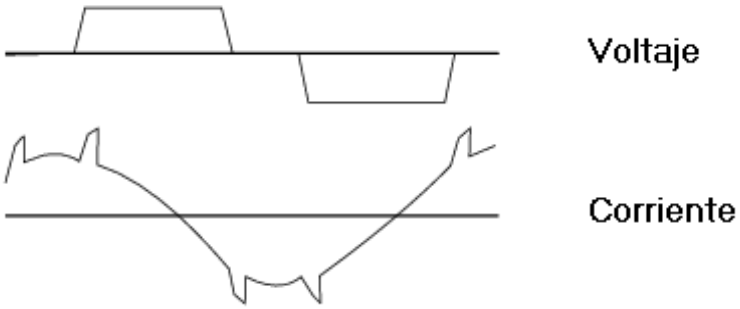


Figura 74
Onda eléctrica del Convertidor de Frecuencia CSI

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)

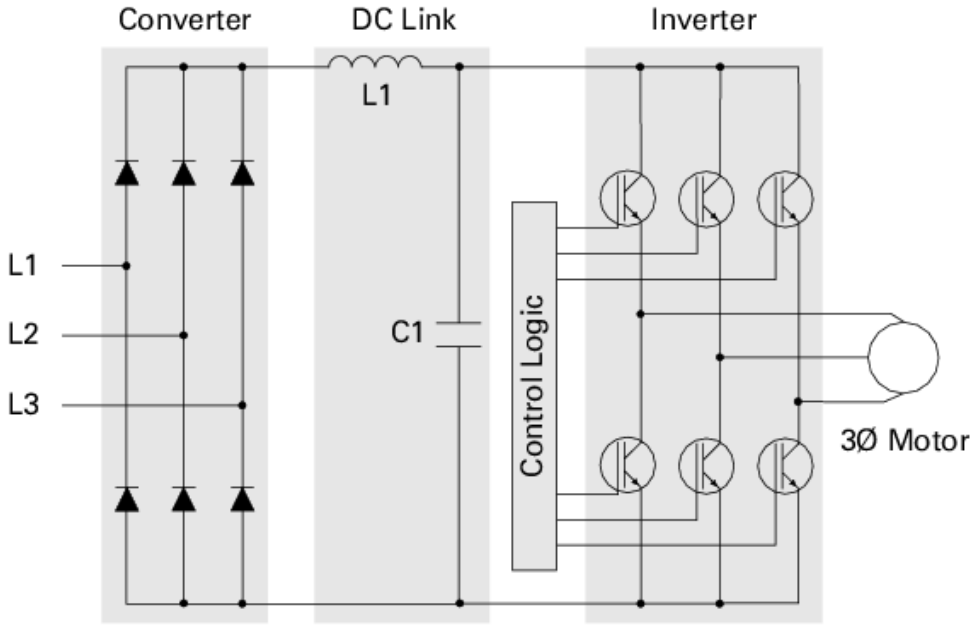


Figura 75
Convertidor de Frecuencia PWM

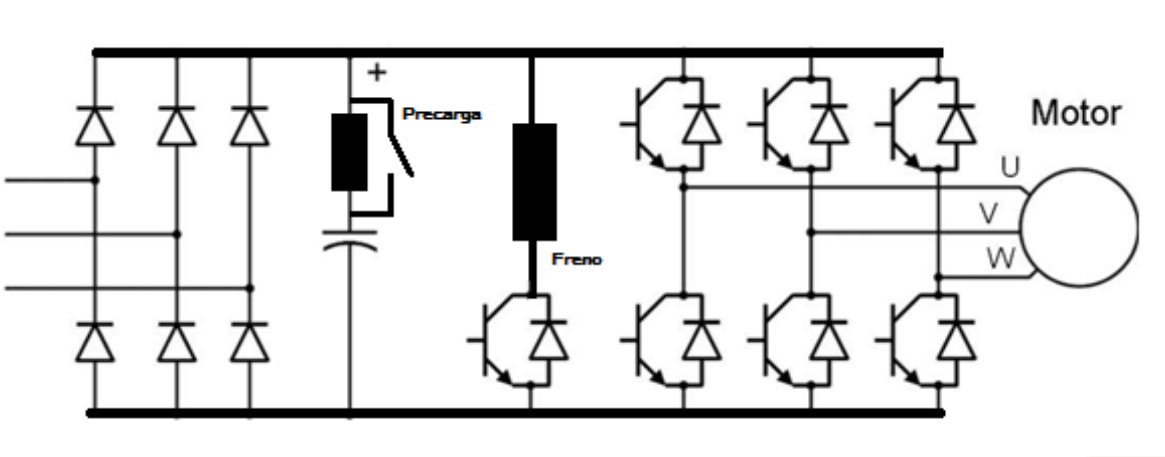


Figura 76
Detalle VDF Industrial

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.

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.

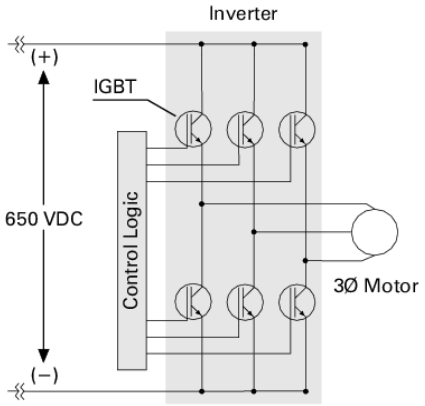


Figura 77
Inversor

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.

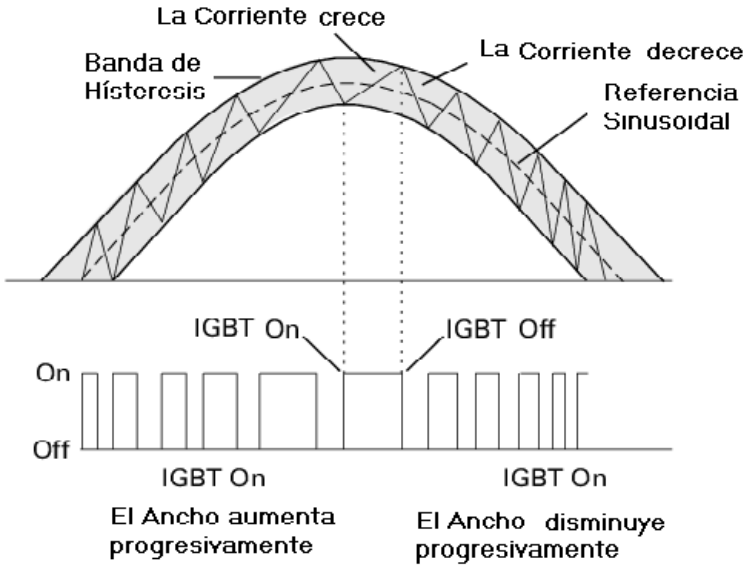


Figura 78

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.

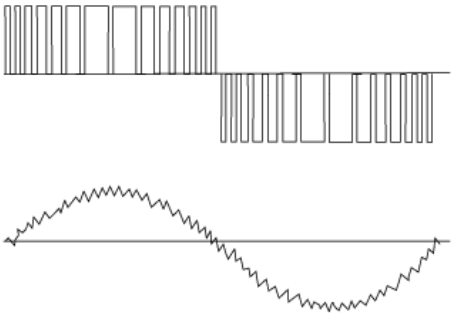


Figura 79

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.

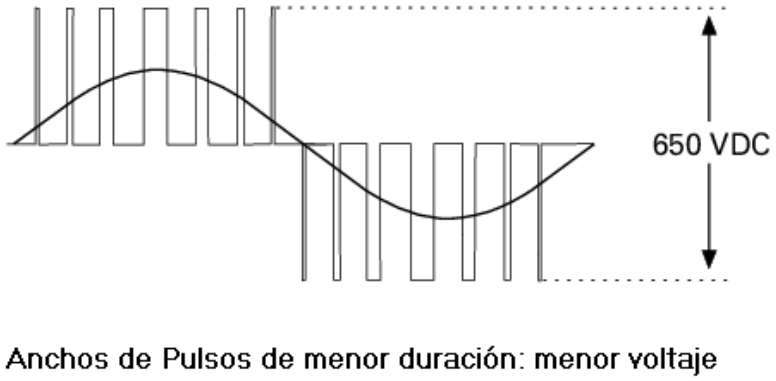


Figura 80

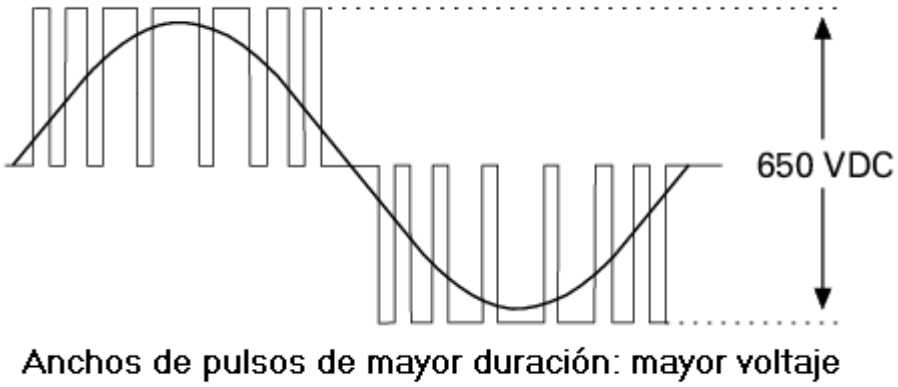


Figura 81

Control vectorial

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

Control escalar

El control escalar sólo 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.

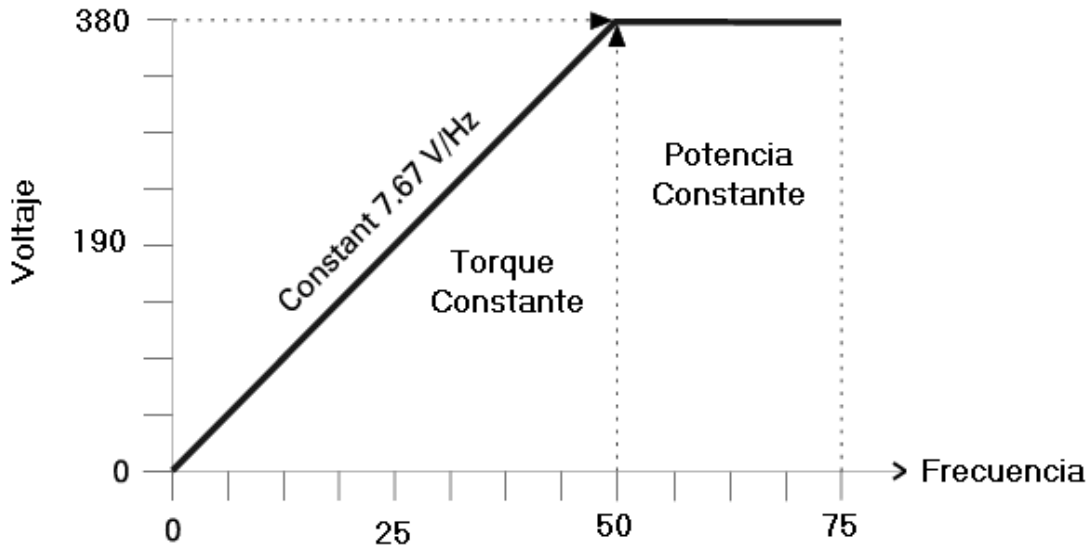


Figura 82
Modo de control lineal V/f

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.

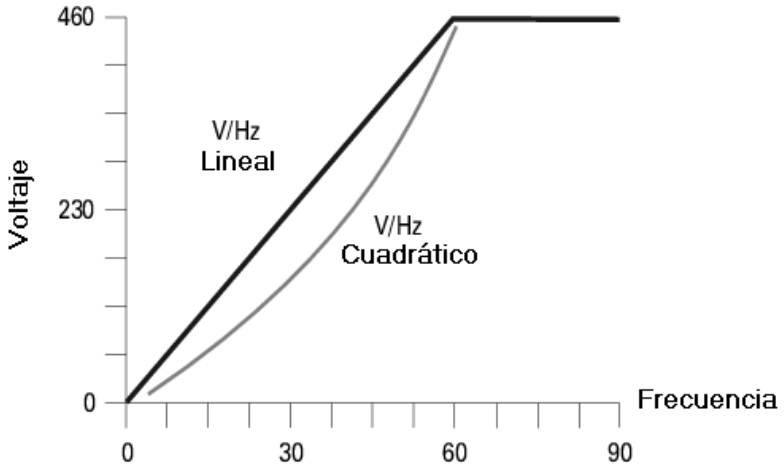


Figura 83

Modo de control cuadrático V/f
(Por gentileza de Siemens S.A.)

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.

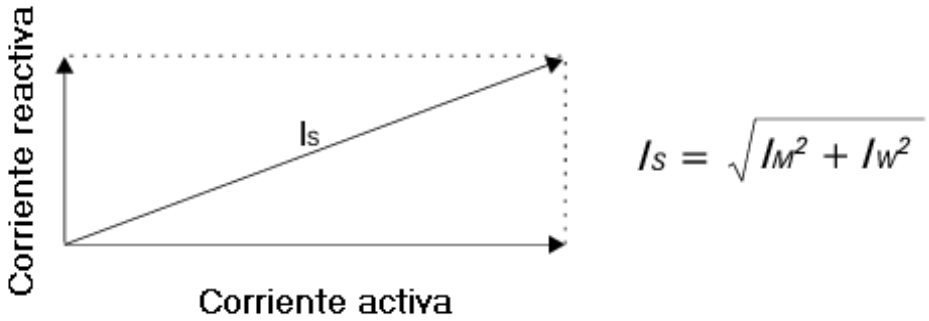


Figura 84

Modo de Control FCC

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 85

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

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

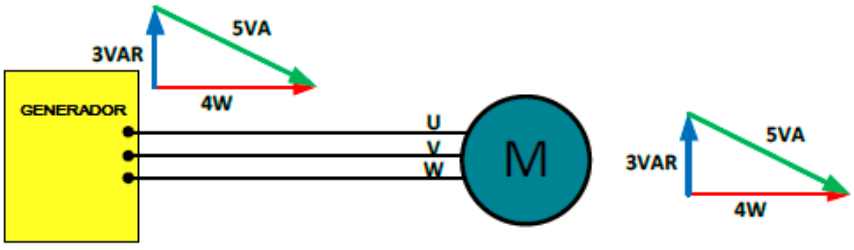


Figura 86

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

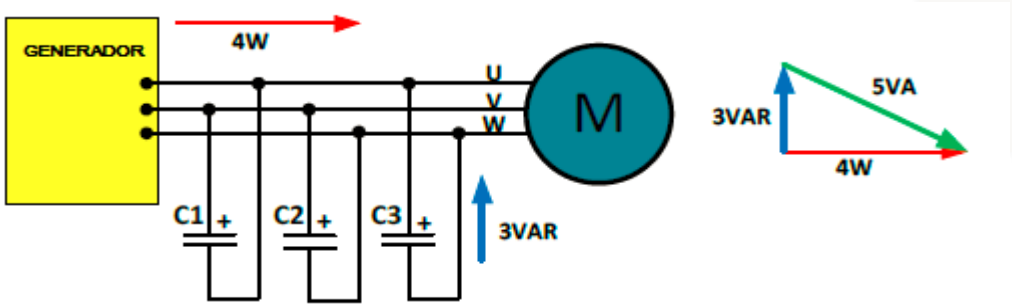


Figura 87

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

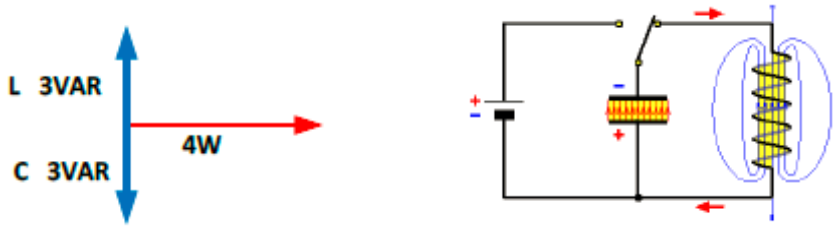


Figura 88

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, sólo 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.

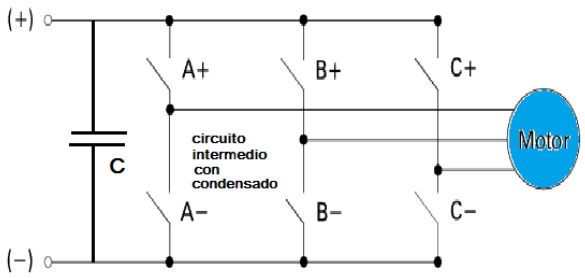


Figura 89

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

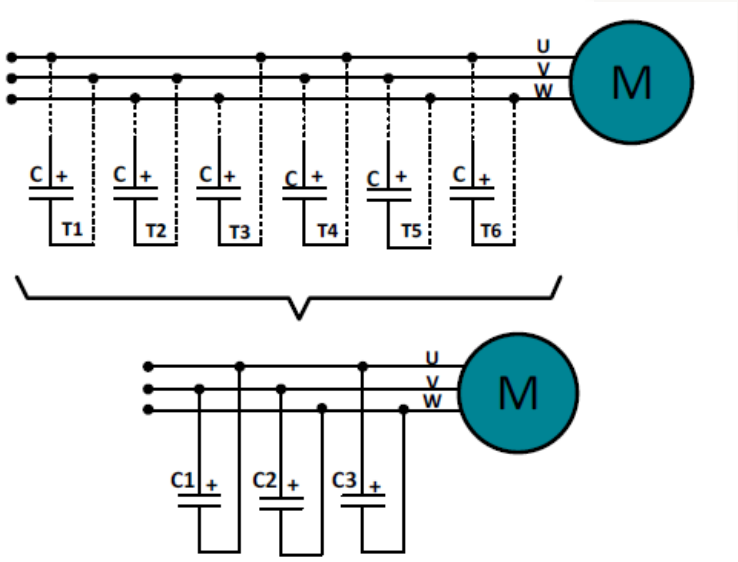


Figura 90

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.

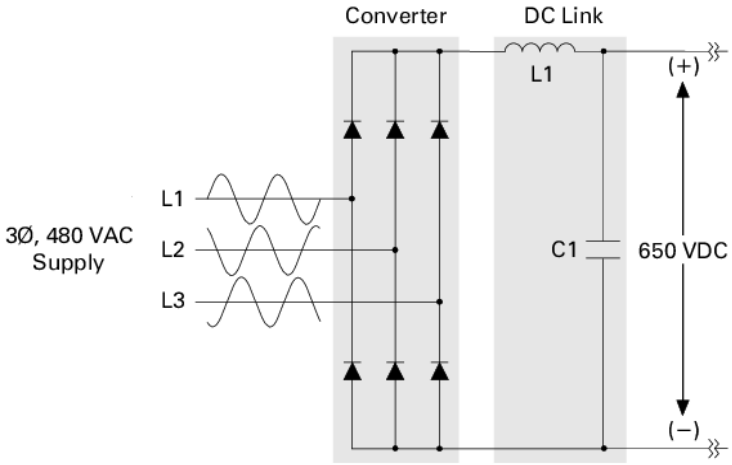


Figura 91

Rectificador y enlace DC

Circuitos snubber (amortiguadores)

Solución al problema de la cfem (contra fuerza electromotriz)

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

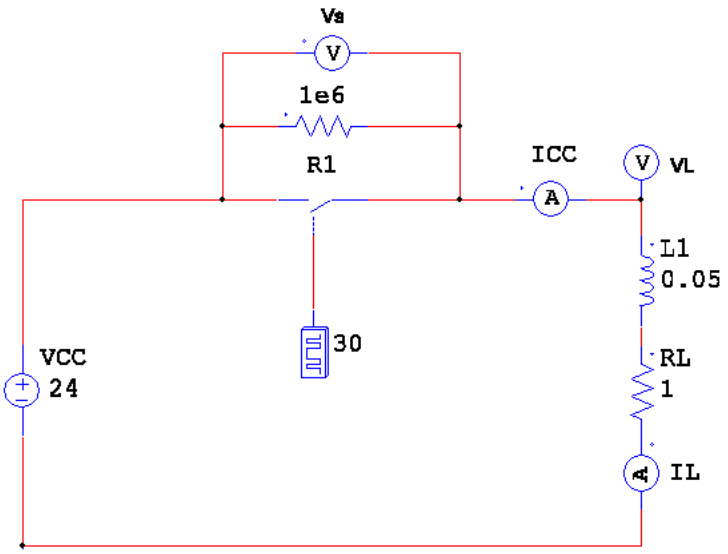


Figura 92

Circuito RL, sin amortiguador de voltaje simulado.

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

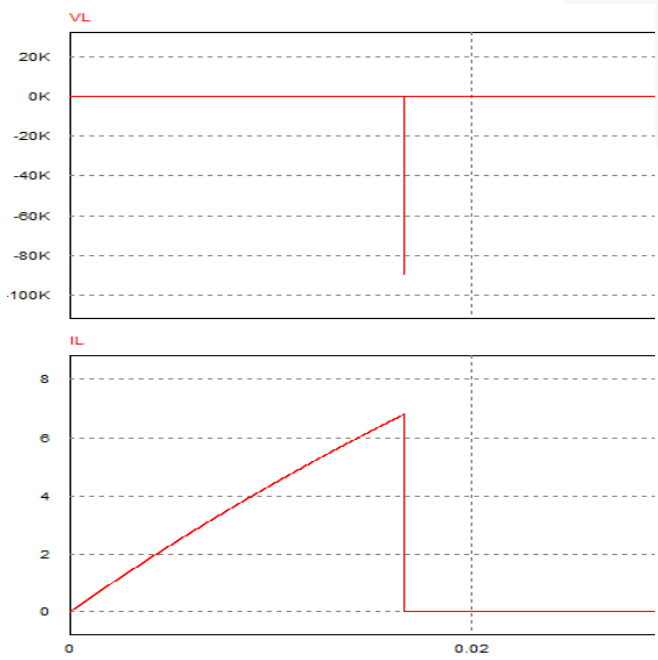


Figura 93

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.

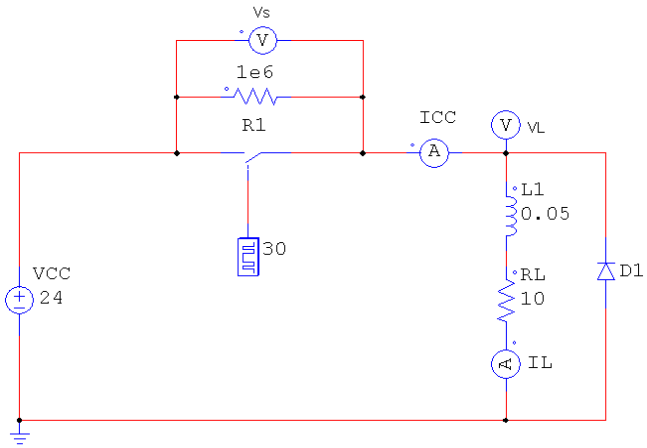


Figura 94

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.

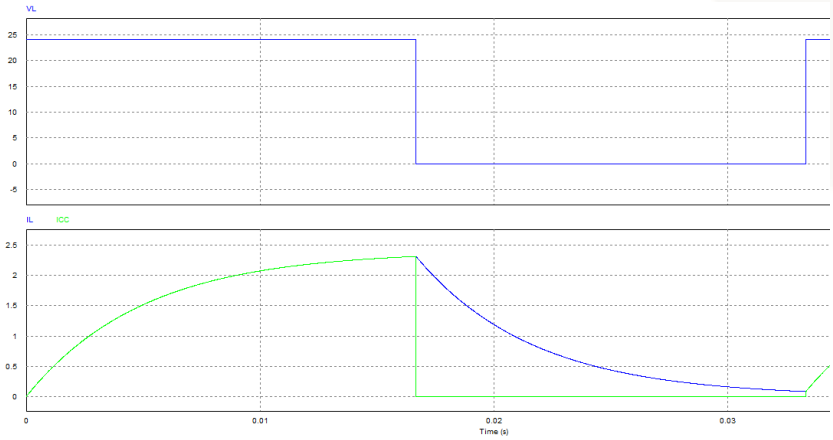


Figura 95

Gráfica de Voltaje-Corriente de una bobina con “diodo volante”.

En la gráfica observamos la corriente de a 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 dela bobinase mantiene limpio, sin transientes de sobrevoltaje, 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;

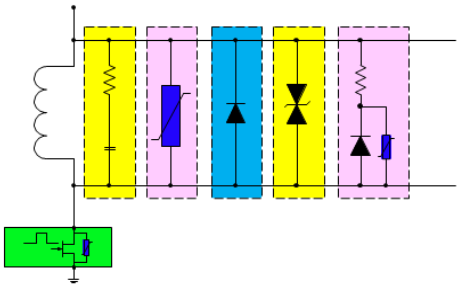


Figura 96

Mallas amortiguadoras utilizando diferentes 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 97

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)

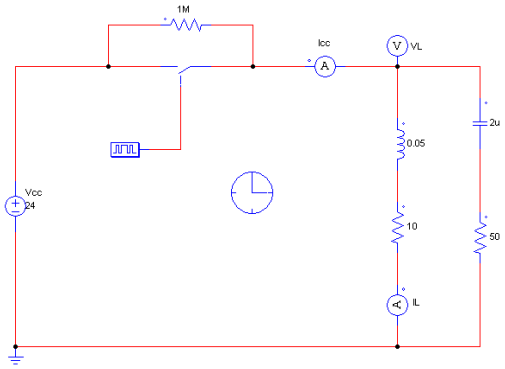


Figura 98

Circuito de conmutación de bobina protegido por mallas nubber. RC

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:

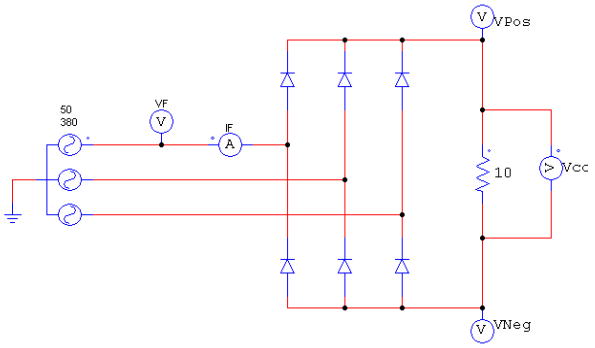


Figura 99
Rectificador con carga resistiva.

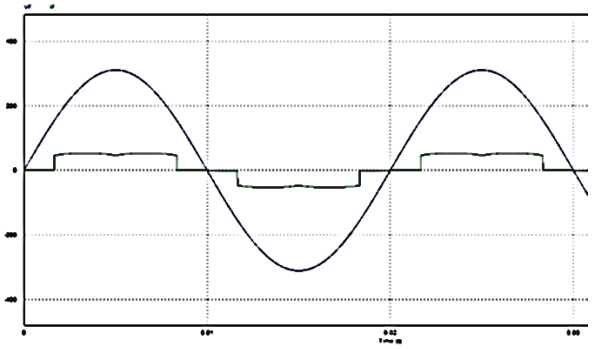


Figura 100
Voltaje y Corriente no lineal, note que hay corriente cero.

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

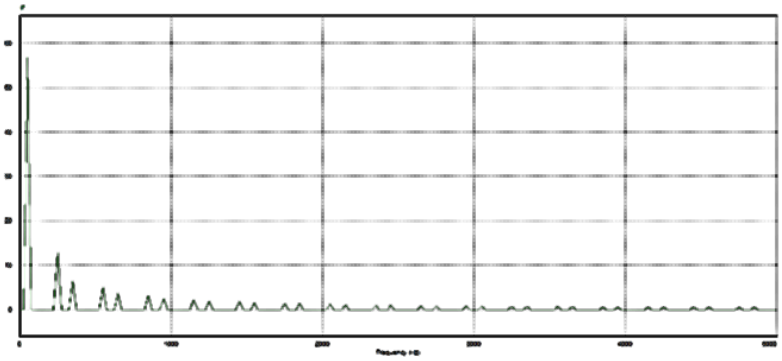
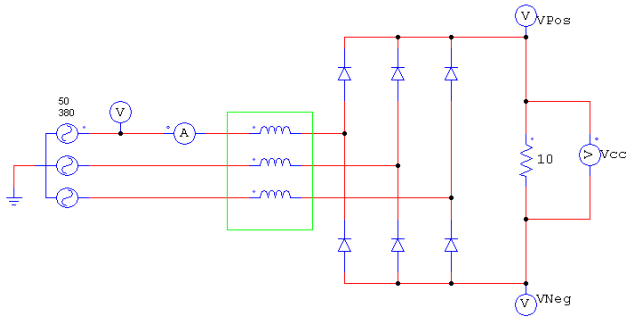


Figura 101
Gráfica de armónicos

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 102

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

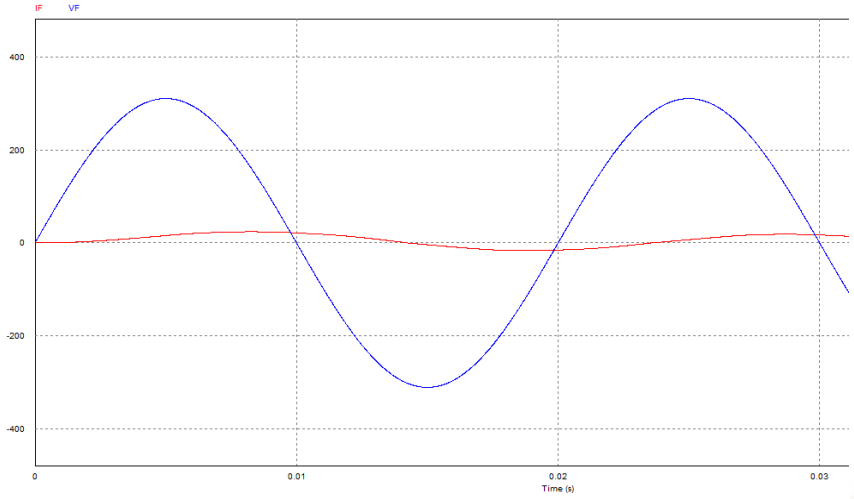


Figura 103

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

7.1 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 efecto 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

7.2 Aplicaciones 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.

7.3 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).

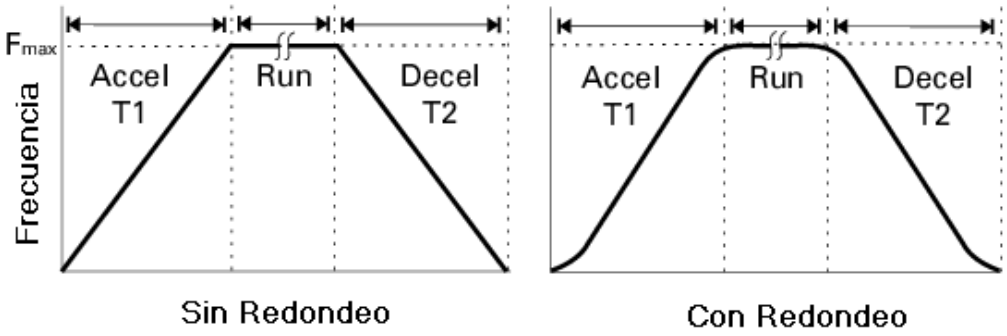


Figura 104

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 continua

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:

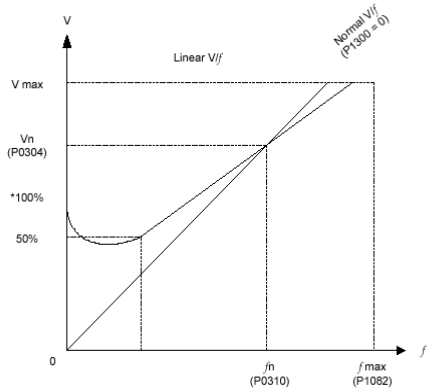


Figura 105

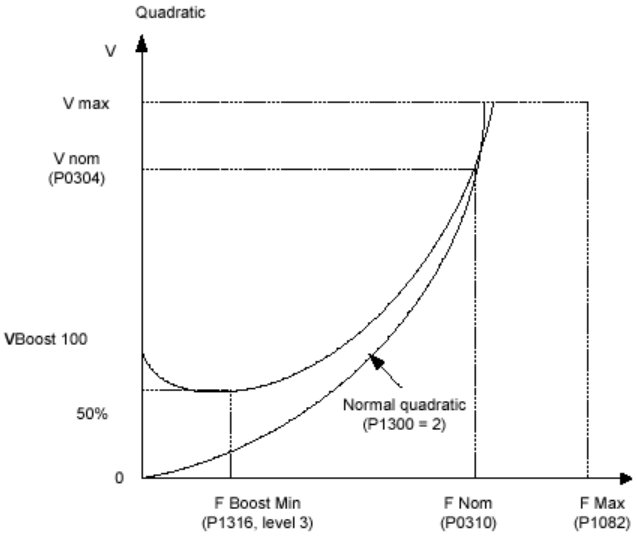


Figura 106

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)

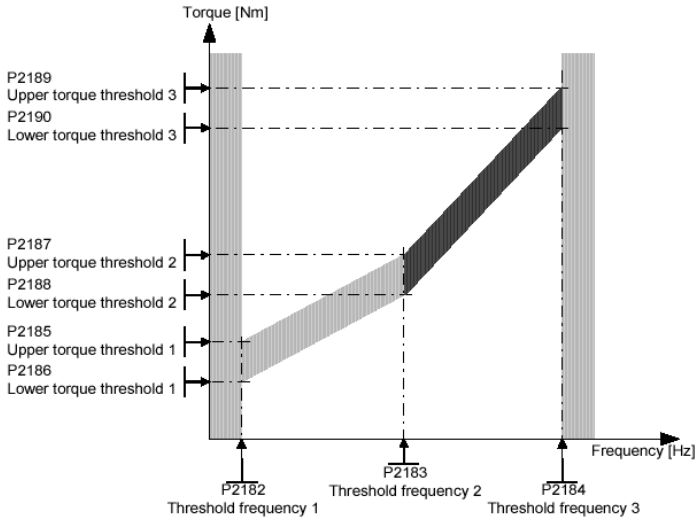


Figura 107

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

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

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

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

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

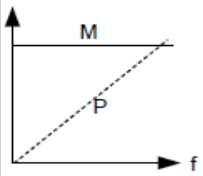
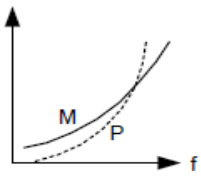
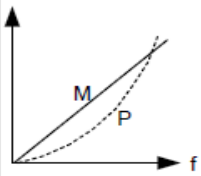
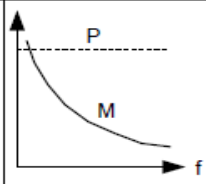
par de giro	M = const.	$M \sim f^2$	$M \sim f$	$M \sim \frac{1}{f}$
Potencia	$P \sim f$	$P \sim f^3$	$P \sim f^2$	P = const.
Característica				
Aplicación	Unidad levadiza Cintas transportadora Máquinas de proces. Con moldeado Rodillos amoladores Máquinas acepillad. Compresores	Bombas Ventiladores Centrifugas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

Figura 108

De par en aplicaciones industriales

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

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

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

b.- Torque variable o cuadrático:

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

c.- Torque proporcional

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

d.- Potencia constante (par inverso)

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

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 (Ψ*R*) 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:

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

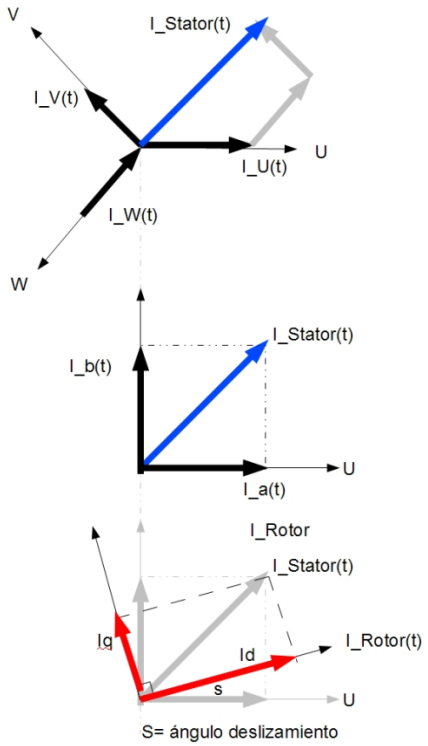


Figura 109

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

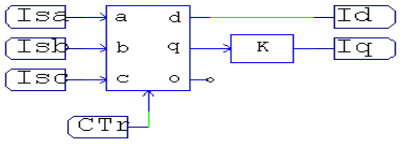


Figura 110

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

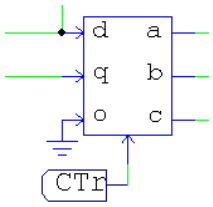


Figura 111

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

Esquema Básico del Control Orientado de Campo FOC

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

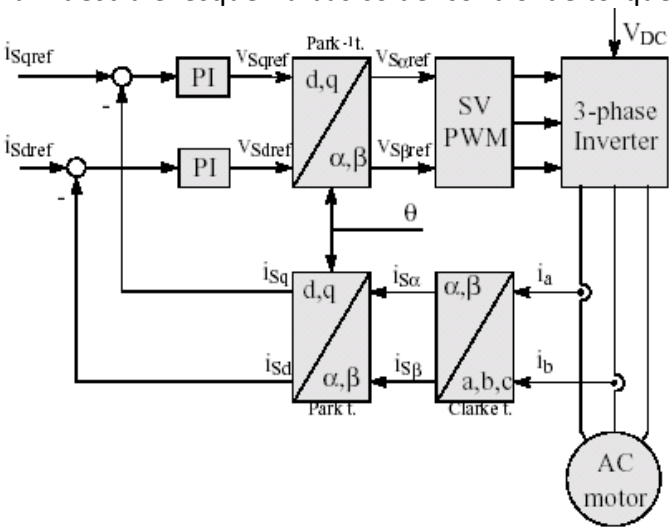


Figura 112

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.**

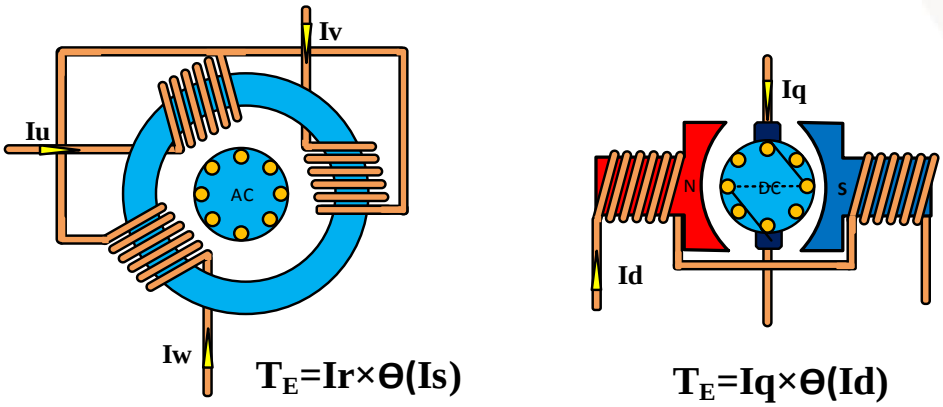


Figura 113

Motor Inducción AC y su proyección vectorial DC

<u>Datos Medibles</u>:

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.

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.

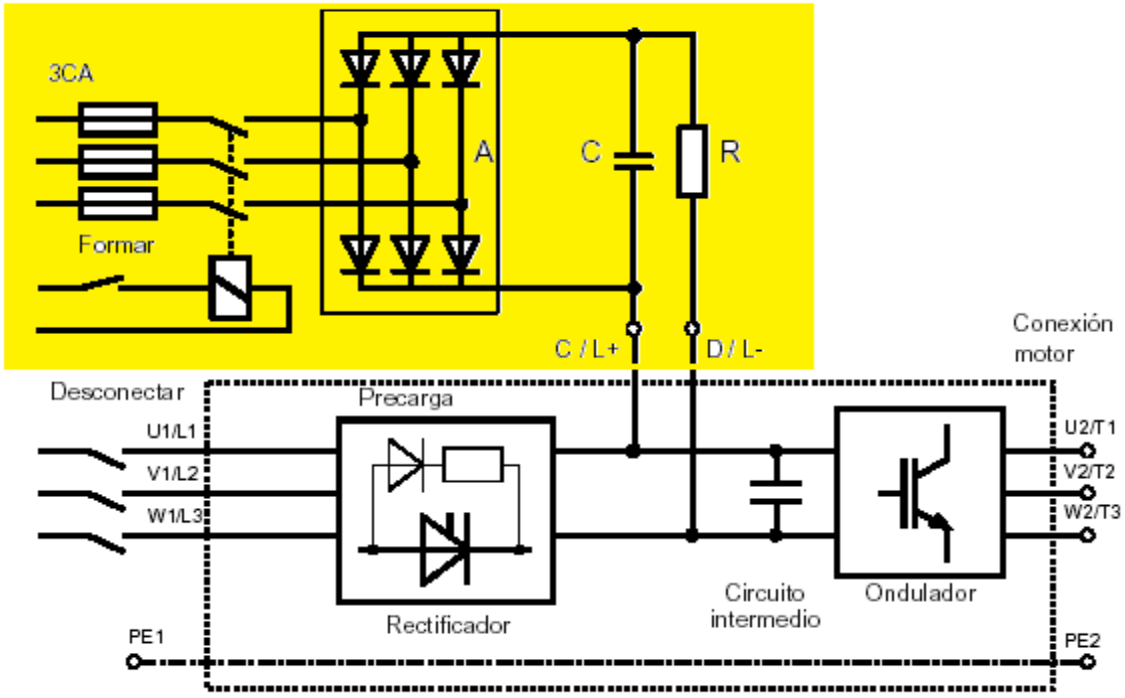


Figura 114

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.

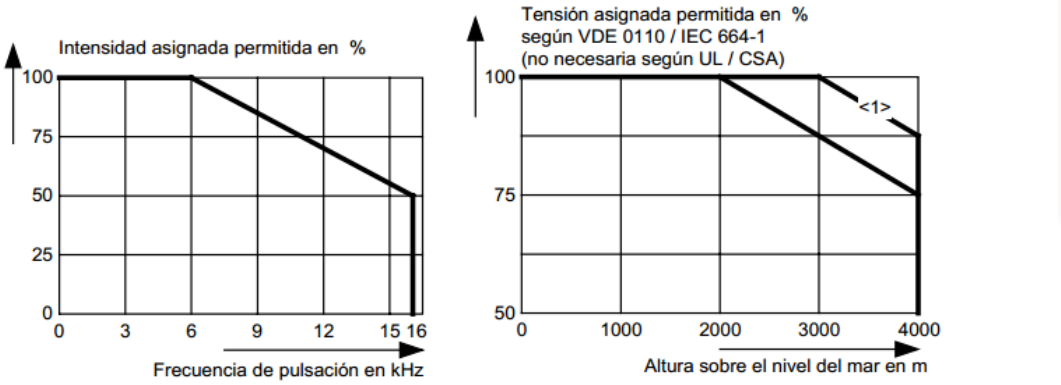
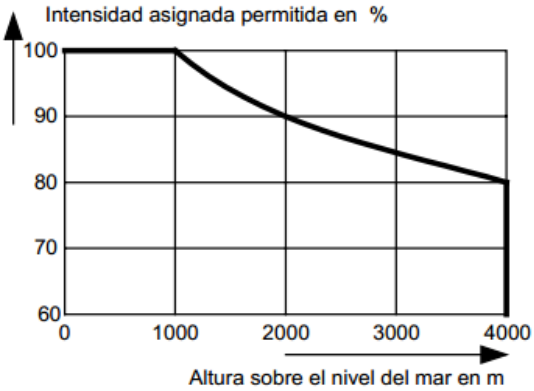


Figura 115

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)

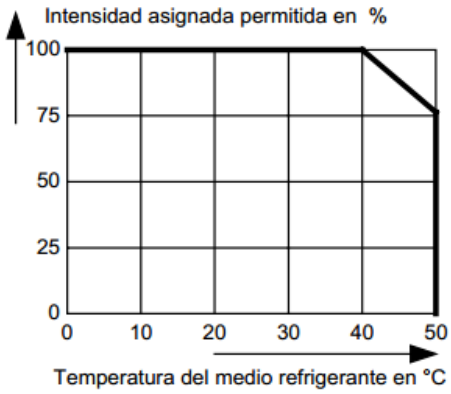


<1>
La curva derating más favorable es válida solo para los tamaños de B a D con una tensión de entrada asignada de 510 - 540 V

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

Figura 116

La potencia en sistemas autoventilados se debe de ratear 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 K2
50	0,76
45	0,879
40	1,0
35	1,125 *
30	1,25 *
25	1,375 *

* Véase la siguiente indicación

Figura 117

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

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

El derateo de la intensidad asignada permitida para alturas mayores de 1000 m sobre el nivel del mar y temperaturas medioambientales por debajo de 40 °C se puede calcular de la siguiente forma:

Derateo total = Derateo Altura x Derateo Temperatura 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

Recomendaciones para una correcta instalación de fuerza

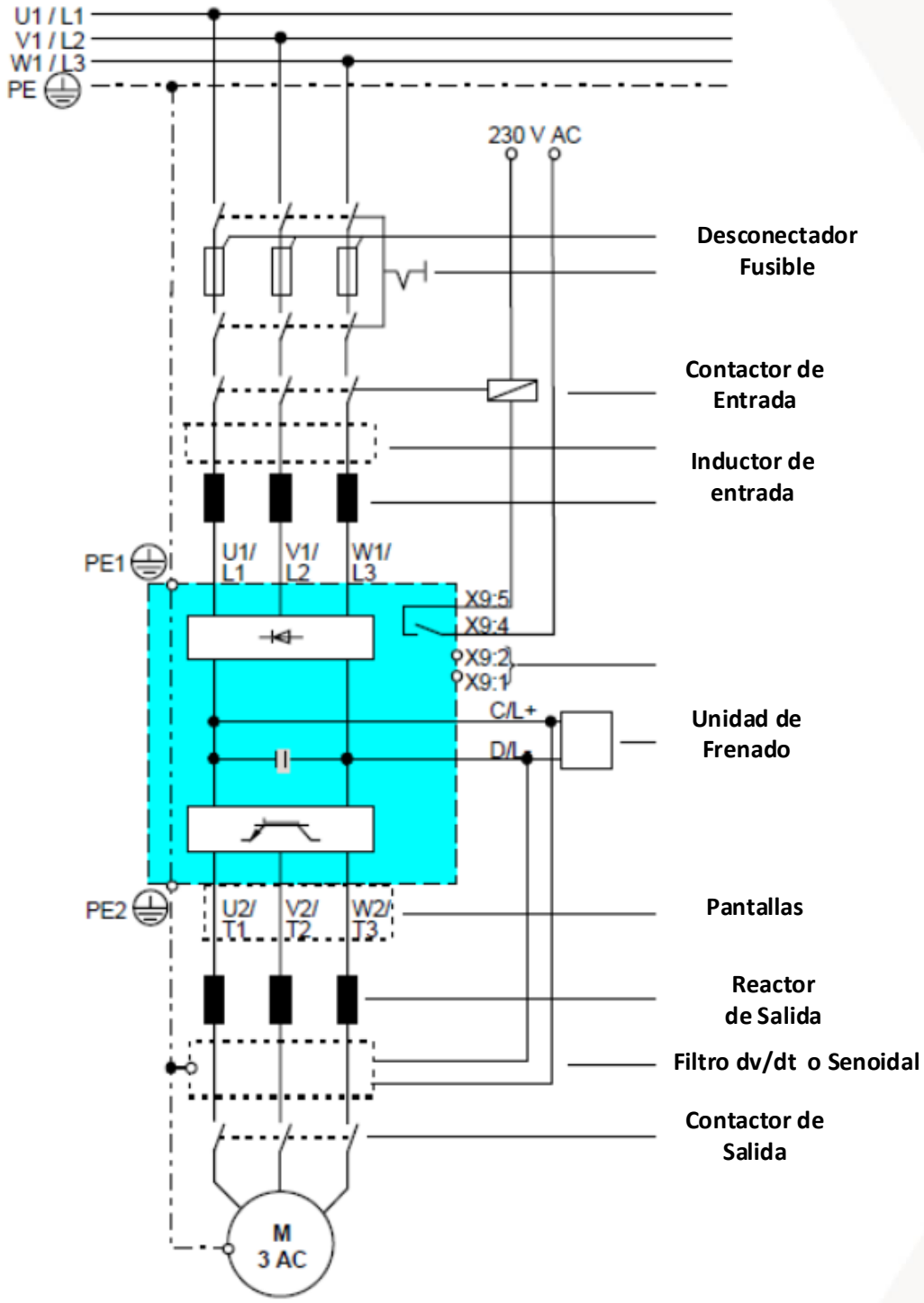


Figura 118

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 119

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.

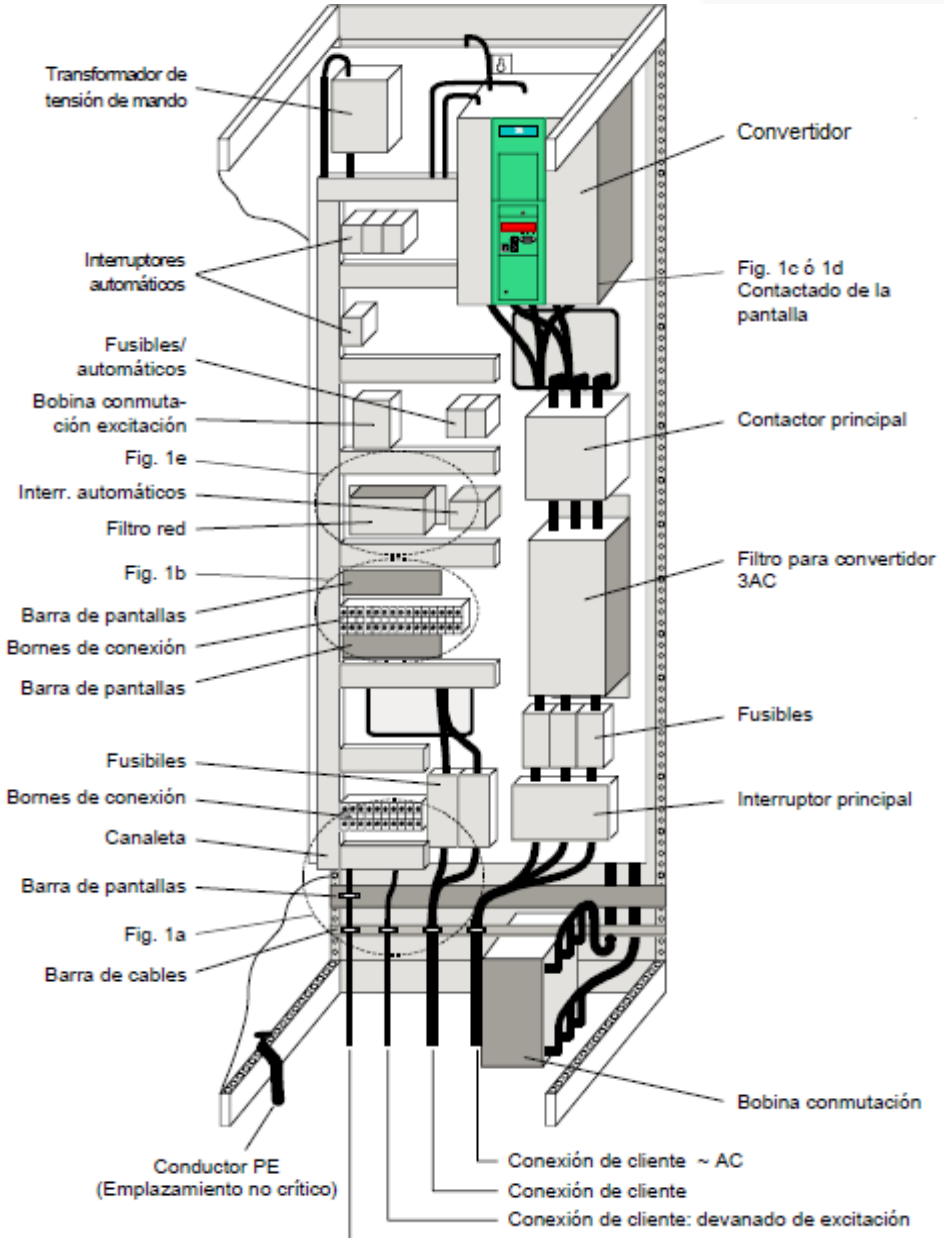


Figura 120

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

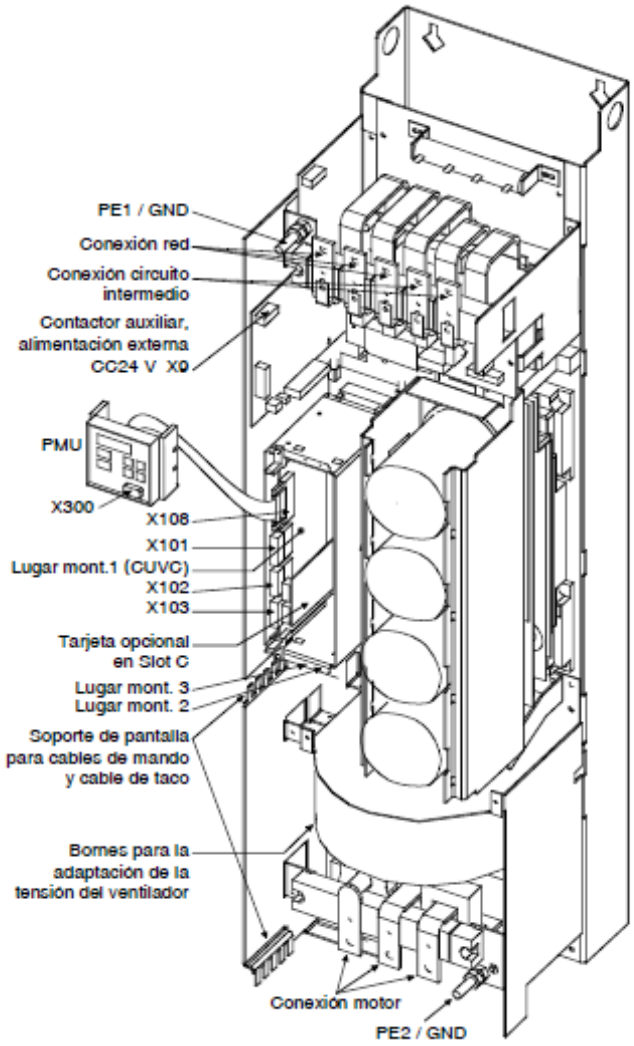


Figura 121

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.

Conexiones de control

Básicamente todos los variadores tienen el mismo esquema de control digital

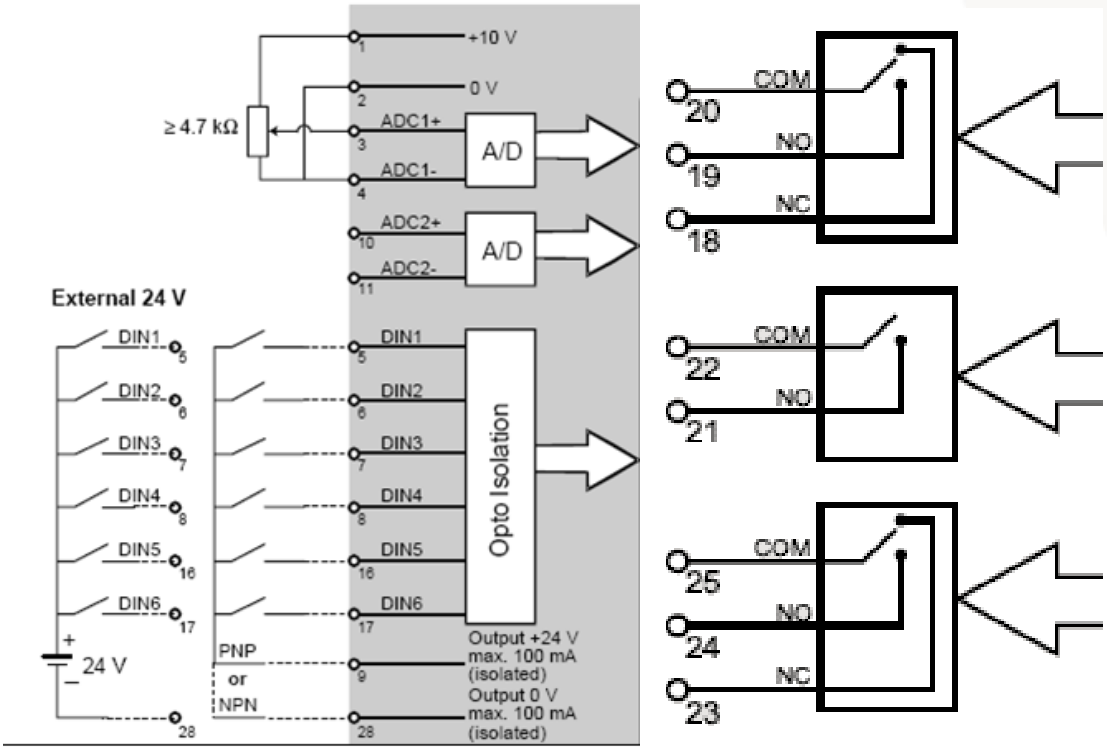


Figura 122

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

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

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

<u>En las funciones de salida:</u>

- 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

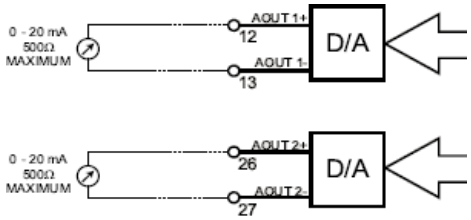


Figura 123

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.

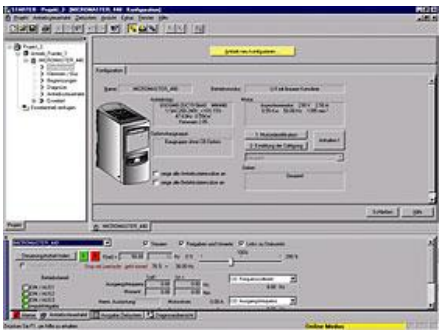


Figura 124

Software de parametrización para VDF SIEMENS Configuración del variador de frecuencia

Diagrama de Bloque del equipo

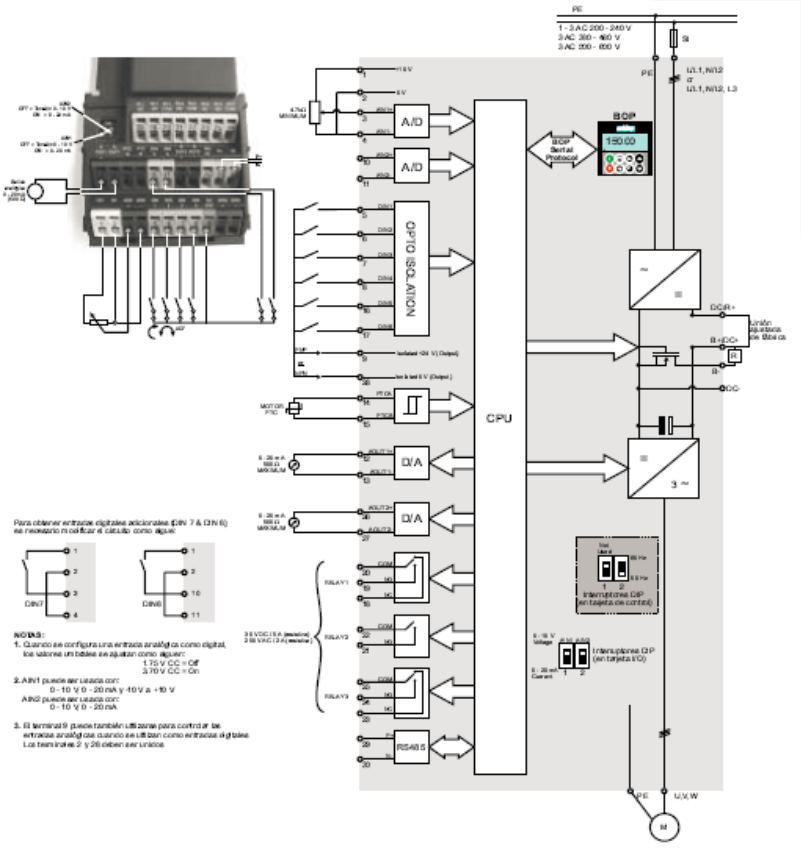


Figura 125

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 126

Panel BOP de visualización y programación

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.

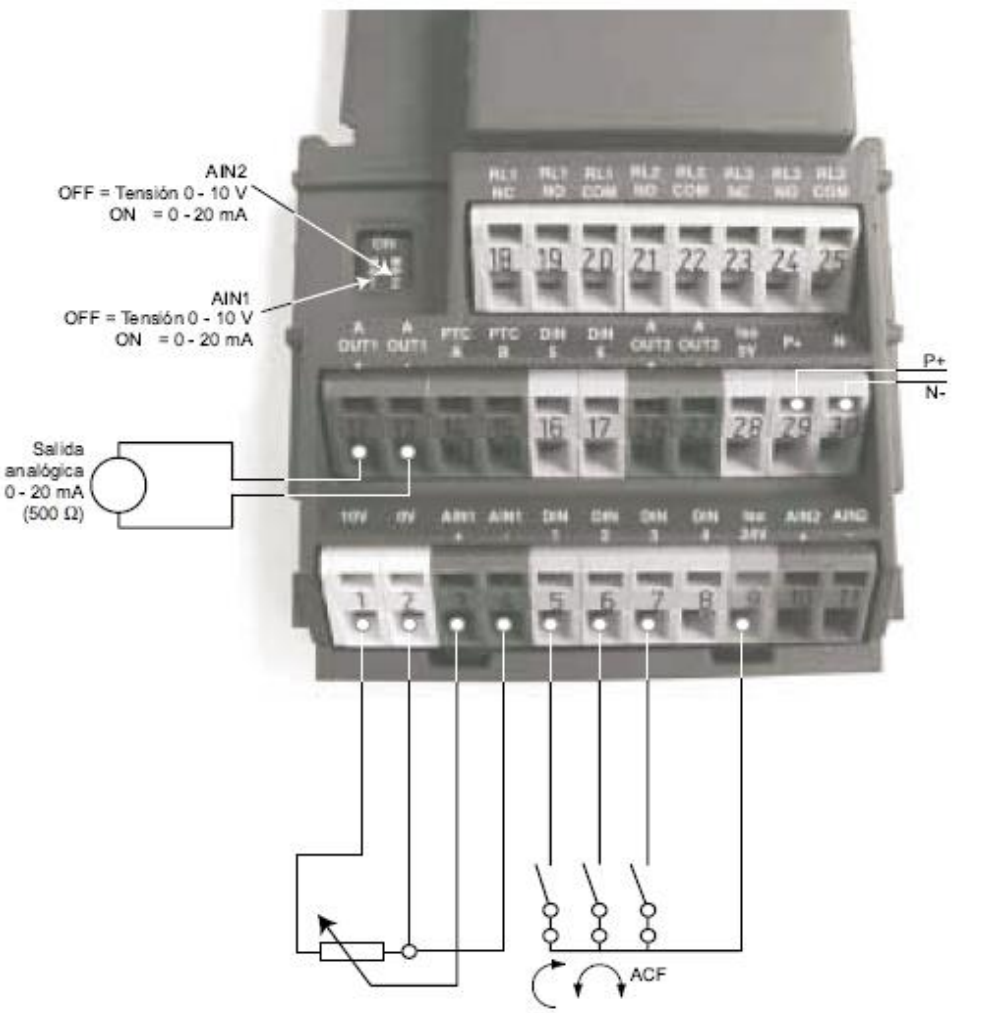


Figura 127

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

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.

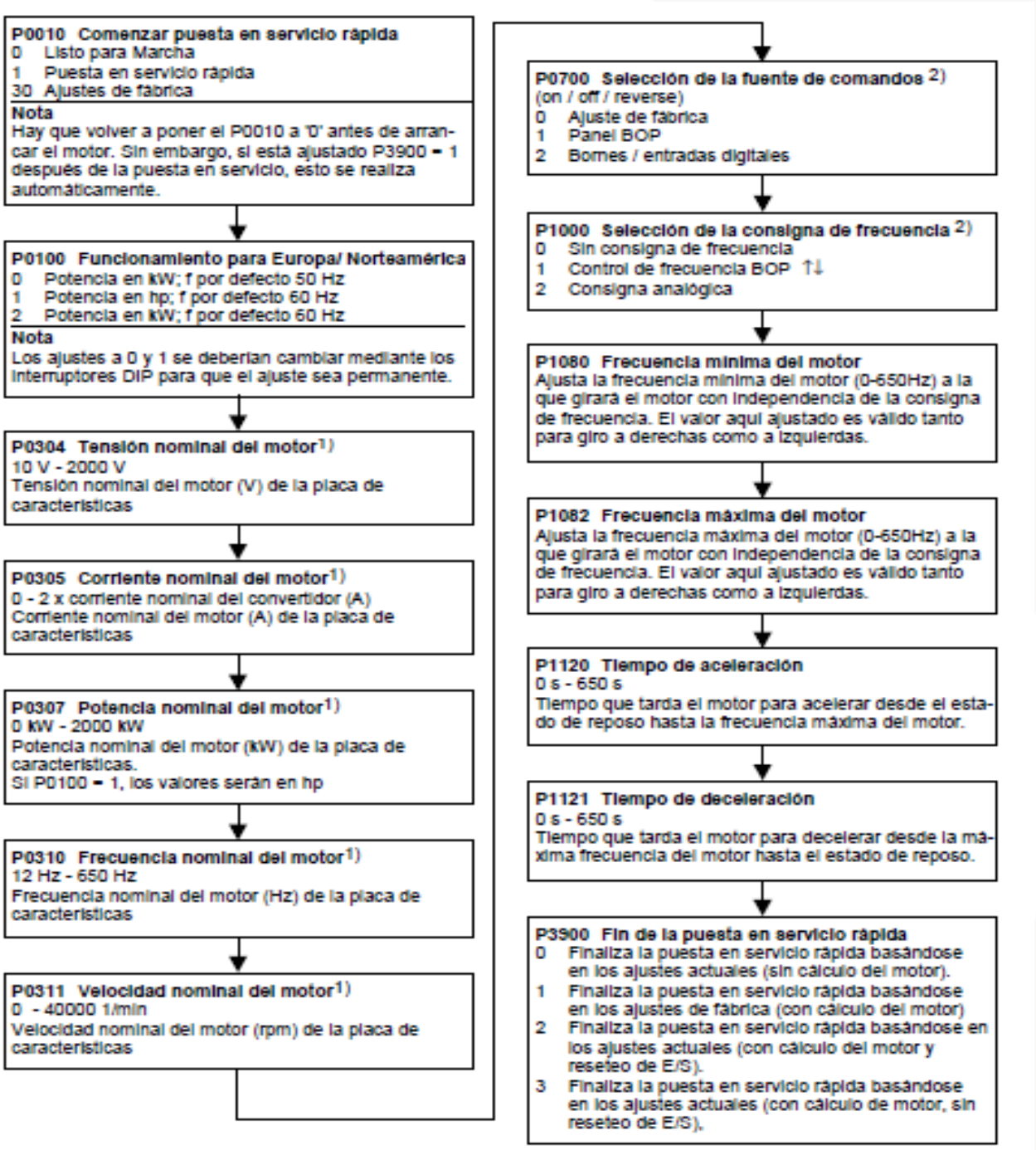


Figura 128

Puesta en servicio rápida vdf siemens mm440

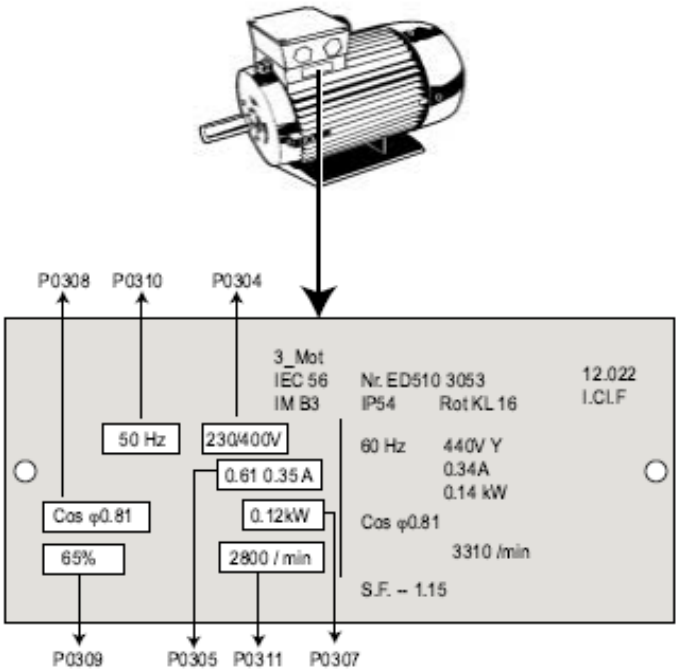


Figura 129

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).

7.4 Operación básica con el panel BOP

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

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

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.

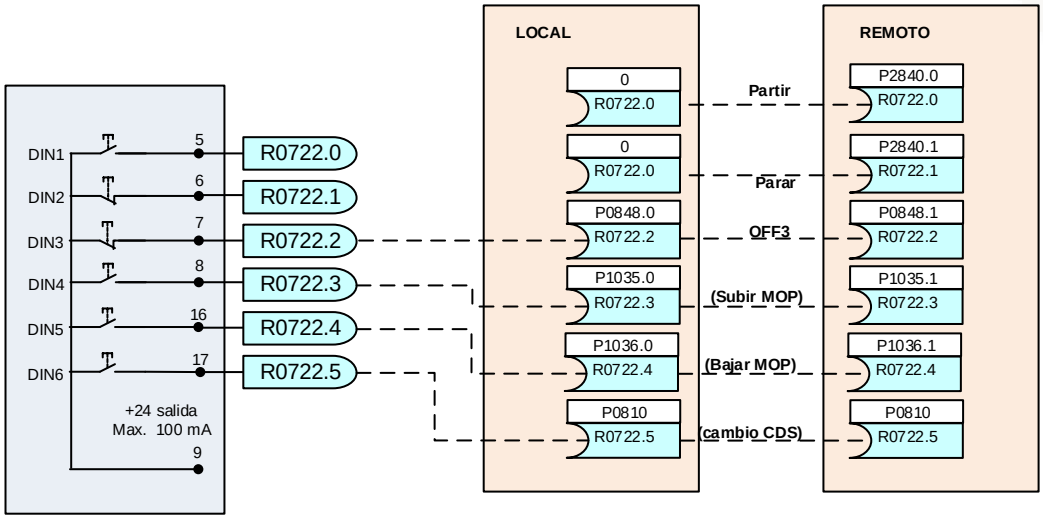
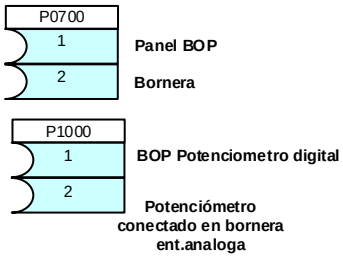


Figura 130

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 índex del comando respectivo.



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

Figura 131

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

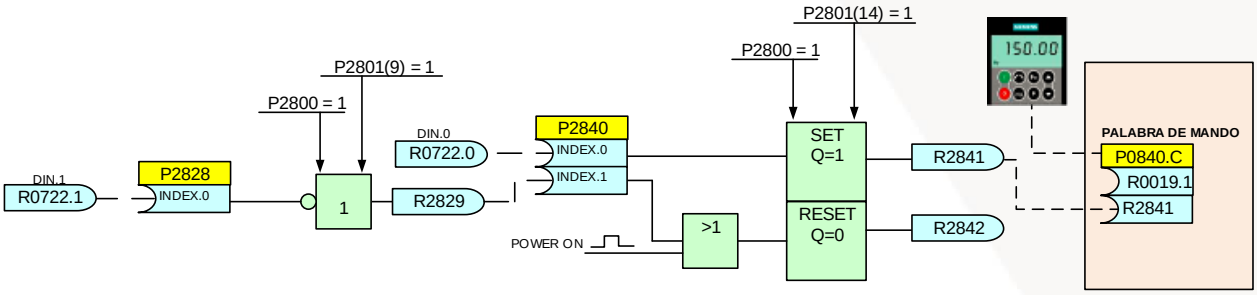


Figura 132

Figura: 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.

Topologías de convertidores de frecuencia

Convertidores para un cuadrante

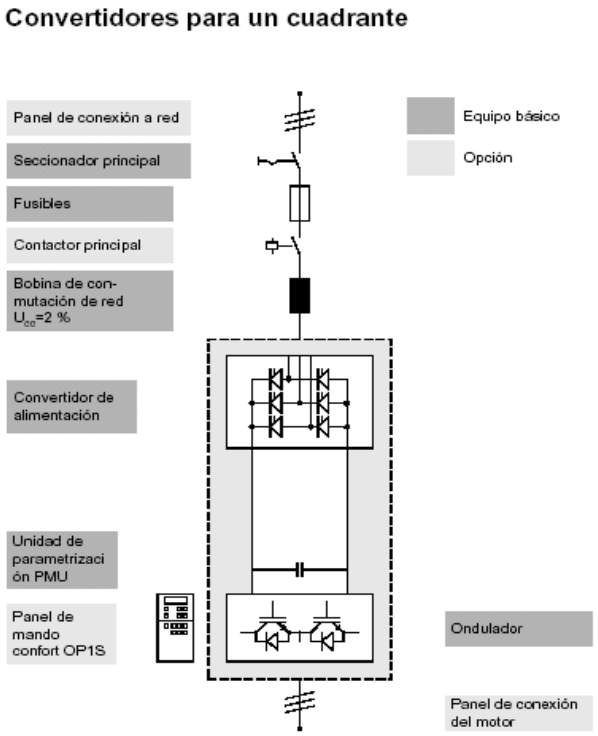


Figura 133

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)

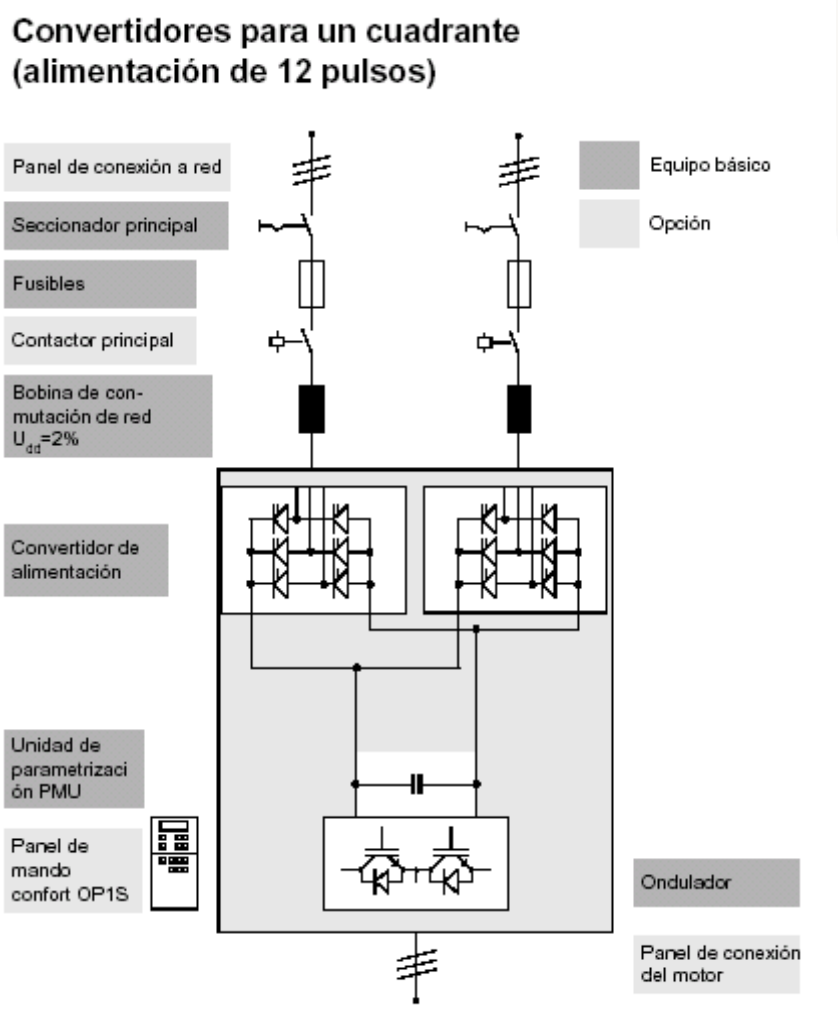


Figura 134
Convertidor de un cuadrante, 12 pulsos

- 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

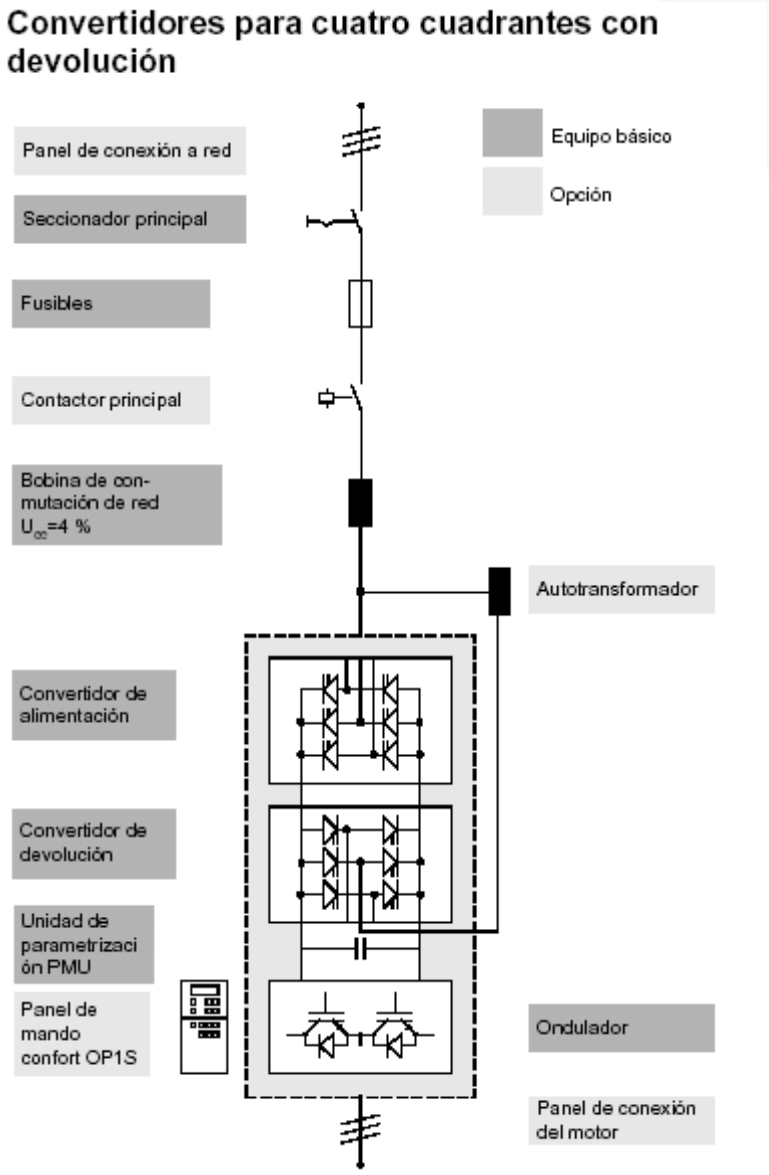


Figura 135

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

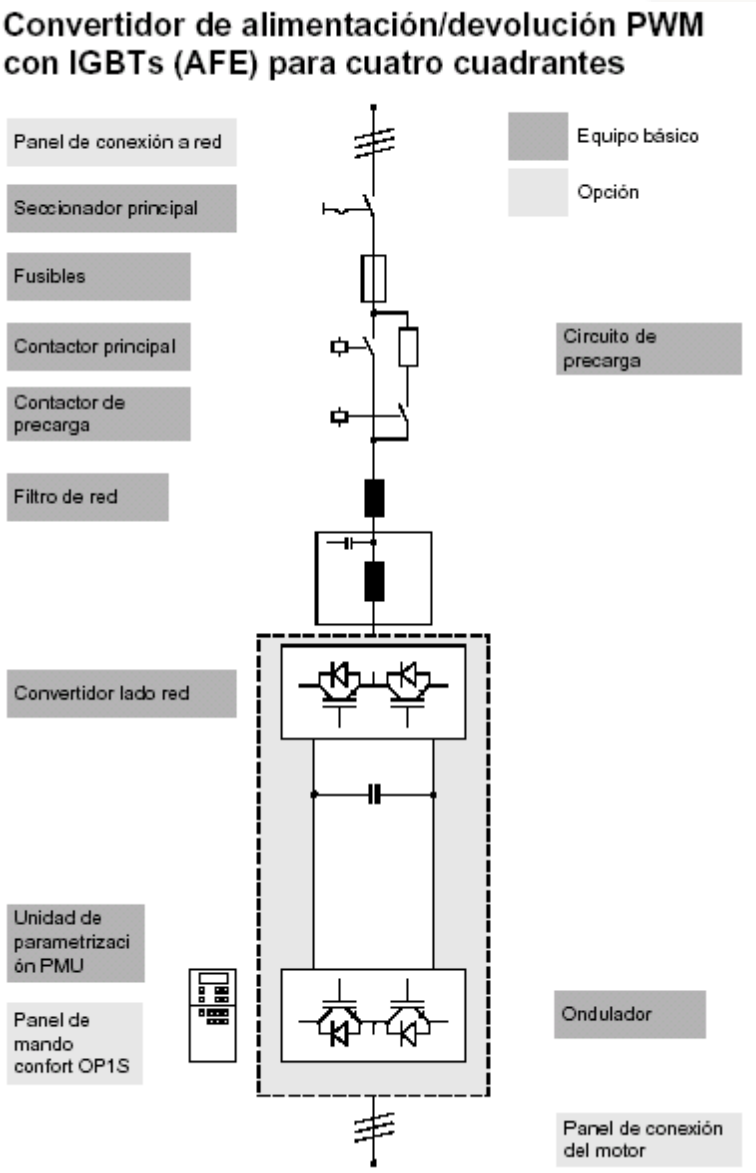


Figura 136

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-

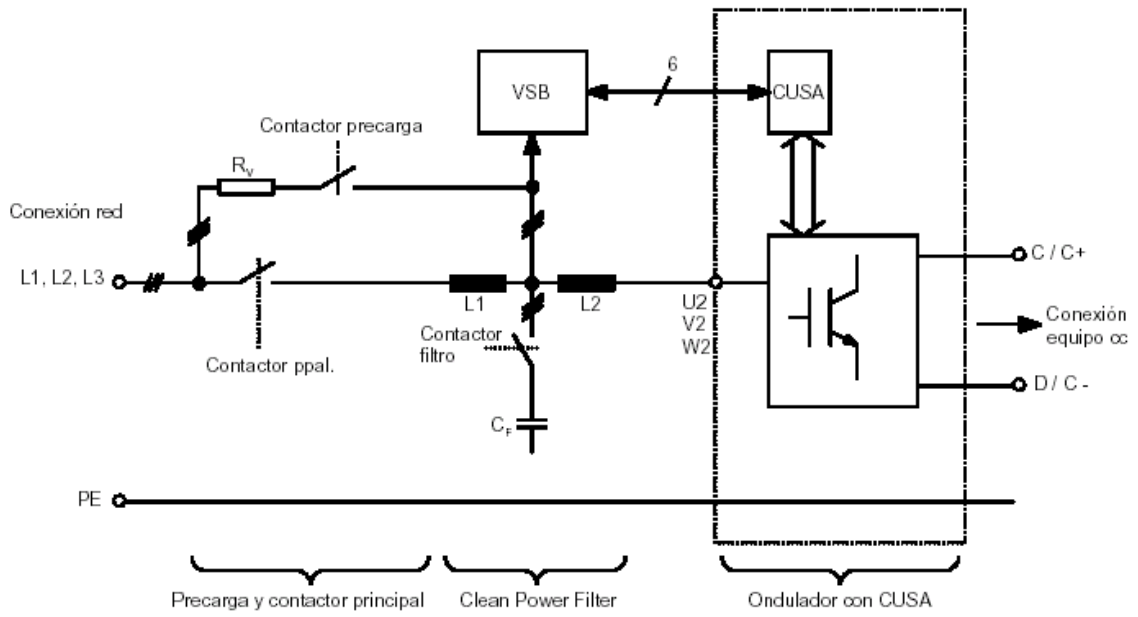


Figura 137

Esquema de circuitos del AFE.

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

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

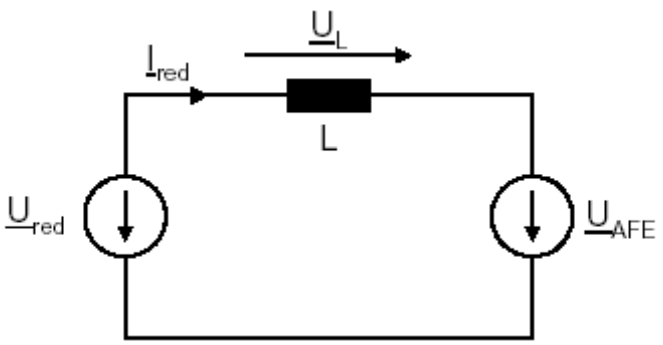


Figura 138

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.

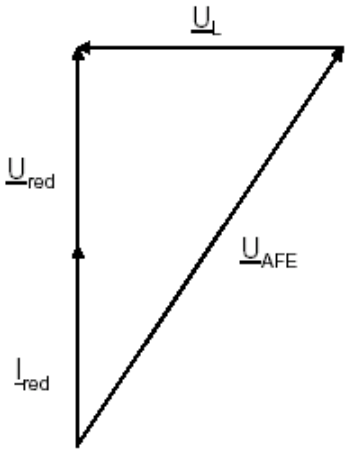


Figura 139

Diagrama Vectorial para cos = 1

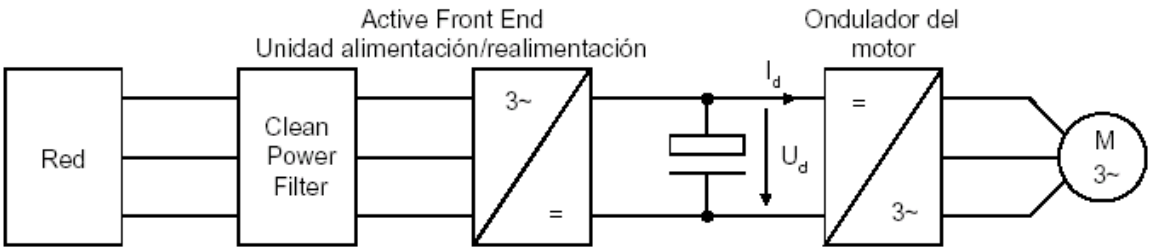


Figura 140

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

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

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

La potencia reactiva se puede determinar del 0 % al 140 % de la potencia aparente nominal AFE

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

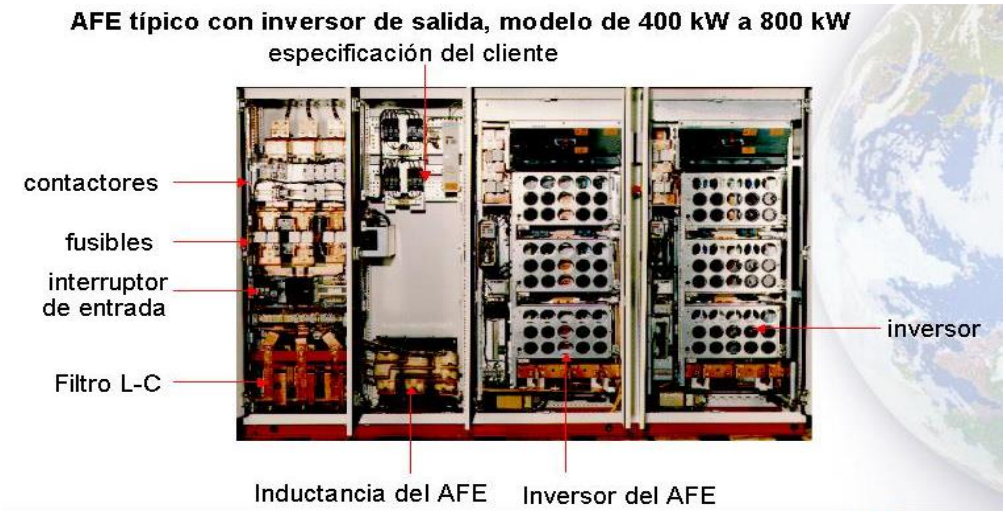


Figura 141

Fotografía de un variador del tipo AFE

Convertidores de media tensión

Robicon perfect harmonic

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

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

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

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

Topología de 3 etapas con un sistema de 2400 vac

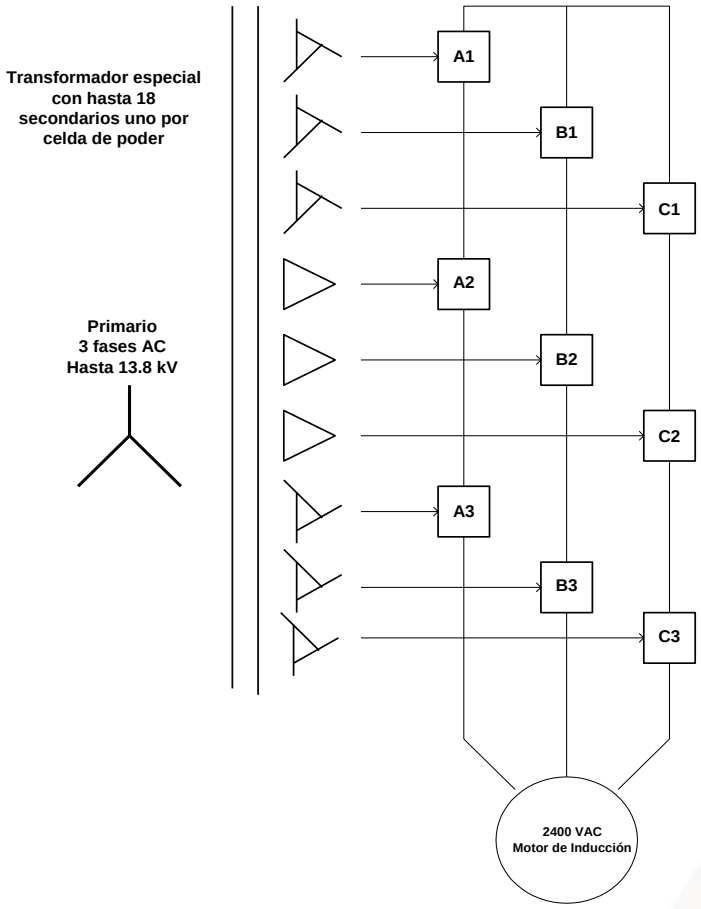


Figura 142

Topología de un variador de media Tensión Robicon de tres etapas

Representación de las celdas

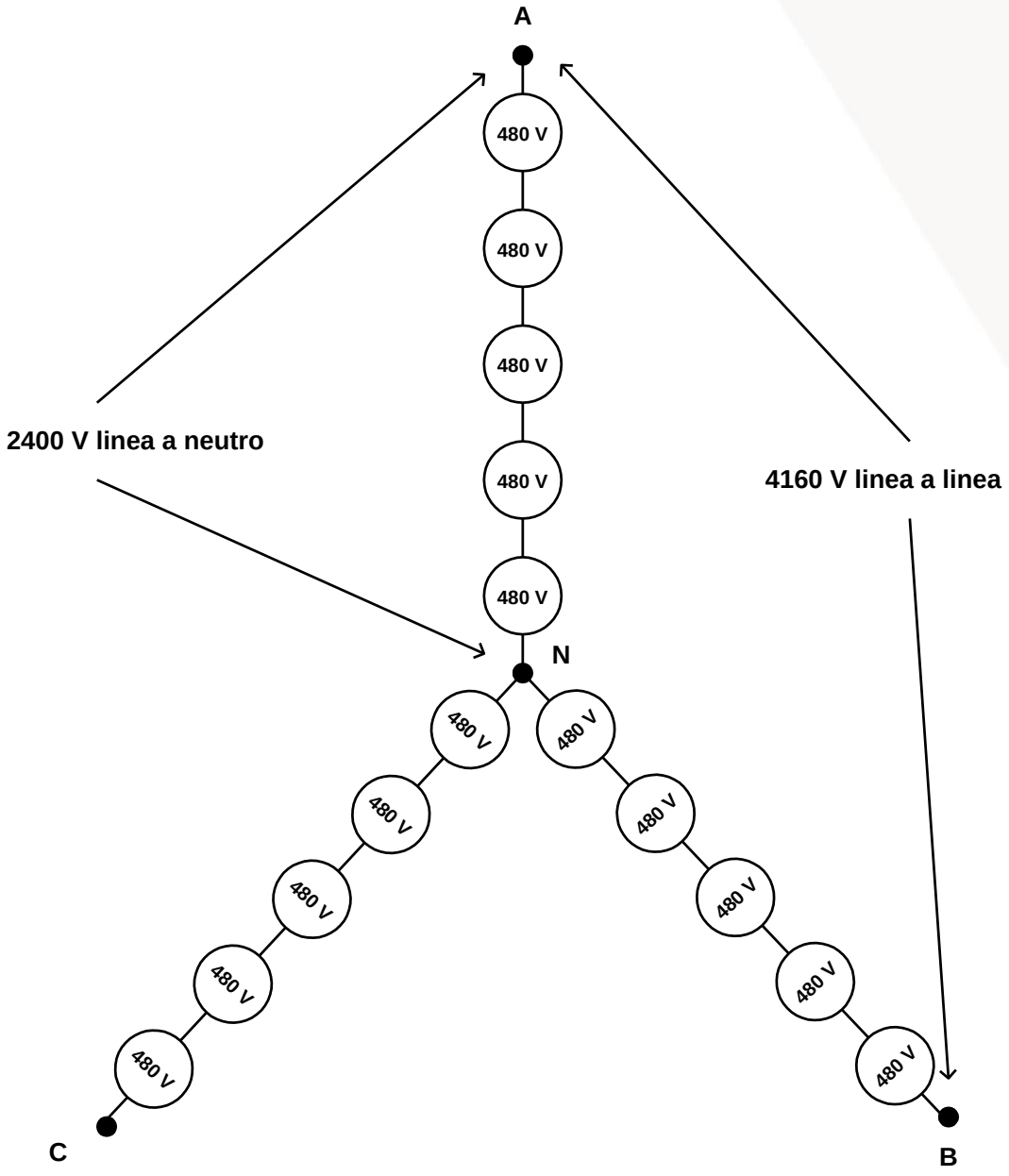


Figura 143
Representación de las celdas para un variador Robicon de 4160 V

Configuración de un variador harmony

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

Tabla 13

Figura 302

Variador de Media Tensión Robicon

Actividad N° 9

Introcucción a Motores Eléctricos CC y CA especialista. Sistema variador de frecuencia. Movimiento de rotación de un Motor CA.

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante realice experiencias con el control de velocidades y sentido de rotación de un Motor de CA de 380 volts.

Estrategias metodológicas para el instructor.

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

Recurso Plataforma Web	✓
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	✓
Propuestas de situaciones problemáticas	
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	✓

Objetivos del aprendizaje.

- Conocer las partes de un Motor de CA sus diferentes conexiones y efectos al conectarlo a un sistema de partida suave y a un variador de frecuencia.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos o en pares.

Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen la recolección de datos de la actividad a realizar, el instructor conectará el motor a un sistema de control de partida suave, se efectuarán diversas pruebas variando el tiempo al cual llegar a plena marcha.

Después se conectará el motor a un sistema variador de frecuencia con un control de velocidad tipo joystick o potenciómetro, al cual se le pueda revertir el sentido d giro del motor. Se anotarán todas observaciones.

Materiales y Recursos.

Fuente de poder de 380 VAC.

Multitester digital.

Motor de CA de 380 volts tipo jaula de ardilla.

Sistema de partida suave.

Sistema variador de frecuencia.

Seguridad

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
    - Casco
    - Lente de seguridad
    - Zapatos de seguridad
    - Guantes de faena
    - Chaleco reflectante
    - Protector auditivo. Si aplica
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

El instructor pedirá a los participantes conexionar un motor de CA en configuración estrella y se conectará de acuerdo a un diagrama dibujado en pizarra al sistema de partida suave, se efectuarán varias partidas al motor variando el tiempo para que llegue a plena marcha. Se anotarán las observaciones.

El instructor les pedirá ahora a los asistentes conexionar el motor en configuración delta de acuerdo a un diagrama dibujado en pizarra y se conectará al sistema variador de frecuencia. Se efectuarán diversas partidas y paradas al motor y se efectuará la inversión de giro, se podrá notar si existe pérdida de torque o no al controlar el motor de esta manera. Se anotarán y discutirán las observaciones.

Introducción a la actividad

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

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el

Aprendizaje a través de las actividades.

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

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

Objetivos de aprendizaje

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

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

Descripción de la Actividad:

El participante utilizando un VDF y un motor trifásico adecuado. Conectará el equipamiento de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y datos de placa del motor. Trabajará bajo el concepto de configurar la aplicación industrial "**moto bomba centrifuga"** y el mando debe ser en modo LOCAL-REMOTO. Solo se utilizara control discreto, para el mando "LOCAL" y este será el panel BOP para mando ON/OFF y la consigna de velocidad. En modo "REMOTO" se utilizaran botoneras estándar para el mando ON/OFF y botonera estándar para la consigna de velocidad. En todo momento el participante deberá respetar las condiciones de seguridad eléctricas y criterios de seguridad para el control digital.

Materiales y recursos

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

Desarrollo

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

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

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

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

- Partir con rampa de aceleración de 10 seg.
- Para con desaceleración de 10 seg. (OFF1)
- Parada de Emergencia con rampa rápida de 5 seg. (OFF3)
- Botón amarillo DIN4 para incrementar velocidad
- Botón amarillo DIN5 para decremento velocidad
- Utilizar un interruptor DIN6 para realizar cambio Local/Remoto
- Utilizar piloto Verde para indicar motor corriendo
- Utilizar piloto rojo para indicar motor detenido
- Utilizar Piloto para indicar comando en modo remoto
- Utilizar piloto un piloto amarillo para indicar defecto del VDF

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

a) Datos Relevantes de motor que deben ser anotados:

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

Ejecute los siguientes pasos:

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

Conectar VDF y MOTOR.

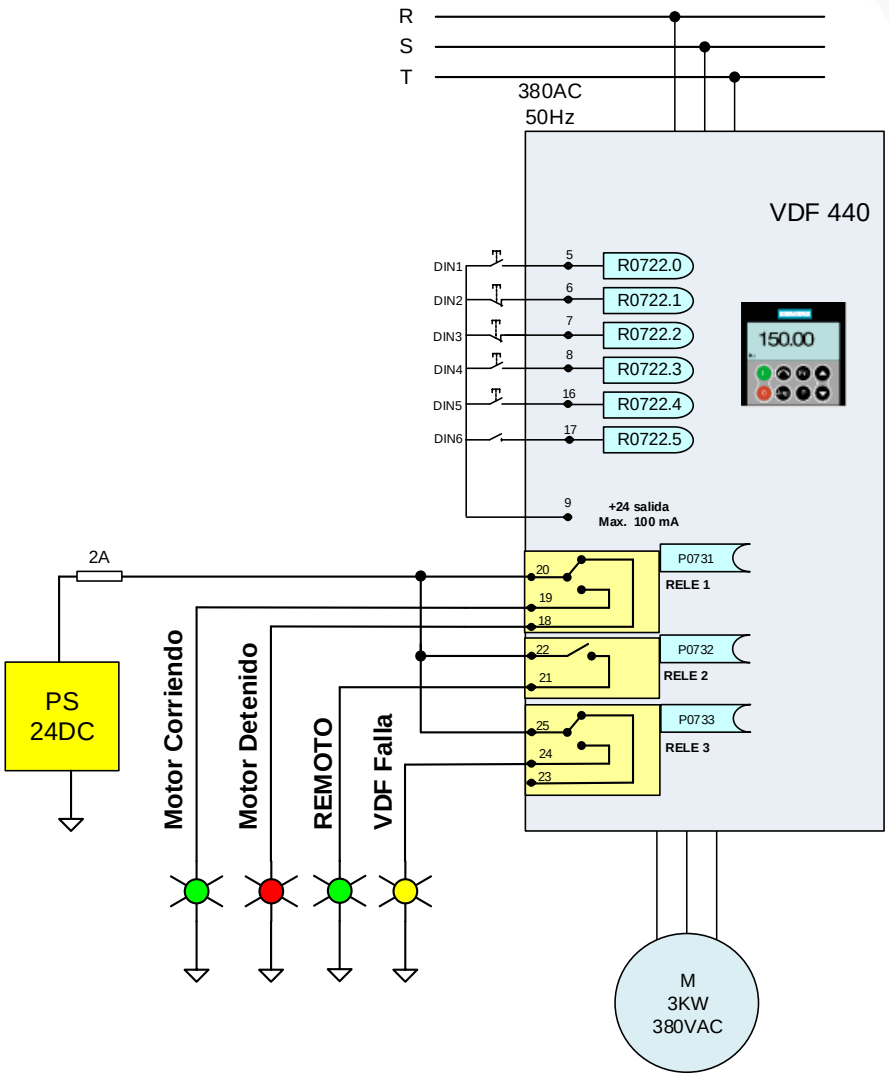
Los participantes guiados por el instructor de manera individual o en grupos de alumnos, conectaran el VDF como se muestra en la figura siguiente, para luego comisionar parámetros y configurar el control discreto del VDF. Utilizar manual (Referencia SIEMENS MICROMASTRER 440).

Observaciones:

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

Importante:

Conectar el equipo solo con la aprobación del instructor



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

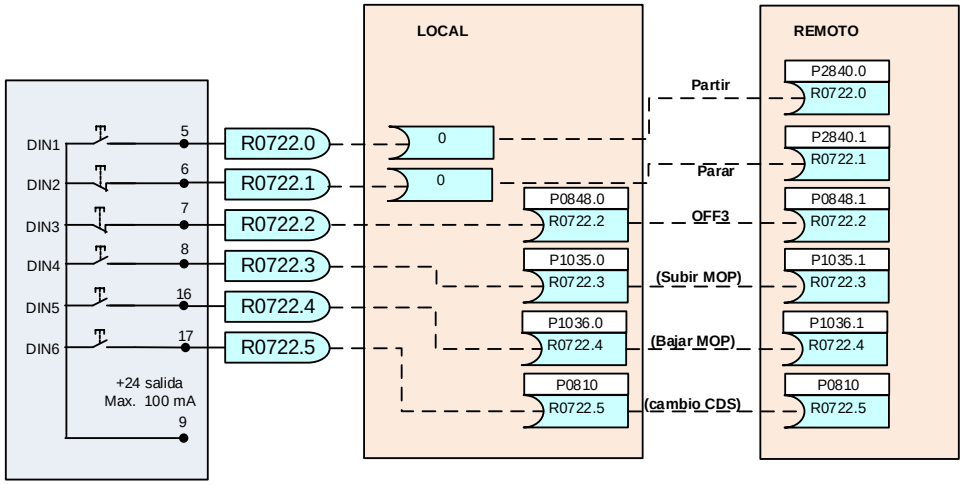
  P0840[0] = R0019.1

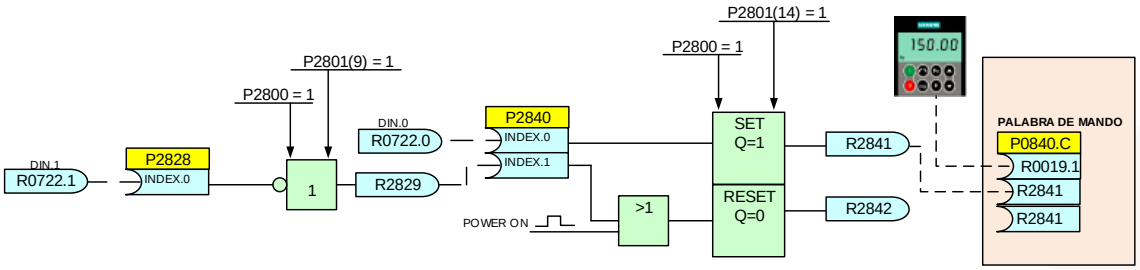
  P0840[1] = R2841

  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.**

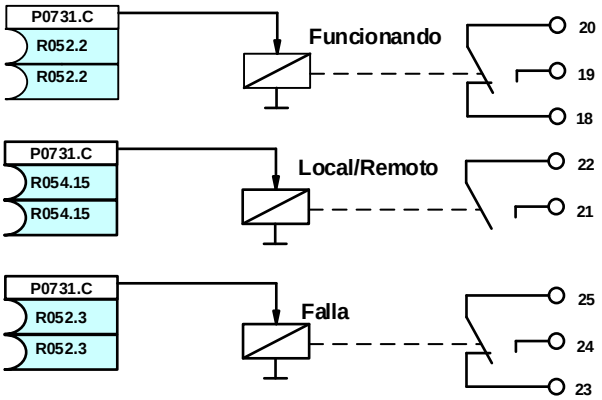
Conecte la fuente de consigna:

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.

Desarrollo:

Como todas las entradas digitales están ocupadas, utilizaremos la entrada análoga 2 (dos) como entrada digital para configurar tres fuentes de órdenes distintas

1 Modo local -> Mando por BOP

2 Modo Remoto1 -> Mando discreto y consigna por MOP

3 Mando Remoto2 -> Discreto y Consigna por señal de 4-20mA

Nota: Estudie plano funcional de las entradas análogas.

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

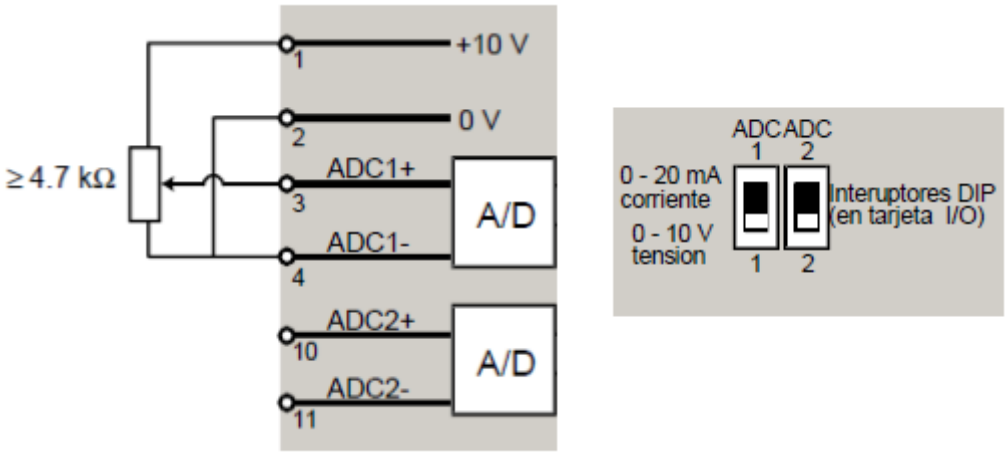


Figura: Bornera analógica

Para utilizar señal de 0-20mA conecte los interruptores como se indica:

ADC1 en ON -> 4 a 20 [mA]

ADC2 en OFF -> 0-10[Volt]

y asigne el parámetro

756[0] en “2” señal entrada de 0-20 mA

756[1] en “0” señal entrada tensión unipolar 0-10V

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

Conecte la señal del lazo de corriente en serie con la entrada análoga ADC1 (+ borne 3 y – borne4)

Segunda Comprobación de la operación del equipo

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

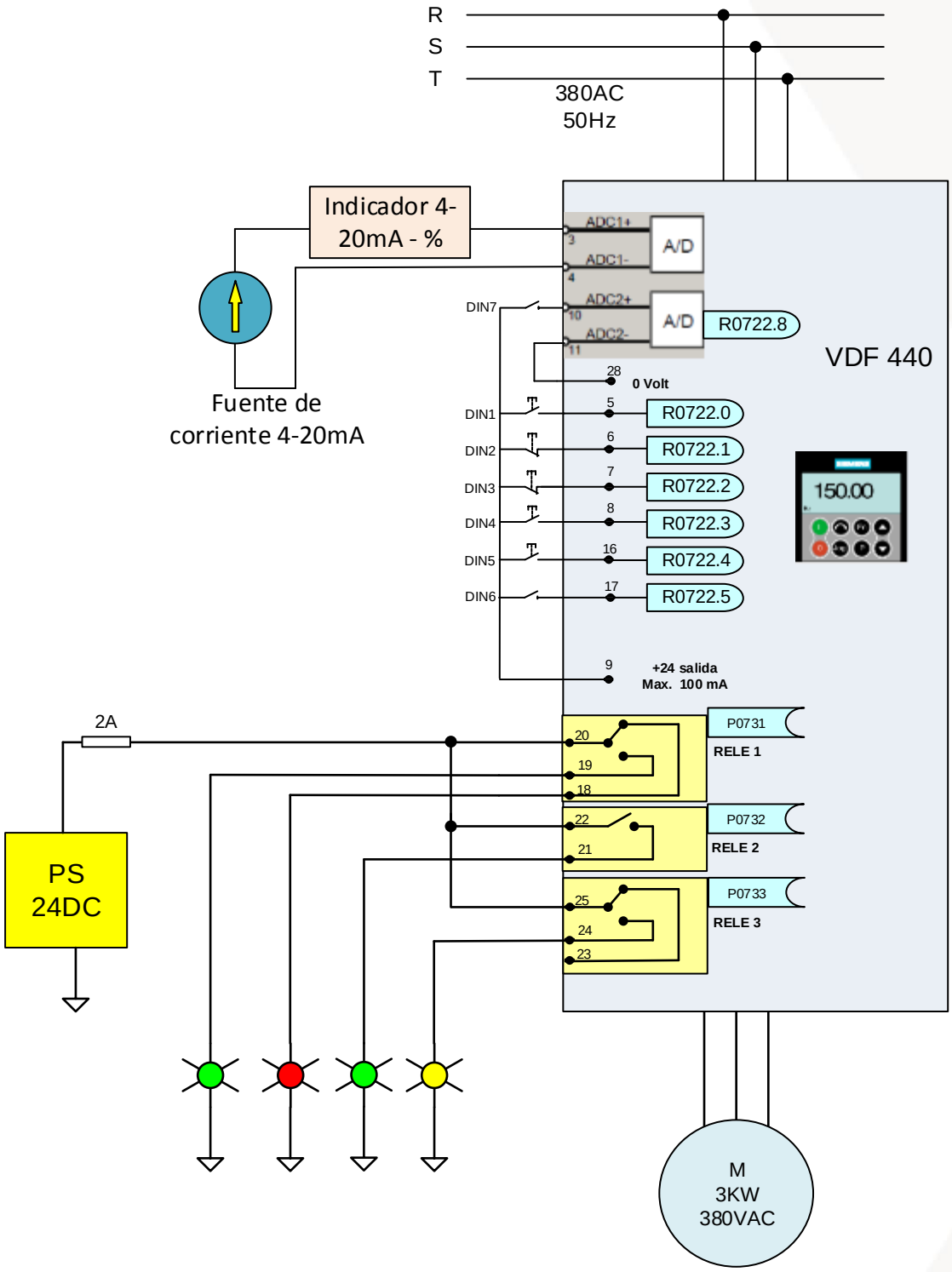


Figura: Conexionado Final de fuerza y control VDF MM440 - SIEMENS

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

AngloAmerican

ANTOFAGASTA MINERALS

BARRICK

bhpbilliton
resourcing the future

CODELCO
Orgullo de Todos

COLLAHUASI

FREEPORT-McMoRAN COPPER & GOLD

GLENCORE

KGHM
POLSKA MIEDŹ S.A.

LUMINA
COPPER CHILE

Teck

YAMANAGOLD