



Guía del motor | Diciembre 2014

Motores de baja tensión

La guía del motor

Proporcionamos motores y generadores, servicios y experiencia para ahorrar energía y mejorar los procesos de los clientes durante el ciclo de vida total de nuestros productos, y más allá.



Guía del motor – información técnica básica de motores estándar de baja tensión



Motores y Generadores

© Copyright 2014 ABB. Reservados todos los derechos. Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso.

ISBN 952-91-0728-5
Third edition 2014



Guía del motor

Contenidos

| | | |
|-----------|-----------|--|
| 8 | 1. | Introducción |
| 9 | 1.1 | El grupo ABB |
| 10 | 1.2 | Rangos de motores de baja tensión IEC |
| 10 | 1.2.1 | Motores de inducción estándar |
| 10 | 1.2.2 | Motores para atmósferas explosivas |
| 11 | 1.2.3 | Motores controlados por variador de frecuencia |
| 13 | 1.3 | Oferta completa del producto |
| | | |
| 16 | 2. | El ahorro de energía y el medioambiente |
| 17 | 2.1 | Normas de eficiencia energética |
| 17 | 2.1.1 | Clases de eficiencia IEC |
| 18 | 2.1.2 | Esquemas de eficiencia energética |
| 19 | 2.1.3 | Normas de pruebas de eficiencia |
| 20 | 2.2 | Ahorro de energía. Evaluación del ciclo de vida |
| 20 | 2.2.1 | Auditoría energética |
| 21 | 2.3 | Programa de gestión medioambiental de ABB |
| 21 | 2.3.1 | ISO 14001 |
| 21 | 2.3.2 | Sustancias peligrosas |
| 21 | 2.3.3 | Selección de materiales |
| | | |
| 24 | 3. | Normas |
| 25 | 3.1 | Definiciones |
| 26 | 3.2 | Tablas de normas |
| 26 | 3.2.1 | Principales normas para motores de baja tensión |
| 27 | 3.2.2 | Principales directivas EU para motores |
| 27 | 3.2.3 | Determinación de eficiencia para motores fuera de Europa |
| 28 | 3.3 | Sentido de rotación |
| 29 | 3.4 | Refrigeración |
| 31 | 3.5 | Grados de protección: Código IP / Código IK |
| 32 | 3.6 | Gamas de tensiones estándar |
| 33 | 3.7 | Tensión y frecuencia |
| 34 | 3.8 | Tolerancia |
| 35 | 3.9 | Posiciones de montaje |
| 36 | 3.10 | Dimensiones |
| 38 | 3.11 | Normas de tamaños y potencias |

| | | |
|-----------|-----------|--|
| 42 | 4. | Diseño eléctrico – motores de inducción |
| 43 | 4.1 | El motor de inducción |
| 44 | 4.2 | Aislamiento |
| 45 | 4.3 | Termistores |
| 45 | 4.4 | Temperaturas ambiente y grandes altitudes |
| 46 | 4.5 | Motores de arranque |
| 46 | 4.5.1 | Arranque directo (DOL) |
| 46 | 4.5.2 | Arranque Y/ Δ |
| 47 | 4.5.3 | Arrancadores suaves |
| 48 | 4.5.4 | Arranque con variador de velocidad |
| 49 | 4.6 | Limitaciones de arranque |
| 56 | 4.7 | Tipos de servicio |
| 60 | 4.8 | Incremento de potencia |
| 61 | 4.9 | Eficiencia y tipos de pérdidas |
| 62 | 4.10 | Factor de potencia |
| 65 | 4.11 | Caudal y velocidad del aire |
| 66 | 4.12 | Diagramas de conexión |
| | | |
| 68 | 5. | Diseño mecánico |
| 69 | 5.1 | Construcción del motor |
| 70 | 5.2 | Construcción de carcasa |
| 71 | 5.3 | Caja de bornes |
| 73 | 5.4 | Rodamientos |
| 74 | 5.5 | Agujeros de drenaje y humedad |
| 75 | 5.6 | Fuerzas radiales y axiales externas al motor |
| 75 | 5.7 | Equilibrado |
| 76 | 5.8 | Vibración |
| 77 | 5.9 | Tratamiento de la superficie |
| | | |
| 80 | 6. | Ruido |
| 81 | 6.1 | Nivel de presión sonora y nivel de potencia sonora |
| 82 | 6.2 | Filtros de medición |
| 83 | 6.3 | Bandas de octava |
| 84 | 6.4 | Fuentes de sonido adicionales |
| 85 | 6.5 | Componentes de ruido de un motor |
| 87 | 6.6 | Ruido propagado por el aire y por la estructura |
| 88 | 6.7 | Niveles de presión de sonido |
| | | |
| 90 | 7. | Instalación y mantenimiento |
| 91 | 7.1 | Aceptación de la entrega |

| | | |
|----|-------|---|
| 91 | 7.2 | Comprobación de la resistencia de aislamiento |
| 92 | 7.3 | Par en los bornes |
| 92 | 7.4 | Utilización |
| 93 | 7.5 | Manipulación |
| 94 | 7.6 | Anclajes |
| 95 | 7.7 | Alineamiento de acople |
| 96 | 7.7.1 | Montaje de poleas y acoplamientos |
| 97 | 7.8 | Railes tensores |
| 98 | 7.9 | Montaje de rodamientos |
| 98 | 7.10 | Engrase |
| 99 | 7.11 | Guía de nivel de fusibles |

102 8. El Sistema Internacional

| | | |
|-----|-----|------------------------|
| 103 | 8.1 | Cantidades y unidades |
| 104 | 8.2 | Prefijos |
| 105 | 8.3 | Factores de conversión |

108 9. Pedidos

| | | |
|-----|-------|------------------------------------|
| 109 | 9.1 | Selección de un motor |
| 111 | 9.2 | Herramientas en línea |
| 111 | 9.2.1 | Optimizer |
| 112 | 9.2.2 | DriveSize y MotSize |
| 112 | 9.3 | Carga (kW) |
| 113 | 9.4 | Velocidad |
| 113 | 9.5 | Arranque del motor |
| 114 | 9.6 | Ambiente de trabajo |
| 114 | 9.7 | Comprobación de datos para pedidos |

116 10. Accionamientos de velocidad variable

| | | |
|-----|--------|-----------------------------------|
| 117 | 10.1 | Tipos de accionamientos |
| 118 | 10.2 | Modulación de amplitud de pulso |
| 118 | 10.3 | Dimensionar el accionamiento |
| 120 | 10.4 | Cargabilidad (par) |
| 121 | 10.4.1 | Mejorando la cargabilidad |
| 122 | 10.5 | Nivel de aislamiento |
| 122 | 10.6 | Puesta a tierra |
| 123 | 10.7 | Funcionamiento a máxima velocidad |
| 124 | 10.8 | Equilibrado |
| 124 | 10.9 | Velocidades críticas |
| 124 | 10.10 | Retenes |
| 126 | 10.11 | Funcionamiento a baja velocidad |

1. Introducción

| | | |
|-----------|---|----------|
| 1. | Introducción | 8 |
| 1.1 | El grupo ABB | 9 |
| 1.2 | Rango de motores de baja tensión IEC | 10 |
| 1.2.1 | Motores de inducción estándar | 10 |
| 1.2.2 | Motores para atmósferas explosivas | 10 |
| 1.2.3 | Motores controlados por variador de frecuencia | 11 |
| 1.3 | Oferta completa del producto | 13 |

Introducción

Esta guía proporciona información básica sobre los motores de baja tensión IEC. En este contexto, baja tensión se refiere a motores que funcionan a tensiones por debajo de 1000 V y producen una potencia máxima de 1000 kW. Los valores de referencia mencionados en esta guía se aplican específicamente a la gama de motores para la industria de proceso de ABB.

La designación IEC implica que el motor sigue las normas desarrolladas por el International Electrotechnical Commission. Por ejemplo, IEC define el tamaño de eje de los motores; en el caso de los motores de industria de proceso, hay motores desde tamaño 56 de altura de eje (milímetros desde el eje a la base) en aluminio, hasta 450 en hierro fundido. Recientemente, las normas IEC han especificado como han de ser clasificados los motores en diferentes clases de eficiencia energética.

Introducción

1.1 El grupo ABB

ABB (www.abb.com), un líder mundial en las tecnologías electrotécnicas y de automatización, facilita tanto a las compañías de servicios públicos como a los clientes industriales recursos para mejorar su rendimiento, reduciendo, a la vez, el impacto medioambiental. El grupo de compañías ABB se halla presente en más de 100 países y cuenta con más de 145.000 trabajadores. ABB gestiona su negocio basándose en una estructura divisional distribuida en cinco divisiones: Power Products, Power Systems, Discrete Automation and Motion, Low Voltage Products, Process Automation.

En ABB, los motores son fabricados y comercializados por la unidad de negocio Motores y Generadores, que pertenece a la división Discrete and Motion. La división Discrete Automation and Motion ofrece un amplio abanico de productos y servicios incluyendo drives, motores, generadores, sistemas de electrónica de potencia, rectificadores, productos de calidad de potencia, protección, convertidores, inversores fotovoltaicos, controladores lógicos programables (PLC) y robots.

Estos productos ayudan a nuestros clientes a mejorar su productividad, ahorro energético, mejorar la calidad y generar energía.

La unidad de negocio Motores y Generadores fabrica motores y generadores de baja, media y alta tensión y productos de transmisión mecánica. Los productos ABB son respaldados por un amplio repertorio de servicios y un alto nivel de experiencia en una gran variedad de aplicaciones de motor.

1.2 Rango de motores de baja tensión IEC

En este contexto, los motores se clasifican principalmente en función de sus diferencias físicas fundamentales, y en segundo lugar, de acuerdo con su finalidad de uso. De acuerdo con ello, dividimos los motores en dos rangos de motores de inducción, cuatro tipos de motores de atmósferas explosivas, motores accionados por convertidor de frecuencia, de los cuales los más destacables son los motores síncronos y los de aplicación especial. La última categoría de motores incluye, por ejemplo, motores marinos y motores de extracción de humos, ambos basados en el motor básico de inducción con modificaciones que varían según el uso final de cada motor. Sus características no están descritas con mayor detalle en este documento.

1.2.1 Motores de inducción estándar

ABB ofrece dos series de motores de baja tensión: motores de Industria de Proceso e Industria general. Los primeros son los motores de inducción más comúnmente elegidos para las industrias más demandantes y cubren los tamaños de altura de eje 63-450 o 0.12 – 100 kW. Estos motores están disponibles en tres clases de eficiencia energética IE2, IE3 y IE4.

Los motores de uso general son la gama de motores básicos de clase de eficiencia IE2, con menos opciones que los de industria de proceso pero disponibles en estantería en todo el mundo. Están disponibles en tamaños 56-355 correspondientes a 0.06-355 kW. También disponemos de una gama de carcasa de hierro en IE3, tamaños 132-355, potencias 7,5-355 kW.

Ambas series incluyen gamas de hierro fundido y aluminio.

1.2.2 Motores para atmósferas explosivas

Los motores para atmósferas explosivas, o también denominados Motores Ex, cumplen completamente con la directiva ATEX 94/9/EC, que establece las obligaciones y responsabilidades de los fabricantes de productos instalados en el Área Económica Europea. Además de la certificación ATEX, el certificado global IECEx está disponible para la mayoría de los productos ABB Ex. Certificados nacionales como el CQST para China, CU-TR, exigido por la unión aduanera de Rusia, Bielorrusia y Kazajstán, u otro, también se pueden pedir para una gran selección de productos. Por favor, consulte el catálogo de productos y la selección de código de variante para la disponibilidad de los diferentes certificados.

El equipamiento para atmósferas explosivas se agrupa de acuerdo a la ubicación por encima o bajo tierra y el tipo de atmósfera explosivas (gas/polvo) al que está destinado. Los niveles de protección del equipo (EPLs) designan la probabilidad de que el

equipo se convierta en fuente de ignición y distinguen entre una atmósfera explosiva de un gas, una atmósfera de polvo, y las atmósferas explosivas en minas con riesgo de grisú.

Además, las atmósferas explosivas se dividen en zonas de acuerdo con el riesgo que plantean los gases (G) o polvo (D) explosivos. La siguiente tabla muestra la relación entre los grupos de equipos, EPLs, zonas y tipos de protección utilizados en los motores.

Además, la clase de temperatura requerida del equipo debe ser tomada en cuenta; depende de la temperatura de ignición del gas inflamable o del polvo presente en el ambiente, así como el subgrupo del gas o polvo.

| Norma | | Instalación | | Directiva ATEX | | Motor principal | |
|----------------|------------|---------------------------------|-------|----------------|-----------|---------------------|-----------------------|
| IEC 60079-0 | | Zona acc. to | | 94/9/EC | | Tipos de protección | |
| EN 60079-0 | | IEC 60079-10-x EN 60079-10-x | | | | | |
| Grupo | Protección | | Zonas | Grupo | Categoría | | |
| | EPL | nivel | | | | | |
| I (Minas) | Ma | Muy alto | NA | I (Minas) | M1 | NA | |
| | Mb | Alto | | | M2 | | |
| II (Gas) | Ga | Muy alto | 0 | II | 1G | NA | |
| | Gb | Alto | | | 2G | | Ex d/Ex de Ex p, Ex e |
| | Gc | Mejorado | | | 3G | | |
| III (Polvo) | Da | Muy alto | 20 | (Superficies) | 1D | NA | |
| | Db | Alto | | | 2D | | Ex tb IP 65 |
| | Dc | Mejorado | | | 3D | | |

Los motores para atmósferas explosivas están disponibles para tamaños desde 71 hasta 450 (80 a 450 para diseño antideflagrante) o desde 0.25 kW hasta 1000 kW.

1.2.3 Motores controlados por convertidor de frecuencia

Los motores controlados por convertidor de frecuencia se refieren a series de motores que se utilizan invariablemente junto con un convertidor de frecuencia. Esta categoría de motores incluye dos tipos de motores síncronos, llamados motores de reluctancia síncronos y motores de imanes permanentes, así como los motores de mesa de rodillos, motores de alta velocidad y servomotores.

ABB proporciona dos series de motores síncronos de reluctancia: alta potencia y motores de reluctancia síncronos IE4. Los motores de alta potencia son los más adecuados para aplicaciones que requieren una alta densidad de potencia vs. tamaño y cubren desde el tamaño 90 a 315 o 1,1 a 350kW, con un nivel mínimo de eficiencia IE2.

Los motores de imanes permanentes son adecuados para aplicaciones que requieren alta densidad de par y que operan a una velocidad máxima de 600rpm a 400V. Estos motores se proporcionan con un sistema de auto refrigeración o con una refrigeración independiente. Los tamaños para baja tensión van desde 280 a 450 con un máximo de 1000 kW (con tensión de 690V).

La gama de alta velocidad cubre los motores estándar en el rango de velocidades de 3600-5100 rpm. Además, los motores personalizados para aplicaciones específicas pueden llegar hasta 60000 rpm.

Los servomotores de baja tensión incluyen dos series de motores de alta potencia dinámica (HDP): IP54 y IP23. Estos motores ofrecen una muy alta potencia en proporción al tamaño frente un bajo momento de inercia y un alto par y son los más adecuados para condiciones extremas donde se pueden producir altas sobrecargas. El rango de motores va desde tamaños de 100 hasta 250, o de 2 a 750 kW.

1.3 Oferta completa de producto



Motores normales de inducción

- Motores de industria de Proceso
- Motores de uso general



Motores para atmósferas explosivas

- Motores antideflagrantes
- Motores de seguridad aumentada
- Motores antichispas
- Motores de protección de ignición de polvo



Motores controlados por variador de frecuencia

- Motores de reluctancia síncronos
- Motores de imanes permanentes
- Motores de alta velocidad
- Servomotores HDP de corriente alterna



Motores de aplicación especial

- Motores marinos
- Motores refrigerados por agua
- Motores freno
- Motores para ambientes a altas temperaturas
- Motores de extracción de humos
- Motores monofásicos
- Motores de tracción

Oferta de productos de baja tensión IEC

2. El ahorro de energía y el medioambiente

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2. | Ahorro de energía y el medioambiente | 16 |
| 2.1 | Normas de eficiencia energética | 17 |
| 2.1.1 | Clases de eficiencia IEC | 17 |
| 2.1.2 | Esquemas de eficiencia energética | 18 |
| 2.1.3 | Normas de pruebas de eficiencia | 19 |
| 2.2 | Ahorro de energía | 20 |
| | Evaluación del ciclo de vida | |
| 2.2.1 | Auditoría energía | 20 |
| 2.3 | Programa de gestión medioambiental de ABB | 21 |
| 2.3.1 | ISO 14001 | 21 |
| 2.3.2 | Sustancias peligrosas | 21 |
| 2.3.3 | Selección de materiales | 21 |

El ahorro de la energía y el medioambiente

La industria y el comercio mundial se enfrentan a un desafío energético. La demanda mundial de la energía está en constante aumento. Al mismo tiempo, las presiones para reducir el consumo de energía, el dióxido de carbono (CO₂) y proporcionar fuentes de alimentación seguras son cada vez más fuertes.

Los motores eficientes ayudan a reducir los costos de energía y a limitar las emisiones de dióxido de carbono. Los motores representan alrededor de un 65 por ciento del consumo de la energía eléctrica en aplicaciones industriales, por lo que el potencial de ahorro de energía en la industria es enorme. El ahorro de energía depende de la potencia del motor, de la carga y de las horas de funcionamiento. Los motores con un alto nivel de rendimiento pueden por ello desarrollar un papel muy significativo en la reducción de emisiones de CO₂.

ABB es un gran defensor de la necesidad de una alta eficiencia en los motores y su política es la de ofrecer motores de alto rendimiento como estándar, disponible directamente desde stock. En vez de concentrarse exclusivamente en la eficiencia, sin embargo, tomamos un enfoque de ciclo de vida y tratamos de minimizar los costos asociados a nuestros productos a lo largo de toda su vida.

El ahorro de la energía y el medioambiente

2.1 Normas de la eficiencia energética

La “International Electrotechnical Commission” (IEC) ha introducido normas relacionadas a la eficiencia de los motores. La **IEC 60034-2-1** especifica las normas relativas a los métodos de prueba de eficiencia y la IEC 60034-30 define las clases de eficiencia para una amplia gama de motores eléctricos conectados directamente en línea. La **IEC 60034-30-1** (que entra en vigor en 2014) da un paso más en la ampliación del alcance de los motores sometidos a clases de eficiencia e introduce la clase IE4. Los motores accionados por convertidor de frecuencia están fuera del ámbito de aplicación de esta norma y serán tratados en una norma propia.

2.1.1 Clases de eficiencia IEC

La **IEC 60034-30-1** define cuatro clases IE (International Efficiency) para todos los motores eléctricos que son diseñados para tensión sinusoidal.

| | |
|--------------------------|-----|
| Eficiencia básica | IE1 |
| Eficiencia alta | IE2 |
| Eficiencia premium | IE3 |
| Eficiencia super premium | IE4 |

El alcance de esta norma es más amplio que el de la IEC 60034-30. La IEC 60034-30-1 abarca no solo los motores estándar de hasta ocho polos, sino también motores marinos, motores freno y motores para atmósferas explosivas. Se excluyen, entre unas pocas excepciones, otros sistemas de transmisión de potencia y motores totalmente integrados en una máquina o que trabajan con convertidor de frecuencia, por lo que no pueden ser probados de forma independiente.

Los niveles de eficiencia definidos en la IEC 60034-30-1 están basados en métodos de prueba especificados en la IEC 60034-2-1: 2007 con baja incertidumbre para IE2 y IE3. Los métodos en la IEC 60034-2-1 determinan los valores de eficiencia con mayor precisión que los métodos utilizados anteriormente. El valor de eficiencia más baja y la clasificación IE asociada se muestran en la placa de características del motor (si aplica).

La siguiente figura muestra la correlación entre la eficiencia para cada potencia requerida para las cuatro clases de eficiencia.

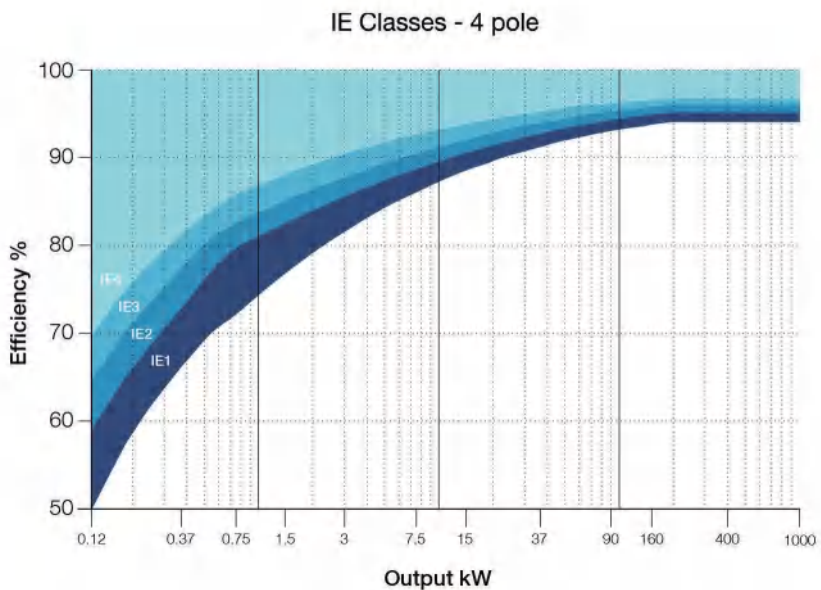


Figura 2.1 Clases de eficiencia IE para motores de 4 polos a 50 Hz

2.1.2 Esquemas de eficiencia energética

Aunque las normas de eficiencia IEC son relevantes a nivel internacional, aún existen diferencias en la implementación de éstas. La siguiente tabla muestra la correlación entre las clases de eficiencia IE y los planes de eficiencia regionales en diferentes partes del mundo.

Observe que la IE1 “eficiencia básica” se ha convertido en deficiente en todas las regiones mencionadas, y que no hay plazos imperativos aún para establecer la IE4 regionalmente.

| IEC 60034-30-1 | IE2 – Eficiencia alta | IE3 – Eficiencia premium |
|--|---|---|
| Australian MEPS | Nivel requerido | Adopción de la norma bajo discusión |
| Brazilian Labeling Program, PBE | Nivel requerido; el alcance de los motores se amplió en dic. 2012 | - |
| Canada Energy Efficiency Act | Nivel requerido para 201-500HP con patas y todos 1-500HP sin patas y motores de 8-polos | Nivel requerido para motores 1-200 HP con patas |
| China Energy Label | Nivel requerido | - |
| EU MEPS | 'IE2 eficiencia alta', nivel requerido | 'IE3 eficiencia premium', requerida en 2015 para motores 7.5 - 375 kW |
| Korean MEPS | Nivel requerido para motores 2-8 polos | Requerida para motores 2-8 polos en 2017 |
| Mexican MEPS | Nivel requerido idéntico a IE2 | Se espera seguir la EISA IE3 en el futuro |
| USA, EISA2007 | 'Energía eficiente', nivel requerido para motores 201-500 HP 2-6 polos y 1-500 HP 8-polos | NEMA Eficiencia premium requerida para motores 1-200 HP, 2-6 polos |

Tabla 2.1 Correlación entre IEC y esquemas de eficiencia regionales

La IEC60034-30-1 solo define los requisitos para las clases de eficiencia y su objetivo es crear una base para la coherencia internacional. No especifica qué motores deben ser suministrados con qué nivel de eficiencia. Esto se deja a la respectiva legislación regional. Dentro de la Unión Europea, el Reglamento EC 640/2009 es el requisito legislativo de forma predeterminada y fija los niveles mínimos de eficiencia para la colocación de motores en el mercado o puesta en marcha de las mismas.

2.1.3 Normas de prueba de eficiencia

Además de la IEC 60034-2-1 (EU), existen tres estándares principales de pruebas de rendimiento llamadas IEEE 112-2004 (USA), y CSA 390-10 (Canadá). Las principales diferencias consisten en que la IEEE 112 mide las pérdidas totales mediante un método directo, por lo que ofrece valores de pérdidas más bajos.

Además, la norma brasileña NBR 17094-1 se desvía de la manera en que los motores determinan la temperatura de referencia. La NBR utiliza la temperatura de la carcasa, mientras otras normas utilizan la temperatura del devanado como la temperatura de referencia.

La IEC 60034-2: 1996 (el antiguo método IEC) es un método indirecto para definir la eficiencia del motor. Con este método, las pérdidas adicionales se asumen en un 0.5 por ciento de la potencia de entrada, lo cual es más bajo que las pérdidas reales para motores pequeños y por lo tanto, da valores de eficiencia más altos que el método actual.

2.2 Evaluación del ciclo de vida y auditoría energética

Para lograr el mejor retorno de la inversión, los usuarios de equipos de producción necesitan aplicar un enfoque de ciclo de vida cuando se considera la inversión en el equipo principal. El coste de ciclo de vida (LCC) es el costo total de la compra, instalación, operación, mantenimiento y la parada de un elemento de la maquinaria.

Es necesario crear conciencia sobre los beneficios financieros de la eficiencia energética. Los plazos de amortización de un elemento de la maquinaria pueden ser extremadamente cortos pero muchas empresas aún se centran en el precio de compra de nuevos equipos, en lugar de considerar los costes de funcionamiento durante la vida útil.

El precio de compra de un motor eléctrico, por ejemplo, es sólo un 1-3 por ciento de lo que el propietario va a gastar en energía para hacer funcionar el equipo durante su vida útil. La importancia de un accionamiento de velocidad variable en las consideraciones de eficiencia se encuentra en su capacidad para controlar la velocidad del motor y, por lo tanto, asegurarse de que no gira más rápido de lo que realmente se necesita.

El LCC debe calcularse no solo en las nuevas instalaciones, sino también en las existentes. Los sistemas existentes proporcionan un margen mucho mayor para las mejoras de eficiencia que las nuevas instalaciones. El volumen de los sistemas en uso supera el volumen de nuevas instalaciones anuales con creces. Además, muchas instalaciones existentes pueden ofrecer un considerable margen de mejora si el servicio ha cambiado desde que el sistema fue instalado por primera vez.

2.2.1 Auditoría energética

ABB ha desarrollado un proceso de evaluación de energía simple y metódica que presenta el potencial de ahorro de la energía en aplicaciones seleccionadas para los usuarios finales. El punto de partida para una auditoría energética es identificar aplicaciones en las que se puede ahorrar energía de inmediato.

Las evaluaciones de energía son las más adecuadas para procesos con aplicaciones de par variable que obedecen la ley del cubo, trabajan de forma continua, y donde el caudal es controlado por un medio mecánico, tales como válvulas o amortiguadores. Aquí es donde el ahorro derivado de la instalación de un variador de velocidad es más significativo por lo general en comparación con el costo de la inversión inicial.

2.3 Programa de gestión ambiental de ABB

2.3.1 ISO 14001

Para asegurar la mejora continua, ABB requiere que todas las instalaciones de fabricación y servicios para implementar sistemas de gestión medioambiental sigan la norma ISO 14001. Para instalaciones que no son de fabricación hemos implementado y adaptado un sistema de gestión ambiental para asegurar la gestión de los aspectos ambientales y la mejora continua del desempeño. Casi todas estas 360 instalaciones, aproximadamente, y oficinas trabajan en el cumplimiento de los requisitos de la norma y de nuestro programa de gestión ambiental que ahora cubre operaciones en 59 países. Es un objetivo de ABB para seguir avanzando en la adaptación de los sistemas de gestión ambiental entre nuestros proveedores.

2.3.2 Sustancias peligrosas

El uso de productos químicos en la sociedad ha aumentado significativamente en las últimas décadas. La preocupación por los efectos negativos de las sustancias peligrosas se ha traducido en los marcos legales más estrictos en muchos países. Por lo tanto, el control total de las sustancias peligrosas en los productos y procesos es crítica para el negocio.

ABB se ha comprometido a la eliminación del uso de sustancias peligrosas en los productos y procesos, cuando sea técnica y económicamente viable. Hemos desarrollado listas de sustancias prohibidas y restringidas para guiar este proceso que se actualizarán periódicamente, de acuerdo con la evolución de la normativa internacional. Estas restricciones incluyen por ejemplo los componentes que contienen retardantes de llama bromados, PCB, PCT o el mercurio, o el uso de cadmio en el tratamiento de superficies.

2.3.3 Selección de materiales

Algunas de las actividades de sostenibilidad en relación con la producción del motor son las directrices para seleccionar los materiales de construcción:

- Encaminadas a minimizar la cantidad de materiales con el fin de reducir el peso del producto.
- Reducir el número de diferentes materiales en el producto.

- Minimizar el número de componentes utilizados en el producto y seleccionar componentes tan pequeños como sea posible.
- Escoger materiales reciclados o una combinación de nuevo material y reciclado para el producto en lugar de material nuevo, si es posible.
- Si se usan materiales nuevos, elegir materiales que sean reciclables.
- Priorizar materiales para los que se han establecido sistemas de recuperación y reciclado, como el acero, el aluminio y termoplásticos sin mezclar.

3. Normas

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | Normas | 24 |
| 3.1 | Definiciones | 25 |
| 3.2 | Tablas de normas | 26 |
| 3.2.1 | Principales normas para motores de baja tensión | 26 |
| 3.2.2 | Principales directivas EU para motores | 27 |
| 3.2.3 | Determinación de eficiencia fuera de Europa | 27 |
| 3.3 | Dirección de rotación | 28 |
| 3.4 | Refrigeración | 29 |
| 3.5 | Grados de protección: código IP/IK | 31 |
| 3.6 | Gamas de tensiones estándar | 32 |
| 3.7 | Tensión y frecuencia | 33 |
| 3.8 | Tolerancia | 34 |
| 3.9 | Posiciones de montaje | 35 |
| 3.10 | Dimensiones | 36 |
| 3.11 | Normas de tamaños y potencias | 38 |

Normas

ABB Motores y Generadores construye motores y generadores para cumplir con las normas IEC y CENELEC. Dentro de la Unión Europea, ABB tiene en cuenta regulaciones europeas relevantes, regulaciones VDE y normas DIN. También están disponibles motores que cumplen con otras normas nacionales e internacionales.

Todos los motores producidos por ABB siguen la ISO 14001 y cumplen las directivas vigentes de la UE.

ABB apoya firmemente el objetivo de armonizar normas internacionales y contribuye activamente en diversos comités técnicos y grupos de trabajo de la IEC, CENELEC y el sistema IECEx.

Normas

3.1 Definiciones

Directiva

Acto legislativo de la Unión Europea para lograr un resultado determinado en los miembros de la UE.

Norma

Documento de especificaciones establecidas como resultado de un consenso entre los expertos técnicos internacionales que trabajan para una organización de estándares tales como la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), el comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC), o de un organismo nacional de normalización (NEMA en los EE.UU., DKE en Alemania).

La adopción de las normas IEC por cualquier país o fabricante es totalmente voluntaria.

Norma armonizada

Norma que proporciona la conformidad con los requisitos correspondientes de una directiva de la UE para demostrar su conformidad con la legislación de la UE.

Las normas armonizadas se publican en el Diario Oficial (DO) de la Unión Europea y su aplicación es obligatoria en la medida en que una directiva correspondiente requiere.

3.2 Tablas de Normas

Las siguientes tablas sirven como listas de referencia para normas eléctricas y mecánicas que se aplican a la mayoría de los motores de inducción dependiendo del tipo de motor y tipo de protección.

3.2.1 Principales normas para motores de baja tensión

| Eléctrico | Título |
|--------------------|--|
| IEC / EN 60034-1 | Características asignadas y características de funcionamiento |
| IEC / EN 60034-2-1 | Métodos normalizados para la determinación de las pérdidas y del rendimiento a partir de ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción) |
| IEC / EN 60034-2-2 | Métodos específicos para determinar las pérdidas separadas de máquinas de gran tamaño a partir de ensayos – Complemento a la IEC 60034-2-1 |
| IEC / EN 60034-8 | Marcas de los bornes y sentido de giro |
| IEC / EN 60034-11 | Protección térmica |
| IEC / EN 60034-12 | Características de arranque de los motores trifásicos de inducción de jaula con una sola velocidad |
| IEC / TS 60034-17 | Guía de aplicación a los motores de inducción de jaula alimentados por convertidores de frecuencia |
| IEC / TS 60034-25 | Guía para el diseño y funcionamiento de los motores de corriente alterna específicamente diseñados para trabajar con convertidor de frecuencia |
| IEC / EN 60034-26 | Efectos de las tensiones desequilibradas en el funcionamiento de los motores trifásicos de inducción de jaula |
| IEC / EN 60034-30 | Clases de rendimiento para los motores trifásicos de inducción de jaula de velocidad única (Código IE) |
| IEC / TS 60034-31 | Selección de motores energéticamente eficientes incluidas las aplicaciones con velocidad variable |
| CLC/TS 60034-31 | Guía para la aplicación |
| IEC 60038 | Tensiones normalizadas IEC |
| IEC 60050-411 | Vocabulario electrotécnico. Parte 411: Máquinas rotativas |

| Mecánico | Título |
|-------------------|---|
| IEC / EN 60034-5 | Grados de protección proporcionados por el diseño integral de las máquinas eléctricas rotativas (código IP). Clasificación |
| IEC / EN 60034-6 | Métodos de refrigeración (código IC) |
| IEC / EN 60034-7 | Clasificación de los tipos de construcción, de las disposiciones de montaje y posición de la caja de bornes (código IM) |
| IEC / EN 60034-9 | Límites de ruido |
| IEC / EN 60034-14 | Vibraciones mecánicas de determinadas máquinas con altura de eje igual o superior a 56 mm. Medición, evaluación y límites de la intensidad de vibración |
| IEC / EN 60072-1 | Dimensiones y serie de salida para hacer girar máquinas eléctricas - la Parte 1: Enmarque número 56 a 400 y el reborde número 55 a 1080 |

| Mecánico | Título |
|----------------|---|
| IEC / EN 60529 | Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP) |
| EN 50102 | Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (código IK) |
| EN 50347 | Motores trifásicos de inducción de aplicación general con dimensiones y potencias normalizadas. Designación de carcasas de 56 a 315 y de bridas de 65 a 740 |

Aplicaciones específicas además de las normas anteriores

| Motores de extracción de humos | Título |
|--------------------------------|---|
| EN 12101-3 | Sistemas de control de humos y calor Especificaciones para aireadores extractores de humos y calor |

| Atmósferas explosivas | Título |
|-----------------------|---|
| IEC / EN 60079-0 | Equipamiento – Requisitos generales |
| IEC / EN 60079-1 | Protección del equipo por envolventes antideflagrantes “d” |
| IEC / EN 60079-7 | Protección del equipo por seguridad aumentada “e” |
| IEC / EN 60079-15 | Protección del equipo por tipo de protección “n” |
| IEC / EN 60079-31 | Protección del equipo por envoltorio ignición de polvo “t” |
| IEC / EN 60079-14 | Instalaciones eléctricas en emplazamientos |
| IEC / EN 60079-17 | Verificación y mantenimiento de instalaciones |
| IEC / EN 60079-19 | Reparación, revisión y reconstrucción de material |
| IEC / EN 60050-426 | Vocabulario electrotécnico. Parte 426: Equipos para atmósferas explosivas |
| IEC / EN 60079-10-1 | Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas |
| IEC / EN 60079-10-2 | Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas de polvo |

3.2.2 Principales directivas EU para motores

| Directiva | Fecha | Campo de aplicación |
|--------------------------------------|-------------------|--|
| 1994/9/EC ATEX | 23 Marzo 1994 | Motores usados en atmósferas potencialmente explosivas |
| 1999/92/EC Directiva de trabajadores | 16 Diciembre 1999 | Instalaciones, incluyendo motores en atmósferas potencialmente explosivas |
| 2006/95/EC Directiva de Baja Tensión | 12 Diciembre 2006 | Motores de baja tensión, excepto para aquellos utilizados en atmósferas potencialmente explosivas |
| 2009/125/EC Directiva Ecodiseño | 22 Julio 2009 | Carcasa que permite establecer los requisitos de eco-diseño en los productos relacionados con la energía |
| 2009/640/EC Regulación de motores | 22 Julio 2009 | Motores eléctricos |
| Enmienda a la regulación del motor | Sep/Oct. 2013 | Motores eléctricos |

3.2.3 Determinación de eficiencia fuera de Europa

| | | |
|---|--|--|
| USA | IEEE 112-B CSA C390-10 | Procedimiento de ensayo para motores de inducción polifásico y generadores Los métodos de ensayo, requisitos de marcado, y los niveles de eficiencia energética para motores de inducción |
| Canadá | CSA C390-10 | Los métodos de ensayo, requisitos de marcado, y los niveles de eficiencia energética para motores de inducción de tres fases |
| China | GB/T 1032: 2005 | Métodos de ensayo para motores de inducción; incluye métodos idénticos a IEC 60034-2-1: 2007 con pérdidas segregadas |
| India | IS 12615: 2011 | Métodos idénticos a IEC 60034-2-1: 2007 (en línea con IEC 60034-30: 2008) |
| Brasil | NBR 17094-1: 2008 | Motores de inducción de tres fases – Pruebas |
| Australia, Nueva Zelanda | AS/NZS 1359.102.3 or IEC 60034-2-1 AS/NZS 1359.102.1 or IEC 60034-2 | Método A para determinar las pérdidas y eficiencia – Motores de inducción de tres fases Método B para determinar las pérdidas y eficiencia – Motores de inducción de tres fases |

3.3 Dirección de rotación

La refrigeración del motor es independiente del sentido de rotación, con la excepción de algunos grandes motores de 2 polos.

Cuando la alimentación se conecta a las terminales del estátor marcadas U, V y W de un motor trifásico y la secuencia de fase de la red es L1, L2, L3, el motor girará en el sentido de las agujas del reloj, visto desde el lado acople (D). El sentido de rotación puede invertirse intercambiando dos cualesquiera de los tres conductores conectados al interruptor de arranque o al motor.



3.4 Refrigeración

El sistema de designación de los métodos de refrigeración cumple con la norma IEC 600 34-6.

Ejemplo

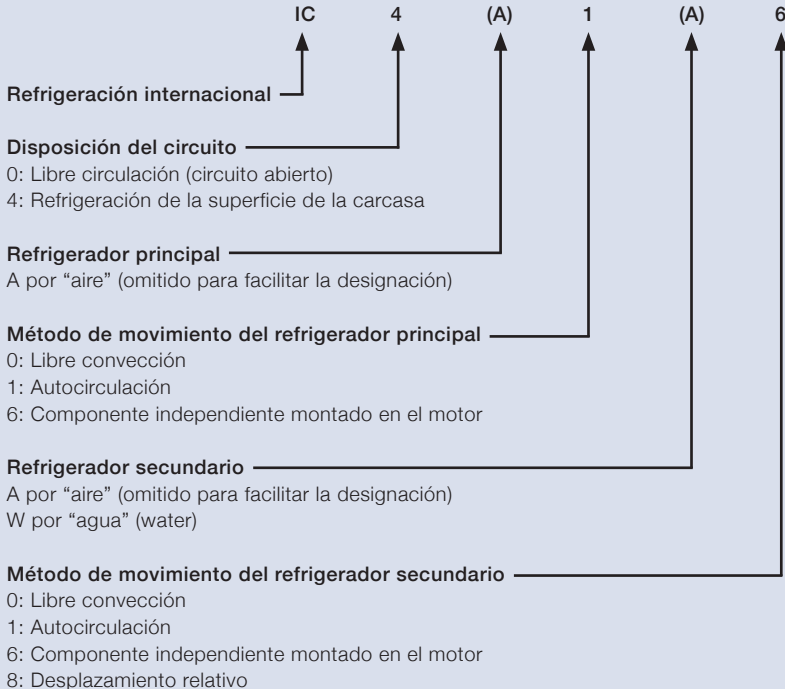


ABB puede suministrar sus motores con las siguientes características:

- IC 410: Motor totalmente cerrado sin ventilador
- IC 411: Motor estándar totalmente cerrado, superficie de carcasa refrigerada por ventilador
- IC 416: Motor totalmente cerrado con motor ventilador auxiliar
- IC 418: Motor totalmente cerrado, superficie de carcasa refrigerada sin ventilador
- IC 31W: Entrada y salida de tubería o circuito cerrado: refrigeración por agua

Nota:

Los motores sin ventilador pueden ofrecer la misma potencia de salida siempre que la instalación sea conforme a IC 418.

Rango de motores ABB

| | Designación de refrigeración | Gama de motores |
|---|------------------------------|--|
|  | IC 410 | Ejemplos típicos son los motores para caminos de rodillos |
|  | IC 411 | Motores estándar |
|  | IC 416 | Motores estándar (generalmente, los tamaños mayores disponen de un ventilador auxiliar) |
|  | IC 418 | Motores para aplicaciones de ventilación sin ventilador de refrigeración, refrigerados por la corriente de aire de la máquina que accionan |
|  | IC 31 W | Motores refrigerados por agua |

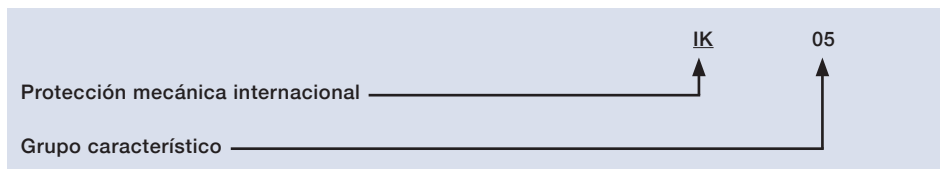
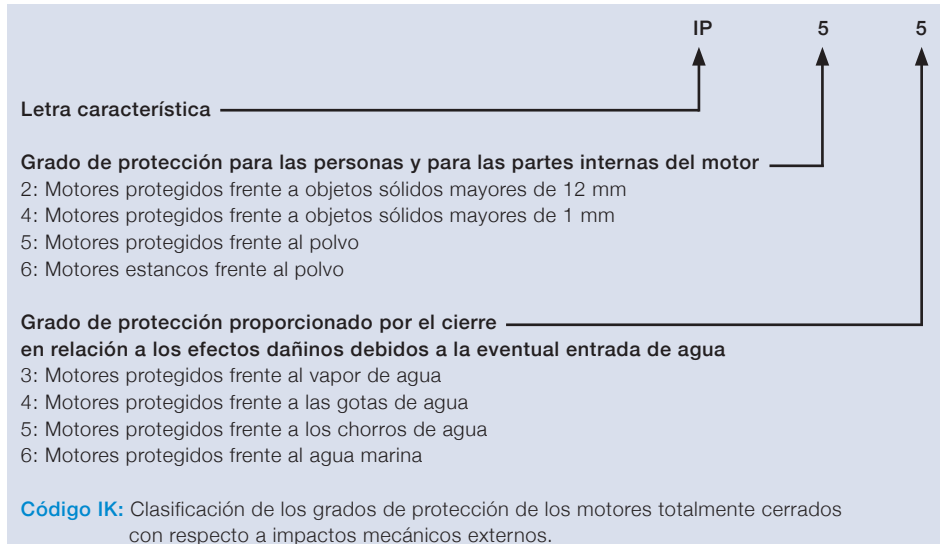
3.5 Grados de protección: código IP/IK

La clasificación de los grados de protección proporcionados por los cierres de las máquinas de rotación se basan en:

- Estándar IEC 600 34-5 o EN 60529 para el código IP
- Estándar EN 50102 para el código IK

Protección IP:

Protección de personas para evitar que entren en contacto (o se acerquen) a las partes móviles externas y para evitar el contacto con las partes móviles del interior del motor. También se refiere a la protección del motor frente a la eventual entrada de objetos sólidos extraños y frente los daños producidos por la posible entrada de agua.



Relación entre el código IK y la energía del impacto

| Código | IK 00 | IK 01 | IK 02 | IK 03 | IK 04 | IK 05 | IK 06 | IK 07 | IK 08 | IK 09 | IK 10 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| Impacto | * | 0.15 | 0.2 | 0.35 | 0.5 | 0.7 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 |
| Energía | | | | | | | | | ABB Standard | | |
| Julios | | | | | | | | | | | |

*sin protección, de acuerdo con EN 50102

3.6 Gamas de tensión estándar

ABB puede suministrar a todo el mercado internacional. Para satisfacer los requerimientos de nuestros clientes, los productos ABB están diseñados para funcionar en una amplia gama de tensiones. Los códigos más comunes son S, D, E, y F que cubren la mayor gama de tensiones en todo el mundo. Otras gamas de tensiones están disponibles bajo pedido.

La siguiente tabla muestra el rango más común de tensiones.

Arranque directo o, con conexión Δ ; también arranque Y/ Δ

| Tamaño del motor | S | | D | |
|-----------------------|---|-----------------|------------------------------------|-------------------------|
| | 50 Hz | 60 Hz | 50 Hz | 60 Hz |
| 56-100 | 220-240 V Δ 380-415 VY | - 440-480 VY | 380-415 V Δ 660-690 VY | 440-480 V Δ - |
| 112-132 | 220-240 V Δ 380-415 VY | - 440-480VY | 380-415 V Δ 660-690 VY | 440-480 V Δ - |
| 160-450 ¹⁾ | 220, 230 V Δ 380, 400, 415 VY | 440 VY | 380, 400, 415 Y Δ 660 VY | 440-480 - |

| Tamaño del motor | E | | F | |
|------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| | 50 Hz | 60 Hz | 50 Hz | 60 Hz |
| 56-100 | 500 V Δ | ²⁾ | 500 VY | ²⁾ |
| 112-132 | 500 V Δ | ²⁾ | 500 VY | ²⁾ |
| 160-450 | 500 V Δ | ²⁾ | ²⁾ | ²⁾ |

El poster de tensiones de todo el mundo se puede obtener en las oficinas de venta de ABB.

¹⁾ La gama de tensión varía según el tipo. Consulte siempre el valor adecuado en el catálogo de producto correspondiente.

²⁾ Bajo demanda.

Motores para otras tensiones

Los motores bobinados para una tensión determinada a 50 Hz pueden también utilizarse para otras tensiones. El rendimiento, el factor de potencia y la velocidad se mantendrán, aproximadamente igual. Los valores garantizados se hallan disponibles bajo demanda.

| Motor bobinado para | 230 V | | 400 V | | 500 V | | 690 V | |
|---------------------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|
| Conectado a (50 Hz) | 220 V | 230 V | 380 V | 415 V | 500 V | 550 V | 660 V | 690 V |
| | % de los valores a 400 V, 50 Hz network | | % de los valores a 400 V, 50 Hz network | | % de los valores a 400 V, 50 Hz network | | % de los valores a 400 V, 50 Hz network | |
| Potencia | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| I_N | 180 | 174 | 105 | 98 | 80 | 75 | 61 | 58 |
| I_S/I_N | 90 | 100 | 90 | 106 | 100 | 119 | 90 | 100 |
| T_S/T_N | 90 | 100 | 90 | 106 | 100 | 119 | 90 | 100 |
| T_{max}/T_N | 90 | 100 | 90 | 106 | 100 | 119 | 90 | 100 |

3.7 Tensión y frecuencia

El impacto en el aumento de la temperatura provocado por las fluctuaciones de tensión y frecuencia se define en la norma IEC 60034-1. La norma divide las combinaciones en dos zonas A y B. La zona A es la combinación de la desviación de tensión de +/-5 % y desviación de frecuencia de +/-2 %. La zona B es la combinación de la desviación de tensión de +/-10 % y desviación de frecuencia de +/-3 %. Esto se muestra en la figura 3.1.

Los motores son capaces de suministrar el par nominal en ambas zonas A y B, pero el aumento de la temperatura será mayor que la tensión y frecuencia nominales. Los motores pueden funcionar en la zona B pero solo por un corto periodo de tiempo.

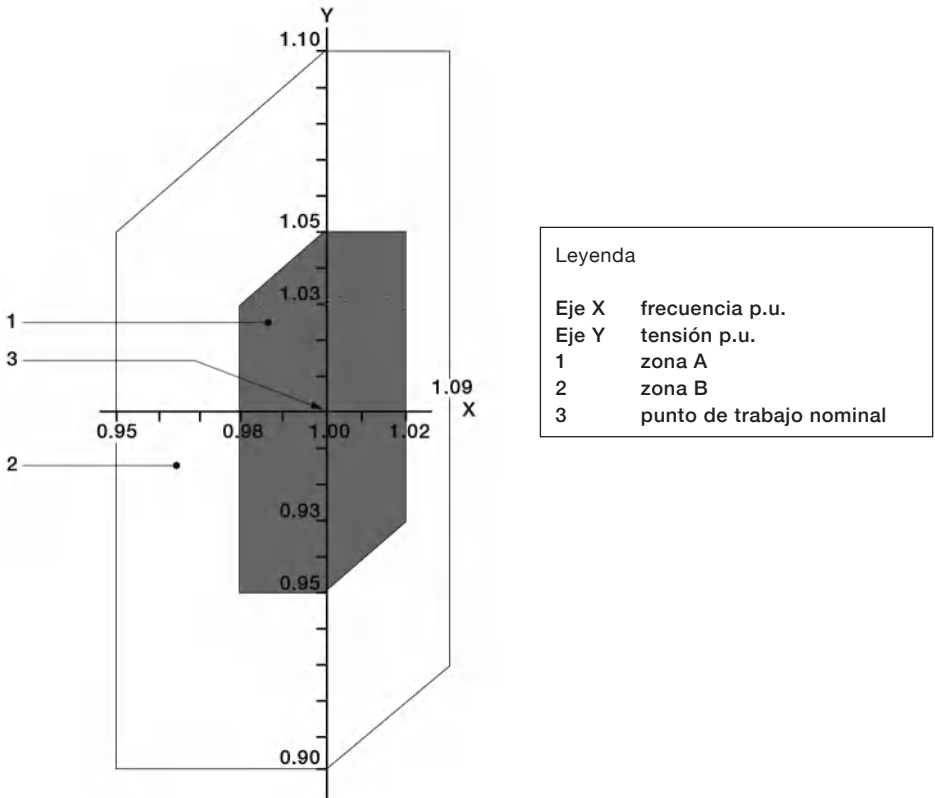


Figura 3.1 Desviación de la tensión y frecuencia en las zonas A y B.

3.8 Tolerancias

De acuerdo con la IEC 60034-1, la tolerancia es la desviación máxima permitida entre el resultado de la prueba y el valor declarado en la placa de características (o en catálogo). Los resultados de las pruebas están basados en tests basados en la IEC 60034-2-1, IEC 60034-9, y la IEC 60034-12.

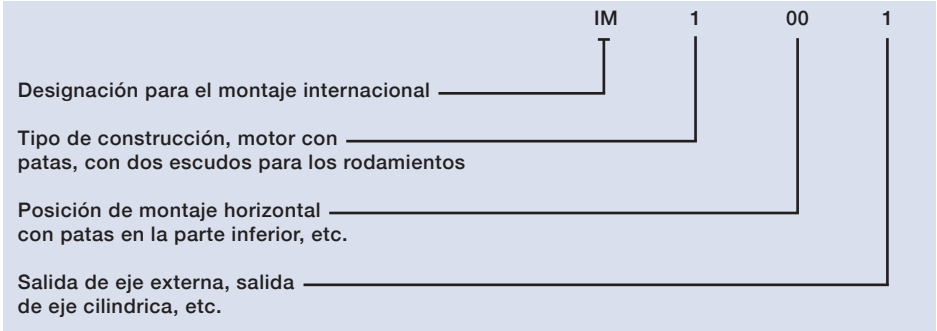
| | Eficiencia | Factor potencia | Intensidad rotor bloqueado | Par rotor bloqueado | Par mínimo | Momento de inercia | Nivel de ruido |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------|
| P_N (kW) ≤ 150 | -15 % (1- η) | -1/6 (1-cos ϕ) | +20 % of the current | [-15 % +25 %] of the torque | -15 % of the value | ± 10 % of the value | +3 dB(A) |
| P_N (kW) > 150 | -10 % (1- η) | -1/6 (1-cos ϕ) | +20 % of the current | [-15 % +25 %] of the torque | -15 % of the value | ± 10 % of the value | +3 dB(A) |
| Slip | | | | | | | |
| P_N (kW) < 1 | ± 30 % | | | | | | |
| P_N (kW) ≥ 1 | ± 20 % | | | | | | |

3.9 Posiciones de montaje

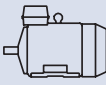
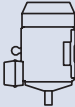
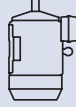
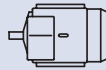
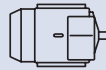
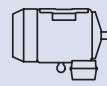
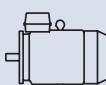

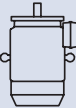
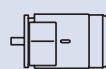
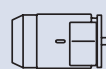
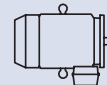
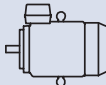
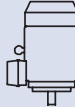
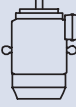
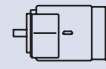
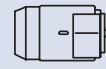
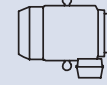
Normas internacionales

Posiciones de montaje IM

Ejemplo de designación según código II



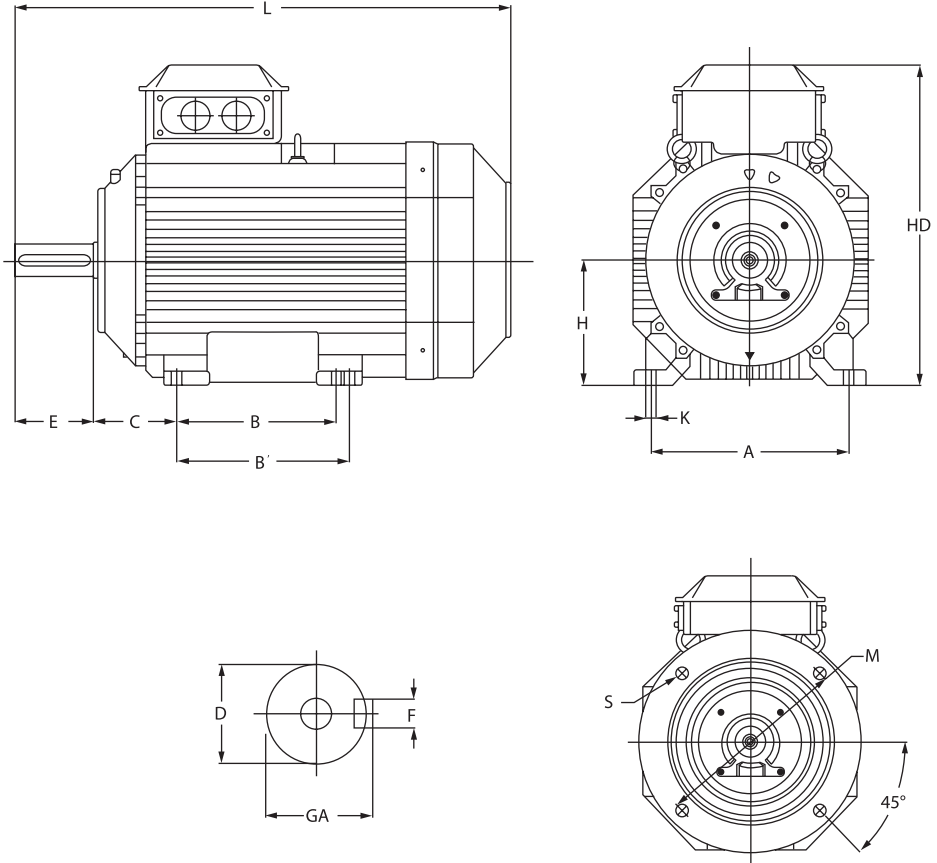
Ejemplos de posiciones de montaje más frecuentes

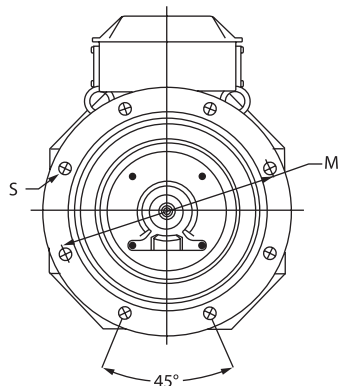
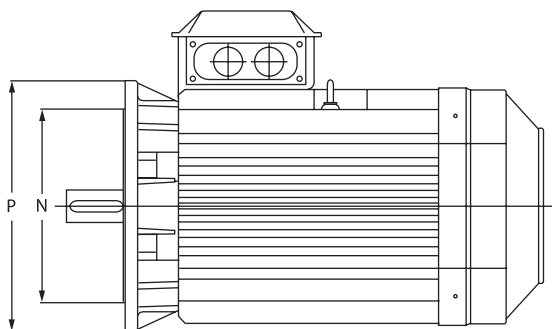
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|--|
| Código I | IM B3 | IM V5 | IM V6 | IM B6 | IM B7 | IM B8 |
| Código II | IM 1001 | IM1011 | IM 1031 | IM1051 | IM 1061 | IM 1071 |
| Motor con patas |  |  |  |  |  |  |
| Código I | IM B5 | IM V1 | IM V3 | *) | *) | *) |
| Código II | IM 3001 | IM 3011 | IM3031 | IM 3051 | IM 3061 | IM 3071 |
| Motor con brida. Brida grande con agujeros de fijación pasantes |  |  |  |  |  |  |
| Código I | IM B14 | IM V18 | IM V19 | *) | *) | *) |
| Código II | IM 3601 | IM 3611 | IM 3631 | IM 3651 | IM 3661 | IM 3671 |
| Motor con brida. Brida pequeña con agujeros de fijación roscados. |  |  |  |  |  |  |
| *) No establecido en la IEC 60034-7 | | | | | | |

3.10 Dimensiones

Normas internacionales Posiciones de montaje IM

A continuación se presenta el dibujo acotado más usual. Las dimensiones están disponibles en los catálogos y en la web de ABB.





Símbolos para los tamaños más frecuentes:

A = distancia entre los centros de los agujeros de fijación (vistas desde el lado acople)

B = distancia entre los centros de los agujeros de fijación (vistas desde el lateral)

B' = distancia entre los centros de los agujeros de fijación auxiliares

C = distancia desde el resalte de eje en el lado acople hasta el centro de los agujeros de fijación de la pata más próxima

D = diámetro de la salida del eje en el lado acople

E = longitud de la salida del eje desde el encaste hasta su extremo

F = anchura del chavetero desde la salida del eje al lado acople

GA = distancia desde la parte superior de la chaveta a la superficie opuesta de la salida del eje en el lado acople

H = distancia desde el centro del eje hasta la parte inferior de las patas

HD = distancia desde la parte superior del cáncamo, la caja de bornes o la parte más saliente montada en la parte superior del motor hasta la parte inferior de las patas

K = diámetro de los agujeros de fijación o anchura de las ranuras en las patas del motor

L = longitud total del motor con una única salida del eje

M = diámetro de los agujeros de fijación de la brida

N = diámetro del encaste

P = diámetro exterior de la brida o, en caso de perfil no circular, el doble de la dimensión radial máxima

S = diámetro de los agujeros de fijación en el montaje de la brida o diámetro nominal de la rosca

3.11 Normas de tamaños y potencias

Varios países han puesto en práctica una norma de desempeño mínimo de eficiencia energética (MEPS) a través de la legislación nacional. IEC establece directrices sobre el análisis y clasificación de los motores de acuerdo a las normas. Las siguientes tablas presentan dos aplicaciones de potencia frente a los estándares de tamaño de bastidor, una para Europa y otra para Brasil.

En Europa, la norma EN 50347 de CENELEC establece datos sobre la potencia nominal y el montaje. Es decir, la altura de eje, el tamaño de las fijaciones y las dimensiones de salida de eje, para diversos grados de protección y de tamaños. Incluye los motores totalmente cerrados de jaula de ardilla a 50 Hz, en tamaños de carcasas del 56 al 315M.

| Normas de salida | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|------------------|--------------|--------------|-------------|----------------------|----------------------|
| Tamaño carcasa | Diámetro de eje | | Potencia nominal | | | | Brida | |
| | 2 polos mm | 4,6,8 polos mm | 2 polos kW | 4 polos kW | 6 polos kW | 8 polos kW | Agujero pasante (FF) | Agujero roscado (FT) |
| 56 | 9 | 9 | 0.09 or 0.12 | 0.06 or 0.09 | | | F100 | F65 |
| 63 | 11 | 11 | 0.18 or 0.25 | 0.12 or 0.18 | | | F115 | F75 |
| 71 | 14 | 14 | 0.37 or 0.55 | 0.25 or 0.37 | | | F130 | F85 |
| 80 | 19 | 19 | 0.75 or 1.1 | 0.55 or 0.75 | 0.37 or 0.55 | | F165 | F100 |
| 90S | 24 | 24 | 1.5 | 1.1 | 0.75 | 0.37 | F165 | F115 |
| 90L | 24 | 24 | 2.2 | 1.5 | 1.1 | 0.55 | F165 | F115 |
| 100L | 28 | 28 | 3 | 2.2 or 3 | 1.5 | 0.75 or 1.1 | F215 | F130 |
| 112M | 28 | 28 | 4 | 4 | 2.2 | 1.5 | F215 | F130 |
| 132S | 38 | 38 | 5.5 or 7.5 | 5.5 | 3 | 2.2 | F265 | F165 |
| 132M | 38 | 38 | - | 7.5 | 4 or 5.5 | 3 | F265 | F165 |
| 160M | 42 | 42 | 11 or 15 | 11 | 7.5 | 4 or 5.5 | F300 | F215 |
| 160L | 42 | 42 | 18.5 | 15 | 11 | 7.5 | F300 | F215 |
| 180M | 48 | 48 | 22 | 18.5 | - | - | F300 | |
| 180L | 48 | 48 | - | 22 | 15 | 11 | F300 | |
| 200L | 55 | 55 | 30 or 37 | 30 | 18.5 or 22 | 15 | F350 | |
| 225S | 55 | 60 | - | 37 | - | 18.5 | F400 | |
| 225M | 55 | 60 | 45 | 45 | 30 | 22 | F400 | |
| 250M | 60 | 65 | 55 | 55 | 37 | 30 | F500 | |
| 280S | 65 | 75 | 75 | 75 | 45 | 37 | F500 | |
| 280M | 65 | 75 | 90 | 90 | 55 | 45 | F500 | |
| 315S | 65 | 80 | 110 | 110 | 75 | 55 | F600 | |
| 315M | 65 | 80 | 132 | 132 | 90 | 75 | F600 | |

Tabla 3.1 Potencia - tamaño de carcasa según la CENELEC

Brasil exige que los motores importados a Brasil cumplan con las normas nacionales en NBR para motores de baja tensión. La NBR 17094-1:2008 define la relación carcasa/potencia como se muestra en la tabla siguiente.

| Potencia kW | Carcasa HP | 2 polos | 4 polos | 6 polos | 8 polos |
|-------------|------------|---------|---------|---------|---------|
| 0.18 | 0.25 | 63 | 63 | 71 | 71 |
| 0.25 | 0.33 | 63 | 63 | 71 | 80 |
| 0.37 | 0.50 | 63 | 71 | 80 | 90S |
| 0.55 | 0.75 | 71 | 71 | 80 | 90L |
| 0.75 | 1 | 71 | 80 | 90S | 90L |
| 1.1 | 1.5 | 80 | 80 | 90S | 100L |
| 1.5 | 2 | 80 | 90S | 100L | 112M |
| 2.2 | 3 | 90S | 90L | 100L | 132S |
| 3.0 | 4 | 90L | 100L | 112M | 132M |
| 3.7 | 5 | 100L | 100L | 132S | 132M |
| 4.7 | 6 | 112M | 112M | 132S | 160M |
| 5.5 | 7.5 | 112M | 112M | 132M | 160M |
| 7.5 | 10 | 132S | 132S | 132M | 160L |
| 9.2 | 12.5 | 132S | 132M | 160M | 180M/L |
| 11.0 | 15 | 132M | 132M | 160M | 180L |
| 15.0 | 20 | 160M | 160M | 160L | 180L |
| 18.5 | 25 | 160M | 160L | 180L | 200L |
| 22 | 30 | 160L | 180M | 200L | 225S |
| 30 | 40 | 200M | 200M | 200L | 225M |
| 37 | 50 | 200L | 200L | 225M | 250S |
| 45 | 60 | 225S | 225S | 250S | 250M |
| 55 | 75 | 225M | 225M | 250M | 280S |
| 75 | 100 | 350M | 250M | 280S | 280M |
| 90 | 125 | 280S | 280S | 280M | 315M |
| 110 | 150 | 280M | 280M | 315M | 315M |
| 132 | 175 | 315S | 315S | 315M | 355 |
| 150 | 200 | 315S | 315S | 315M | 355 |
| 185 | 250 | 315S | 315M | 355 | 355 |
| 220 | 300 | 355 | 355 | 355 | 355 |
| 260 | 350 | 355 | 355 | 355 | 355 |
| 300 | 400 | - | 355 | 355 | - |
| 330 | 450 | - | 355 | 355 | - |
| 370 | 500 | - | 355 | - | - |

Tabla 3.2 Potencia – tamaño de carcasa según la NBR

4. Diseño eléctrico – motores de inducción

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4. | Diseño eléctrico-motores de inducción | 42 |
| 4.1 | El motor de inducción | 43 |
| 4.2 | Aislamiento | 44 |
| 4.3 | Termistores | 45 |
| 4.4 | Temperatura ambiente y grandes altitudes | 45 |
| 4.5 | Métodos de arranque | 46 |
| 4.5.1 | Arranque directo (DOL) | 46 |
| 4.5.2 | Arranque Y/ Δ | 46 |
| 4.5.3 | Arranque suave | 47 |
| 4.5.4 | Arranque con variador de velocidad | 48 |
| 4.6 | Limitaciones de arranque | 49 |
| 4.7 | Tipos de servicios | 56 |
| 4.8 | Incremento de potencia | 60 |
| 4.9 | Eficiencia y tipos de pérdidas | 60 |
| 4.10 | Factor de potencia | 62 |
| 4.11 | Caudal y velocidad del aire | 65 |
| 4.12 | Diagramas de conexión | 66 |

Diseño eléctrico – motores de inducción

Los capítulos de diseño eléctrico y mecánico de esta guía se centran en los motores de inducción.

El diseño de motores de buenas características de funcionamiento implica un delicado equilibrio entre una serie de factores que incluyen la eficiencia, el coste, aumento de la temperatura, las vibraciones, el ruido, la selección de rodamientos, y el diseño de las ranuras y el ventilador. Solo el equilibrio correcto dará lugar a motores de alta calidad que sean eficientes y fiables, y que proporcionen una vida de servicio larga.

Diseño eléctrico – motores de inducción

4.1 El motor de inducción

Los motores de inducción de baja tensión de ABB son motores eléctricos trifásicos cuyo poder rotatorio se basa en la inducción electromagnética. La corriente llevada a los devanados del motor crea un circuito magnético giratorio, que induce una tensión en las barras del rotor. Las barras forman un circuito cerrado donde la corriente empieza a circular, formando otro campo magnético. Los campos magnéticos del rotor y el estator interactúan de tal manera que el rotor sigue el campo magnético del estator, produciendo de este modo el par.

En la naturaleza de los motores asíncronos, el rotor gira más lento que el campo magnético en el estator. Cuando aumenta la carga mecánica en el eje del motor, la diferencia en la velocidad (deslizamiento) aumenta, y se produce un par mayor.

Los motores de inducción de baja tensión de ABB cubren el rango de potencia de 0,06 hasta 1000kW.

4.2 Aislamiento

ABB utiliza un sistema de aislamiento de clase F, la cual, con un aumento de temperatura de clase B, es actualmente el requisito más frecuente para motores industriales.

Sistema de aislamiento de clase F

- Temperatura ambiente máxima 40 °C
- Incremento máximo de temperatura permisible 105 K
- Margen de temperatura límite +10 K

Incremento clase B

- Temperatura ambiente máxima 40 °C
- Incremento máximo de temperatura permisible 80 K
- Margen de temperatura límite +10 K

Gracias a la utilización del sistema de aislamiento clase F con incremento de temperatura clase B, los productos de ABB poseen un margen de seguridad de 25 °C que puede ser utilizado para incrementar la carga durante períodos limitados, funcionar a temperaturas ambiente elevadas o a grandes altitudes, o con mayores tolerancias de tensión y de frecuencia. También puede utilizarse para prolongar la vida del aislamiento. Por ejemplo, una disminución de temperatura de 10 K prolongará la vida del aislamiento.

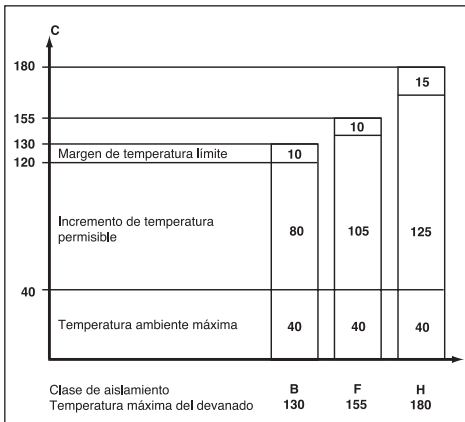


Figura 4.1 Márgenes de seguridad por clase de aislamiento

4.3 Termistores

Los termistores son resistencias que varían con la temperatura insertados dentro de las cabezas del bobinado (uno para cada fase) para controlar la temperatura del motor. Bajo una cierta temperatura, el termistor muestra una baja resistencia que se mantiene constante, pero a partir de una cierta temperatura esta resistencia aumenta drásticamente por un factor de 20 y más. El cambio de la resistencia se transforma en señales de advertencia (de conexión o desconexión) para la protección térmica de la máquina.

4.4 Temperaturas ambiente y grandes altitudes

Los motores básicos están diseñados para funcionar a una temperatura ambiente máxima de 40 °C y a una altitud máxima de 1.000 metros sobre el nivel del mar. Si un motor debe funcionar a temperaturas ambiente más elevadas, debería normalmente reducirse su potencia según la tabla siguiente. Rogamos tomen nota de que cuando se reduce la potencia de salida de un motor estándar, los valores relativos indicados en los catálogos, como los referentes a IS/IN, también variarán.

| Temperatura ambiente, °C | 30 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 |
|---|-----|-----|------|----|----|------|----|----|
| Potencia permitida, % de la potencia nominal | 107 | 100 | 96.5 | 93 | 90 | 86.5 | 79 | 70 |

| Altura sobre el nivel del mar, en m | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Potencia permitida, % de la potencia nominal | 100 | 96 | 92 | 88 | 84 | 80 | 76 |

Tabla 4.1 Potencia permitida en altas temperaturas y grandes alturas

4.5 Métodos de arranque

A continuación, se introducen los métodos de arranque más comunes. Estos son: directo en línea y arranque estrella-triángulo, y arranque con un arrancador suave o variador de frecuencia.

Transitorios de conexión

Es importante recordar que el término “corriente de arranque” se refiere al valor estable (rms). Este es el valor obtenido cuando, pasados unos ciclos, desaparece el fenómeno transitorio. El valor de pico de la corriente transitoria puede llegar a ser 2,5 veces la corriente de arranque estable, disminuyendo sin embargo rápidamente. El par de arranque del motor se comporta de una manera similar, lo cual debe tenerse en cuenta si el momento de inercia de la máquina accionada es elevado, dado que los esfuerzos del eje y del acople pueden llegar a ser muy grandes.

4.5.1 Arranque directo D.O.L

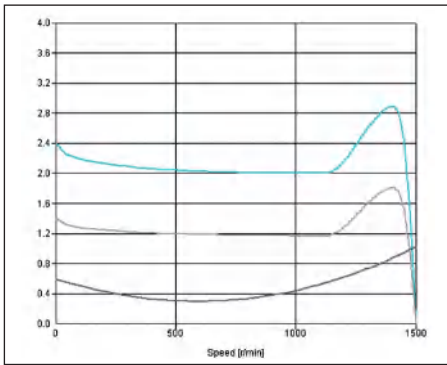
La manera más simple de arrancar un motor de jaula de ardilla es conectándolo directamente a la red. En tal caso, el único equipo de arranque que se necesitará es un arrancador directo a línea (D.O.L.). Este método tiene sin embargo sus limitaciones, puesto que comporta una alta intensidad de arranque de varias veces la intensidad nominal del motor. También el par de arranque es muy elevado lo que puede derivar en grandes esfuerzos en los acoplamientos y eje. Aun así, es el método preferible, de no existir razones especiales para descartarlo.

4.5.2 Arranque Y/Δ

Si, por causa de limitaciones de la alimentación, se precisa una disminución de la intensidad de arranque de un motor, puede utilizarse el método Y/Δ. Con este método, un motor, devanado por ejemplo a 400 V/Δ y puesto en marcha con el devanado conectado en Y, reducirá la intensidad de arranque en un 30% del valor definido para arranque directo y el par de arranque quedará reducido a un 25% del valor de arranque directo.

Sin embargo, antes de utilizar este método, es antes necesario determinar si el par reducido del motor es suficiente para acelerar la carga para todas la gama de velocidades.

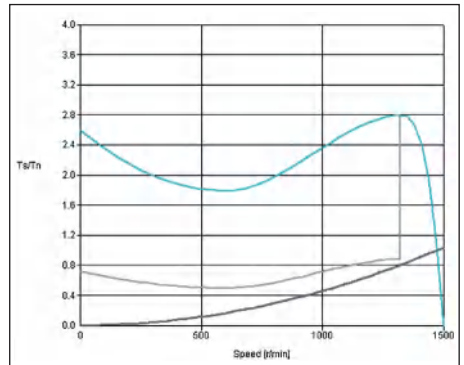
Para obtener el programa de cálculo MotSize, rogamos contacten con su oficina de ventas ABB más próxima o lo descarguen desde nuestra web. ABB ofrece una gama completa de productos de baja tensión para el arranque del motor y el control.



Ejemplo extraído del programa del cálculo MotSize que muestra las curvas de arranque DOL en un motor de hierro fundido:

1. Par de arranque a U_n
2. Par de arranque a un 80 % U_n
3. Par carga

Figura 4.2 Arranque DOL



Ejemplo extraído del programa del cálculo MotSize que muestra las curvas de arranque Y/ Δ para un motor de aluminio:

1. Par de arranque a U_n
2. Par de arranque a un 80 % U_n
3. Par carga

Figura 4.3 Arranque Estrella-delta

4.5.3 Arranadores suaves

Un arrancador suave limita la intensidad de modo que proporciona un arranque suave. La magnitud de la intensidad de arranque depende directamente del par estático de arranque exigido durante el mismo y de la masa de la carga que deba ser acelerada.

Los arrancadores suaves ABB son flexibles y disponen de ajustes adaptables para cumplir con cualquier requerimiento de aplicación. Incrementando gradualmente la tensión del motor durante el arranque, se consigue que éste sea muy suave. Para alcanzar correctamente la velocidad deseada, es frecuente el puentado del arrancador suave, a fin de evitar pérdidas de potencia desde los semiconductores, con el funcionamiento continuado. Para efectuar el puente (by pass), es habitual utilizar un contactor externo AC-1.

Este contactor puede también integrarse al arrancador suave, como se halla en la serie PSR, PSE y PSTB de arrancadores suaves ABB. Estos arrancadores suaves son los más compactos disponibles en el mercado.

En el arrancador suave de ABB, el circuito principal se controla mediante semiconductores en lugar de hacerlo con contactos mecánicos. Cada fase consta de dos tiristores conectados en antiparalelo, lo cual permite cambiar la intensidad en cualquier punto tanto durante los medios ciclos positivos como los negativos.

El tiempo de arranque se controla mediante el ángulo de encendido del tiristor, el cual, a su vez, es controlado por el circuito impreso integrado.

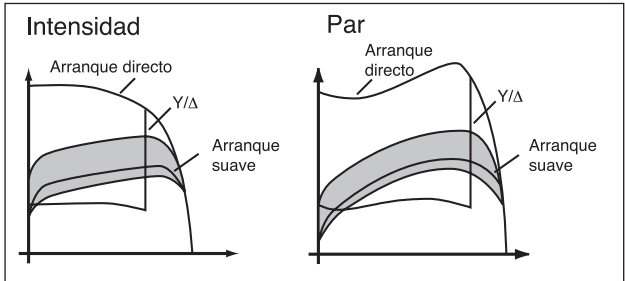


Figura 4.4 Impacto de los arrancadores suaves en la intensidad y en el par



Figura 4.5 Arrancadores suaves ABB

4.5.4 Arranque con un variador de frecuencia

La regulación de velocidad mediante un variador de frecuencia es una gran ventaja cuando existe la necesidad de ajustar la velocidad durante el funcionamiento continuo, pero por lo general no es la solución óptima solo para arrancar y parar el motor.

Con un convertidor de frecuencia, el par nominal del motor está disponible ya a baja velocidad, y la intensidad de arranque es baja, entre 0.5 y 1 vez la corriente del motor y máximo 1.5 veces de la intensidad normal.

Otra característica disponible en los drives es softstop, que es útil cuando una parada suave es tan deseable como un arranque suave, por ejemplo en el funcionamiento de bombas de agua o cintas transportadores.

4.6 Limitaciones de arranque

Tiempo de arranque

El tiempo de arranque viene determinado por el par de carga, por la inercia y por el par del motor. Dado que la intensidad de arranque es siempre mucho más elevada que la intensidad nominal, un período de arranque excesivamente largo causará un aumento de temperatura perjudicial para el motor. Además, la alta intensidad también conlleva esfuerzos electromecánicos.

Tiempo de arranque permitido

Para evitar aumentos excesivos de temperatura, el tiempo de arranque no debe exceder el especificado en la tabla.

Los valores de la tabla se refieren al arranque a partir de la temperatura de trabajo normal. Cuando el arranque es en frío, estos valores pueden doblarse.

| Tamaño del motor | Método de arranque | Número de polos | | | |
|------------------|--------------------|-----------------|----|----|-----|
| | | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 56 | DOL | 25 | 40 | NA | NA |
| 63 | DOL | 25 | 40 | NA | NA |
| 71 | DOL | 20 | 20 | 40 | 40 |
| 80 | DOL | 15 | 20 | 40 | 40 |
| 90 | DOL | 10 | 20 | 35 | 40 |
| 100 | DOL | 10 | 15 | 30 | 40 |
| 112 | DOL | 20 | 15 | 25 | 50 |
| | Y/D | 60 | 45 | 75 | 150 |
| 132 | DOL | 15 | 10 | 10 | 60 |
| | Y/D | 45 | 30 | 30 | 20 |
| 160 | DOL | 15 | 15 | 20 | 20 |
| | Y/D | 45 | 45 | 60 | 60 |
| 180 | DOL | 15 | 15 | 20 | 20 |
| | Y/D | 45 | 45 | 60 | 60 |
| 200 | DOL | 15 | 15 | 20 | 20 |
| | Y/D | 45 | 45 | 60 | 60 |
| 225 | DOL | 15 | 15 | 20 | 20 |
| | Y/D | 45 | 45 | 60 | 60 |
| 250 | DOL | 15 | 15 | 20 | 20 |
| | Y/D | 45 | 45 | 60 | 60 |
| 280 | DOL | 15 | 18 | 17 | 15 |
| | Y/D | 45 | 54 | 51 | 45 |
| 315 | DOL | 15 | 18 | 16 | 12 |
| | Y/D | 45 | 54 | 48 | 36 |
| 355 | DOL | 15 | 20 | 18 | 30 |
| | Y/D | 45 | 60 | 54 | 90 |
| 400 | DOL | 15 | 20 | 18 | 30 |
| | Y/D | 45 | 60 | 54 | 90 |
| 450 | DOL | 15 | 20 | 18 | 30 |
| | Y/D | 45 | 60 | 54 | 90 |

Tabla 4.2 Tiempos máximos de partida en segundos para el arranque ocasional, motores de una sola velocidad

Frecuencia permitida de arranques e inversiones de marcha

Cuando un motor se ve sometido a arranques frecuentes, no se le puede cargar con su potencia nominal ya que hay que tener en cuenta las pérdidas térmicas de arranque en los devanados. Es posible calcular la potencia de salida permitida a partir del número de arranques por hora, del momento de la inercia de la carga y de la velocidad de la carga. Los esfuerzos mecánicos también pueden imponer límites por debajo de los factores térmicos.

$$\text{Potencia de salida permitida} = P_N \sqrt{1 - \frac{m}{m_o}}$$

P_N = potencia nominal de motor en servicio continuo

$$m = \frac{(J_M + J'_L)}{J_m} \times X$$

X = número de arranques por hora

J_M = momento de inercia del motor en kgm^2

J'_L = momento de inercia de carga en kgm^2 , recalculado para el eje del motor; es decir, multiplicado por $(\text{velocidad de carga/velocidad del motor})^2$. El momento de inercia J (kgm^2) es igual a $1/4 GD^2$ en kgm^2 .

m_o = número máximo permitido de arranques por hora para un motor sin carga, según se indica en la tabla de la derecha.

Número máximo permitido de arranques por hora para un motor sin carga $m_r = m_o / 4$.

| Tamaño del motor | Número de polos | | | |
|------------------|-----------------|------|-------|-------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 56 | 12000 | 9000 | - | - |
| 63 A, B | 11200 | 8700 | - | - |
| 71 A, B | 9100 | 8400 | 16800 | 15700 |
| 80 A, B | 5900 | 8000 | 16800 | 11500 |
| 90 L | 3500 | 7000 | 12200 | 11500 |
| 100 L | 2800 | - | 8400 | - |
| 112 M | 1700 | 6000 | 9900 | 16000 |
| 132 M | 1700 | 2900 | 4500 | 6600 |
| 160 ML | 650 | - | - | 5000 |
| 180 ML | 400 | 1100 | - | - |
| 200 ML | 385 | - | 1900 | - |
| 225 SM | - | 900 | - | 2350 |
| 250 SM | 300 | 900 | 1250 | 2350 |
| 280 SM, ML | 125 | 375 | 500 | 750 |
| 315 SM, ML | 75 | 250 | 375 | 500 |
| 355 SM, ML, LK | 50 | 175 | 250 | 350 |
| 400 L, LK | 50 | 175 | 250 | 350 |
| 450 L | On request | | | |

Tabla 4.3 Número máximo de arranques por hora permitidos en vacío, m_o

Características de arranque

Generalmente, los catálogos establecen un tiempo de arranque máximo en función del tamaño del motor y de la velocidad. Ahora, no obstante, existe una exigencia estandarizada en IEC 600 34-12 que especifica los momentos de inercia permitidos para la máquina accionada en lugar del tiempo de arranque. Para motores pequeños, el esfuerzo térmico es mayor en el devanado del estátor; mientras que para los grandes motores, es mayor en el devanado del rotor.

Conociéndose las curvas del par del motor y de la carga, el tiempo de arranque se puede calcular integrando la ecuación siguiente:

$$T_M - T_L = (J_M + J_L) \times \frac{d\omega}{dt}$$

donde:

- T_M = par del motor, Nm
- T_L = par de carga, Nm
- J_M = momento de inercia del motor, kgm^2
- J_L = momento de inercia de la carga, kgm^2
- ω = velocidad angular del motor

En caso de reductor, T_L y J_L deben sustituirse por T'_L y J'_L respectivamente. Conociéndose el par de arranque T_s y el par máximo T_{max} del motor, junto con la naturaleza de la carga, el tiempo de arranque puede calcularse aproximadamente por la siguiente ecuación.

$$t_{st} = \frac{(J_M + J'_L)}{T_{acc}} \times K_1$$

donde:

- t_{st} = tiempo de arranque, s
- T_{acc} = par de aceleración, Nm
- K_1 = velocidad constante ($2\phi \frac{f}{p}$) donde p representa el número de pares de polos

| Velocidad constante | Polos | | | | | Frecuencia Hz |
|---------------------|-------|------|------|-----|-----|---------------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| n_m | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 600 | |
| K_1 | 314 | 157 | 104 | 78 | 62 | 50 |
| n_m | 3600 | 1800 | 1200 | 900 | 720 | |
| K_1 | 377 | 188 | 125 | 94 | 75 | 60 |

Tabla 4.4 Velocidad constante K1 en función de la frecuencia y pares de polos.

El valor medio para T_M :

$$T_M = 0.45 \times (T_s + T_{max})$$

$$T_{acc} = T_M - K_L \times T_L$$

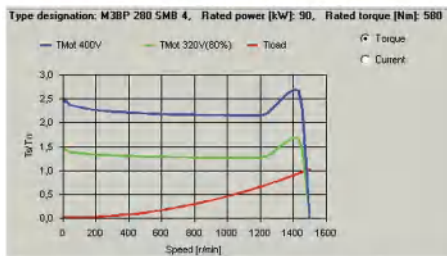
K_L puede obtenerse de la tabla siguiente:

| | Accionamiento ascensor | Ventilador | Bomba de pistón | Volante de inercia |
|-------|------------------------|------------|-----------------|--------------------|
| K_L | 1 | 1/3 | 0.5 | 0 |

Ejemplos del programa de cálculo de tiempo de arranque de ABB

Load

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Load type | Pump or Fan |
| Duty cycle | S1(IEC) |
| Load Inertia J[kg-m ²] | 20,0 |
| Max Inertia J | 94 |
| GD2[kg-m ²] | 80 |
| Gear Ratio | 1,00 |



| U/U _n [%] | Time start.[s] |
|----------------------|----------------|
| DOL (100) | 3,2 |
| DOL (80) | 6,3 |

| U/U _n [%] | Speed [r/min] |
|----------------------|---------------|
| DOL (100) | 1483 |
| DOL (80) | 1473 |

En caso de reductor entre el motor y la máquina accionada, el par de carga debe recalcularse según la velocidad del motor mediante la fórmula siguiente.

$$T'_L = T_L \times \frac{n_L}{n_M}$$

También hay que recalcularse el momento de inercia con:

$$J'_L = J_L \times \left(\frac{n_L}{n_M} \right)^2$$

Ejemplos de arranque con distintos pares de carga

Motor de 4 polos, 160 kW, 1475 r/min

Par del motor

$$T_N = 1040 \text{ Nm}$$

$$T_s = 1.7 \times 1040 = 1768 \text{ Nm}$$

$$T_{\max} = 2.8 \times 1040 = 2912 \text{ Nm}$$

Momento de inercia del motor: $J_M = 2.5 \text{ kgm}^2$

La carga se reduce en una proporción de 1:2

Par de carga

$$T_L = 1600 \text{ Nm at } n_L = n_M/2 \text{ r/min}$$

$$T'_L = 1600 \times 1/2 = 800 \text{ Nm at } n_M \text{ r/min}$$

Momento de inercia de la carga

$$J_L = 80 \text{ kgm}^2 \text{ at } n_L = n_M/2 \text{ r/min}$$

$$J'_L = 80 \times (1/2)^2 = 20 \text{ kgm}^2 \text{ at } n_M \text{ r/min}$$

Momento de inercia total

$$J_M + J'_L \text{ at } n_M \text{ r/min}$$

$$2.5 + 20 = 22.5 \text{ kgm}^2$$

Ejemplo 1:

$$T_L = 1600 \text{ Nm} \quad T'_L = 800 \text{ Nm}$$

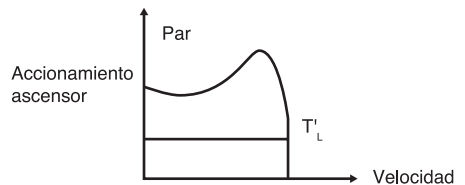
Constante durante la aceleración

$$T_{\text{acc}} = 0.45 \times (T_s + T_{\max}) - T'_L$$

$$T_{\text{acc}} = 0.45 \times (1768 + 2912) - 800 = 1306 \text{ Nm}$$

$$t_{\text{st}} = \frac{(J_M + J'_L)}{T_{\text{acc}}} \times K_1$$

$$t_{\text{st}} = \frac{22.5 \times 157}{1306} = 2.7 \text{ s}$$



Ejemplo 2:

$$T_L = 1600 \text{ Nm} \quad T'_L = 800 \text{ Nm}$$

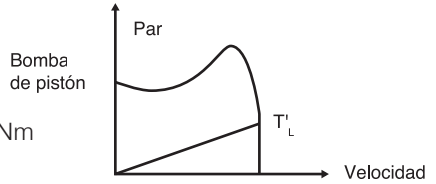
Aumento lineal durante aceleración

$$T_{acc} = 0.45 \times (T_S + T_{max}) - \frac{1}{2} \times T'_L$$

$$T_{acc} = 0.45 \times (1768 + 2912) - \frac{1}{2} \times 800 = 1706 \text{ Nm}$$

$$t_{st} = (J_M + J'_L) \times K_1 / T_{acc}$$

$$t_{st} = 22.5 \times \frac{157}{1706} = 2.1 \text{ s}$$



Ejemplo 3:

$$T_L = 1600 \text{ Nm} \quad T'_L = 800 \text{ Nm}$$

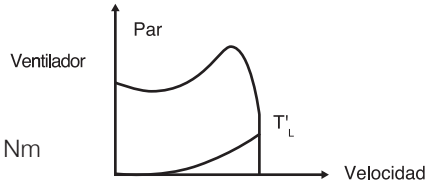
Aumento cuadrático durante la aceleración

$$T_{acc} = 0.45 \times (T_S + T_{max}) - \frac{1}{3} \times T'_L$$

$$T_{acc} = 0.45 \times (1768 + 2912) - \frac{1}{3} \times 800 = 1839 \text{ Nm}$$

$$t_{st} = \frac{(J_M + J'_L)}{T_{acc}} \times K_1$$

$$t_{st} = \frac{22.5 \times 157}{1839} = 1.9 \text{ s}$$



Ejemplo 4:

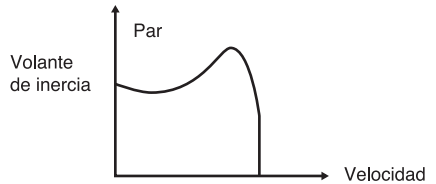
$$T_L = 0$$

$$T_{acc} = 0.45 \times (T_S + T_{max})$$

$$T_{acc} = 0.45 \times (1768 + 2912) = 2106 \text{ Nm}$$

$$t_{st} = \frac{(J_M + J'_L)}{T_{acc}} \times K_1$$

$$t_{st} = \frac{22.5 \times 157}{2106} = 1.7 \text{ s}$$



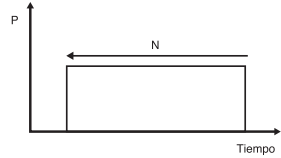
4.7 Tipos de servicio

Los tipos de servicio se indican mediante los símbolos S1... S10, de acuerdo con IEC 600 34-1 y VDE 0530 Parte 1. Las potencias indicadas en los catálogos se basan en el servicio en funcionamiento continuo, S1, a potencia nominal.

En caso de no existir ninguna indicación del tipo de servicio, se considera que se trata de un servicio en funcionamiento continuo.

S1 Servicio en funcionamiento continuo

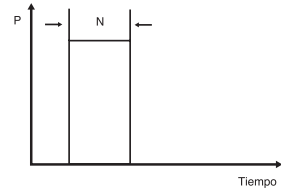
Funcionamiento a carga constante, de duración suficiente para alcanzar el equilibrio térmico.
Designación S1.



S2 Servicio de corta duración

Operación a carga constante durante un tiempo determinado, menor que el requerido para alcanzar el equilibrio térmico, seguido de un tiempo de reposo en estado desconectado de duración suficiente para permitir que la temperatura del motor vuelva al nivel ambiente o a la temperatura del refrigerante.

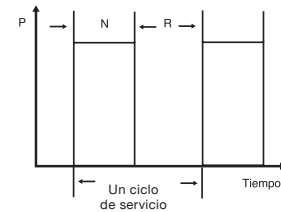
Se recomiendan los valores de 10, 30, 60 y 90 minutos para la duración prevista del ciclo de servicio. Ejemplo de designación: S2 60 min.



S3 Servicio intermitente

Secuencia de ciclos de servicio idénticos, en la que cada uno consta de un periodo de funcionamiento a carga constante y un periodo de reposo en estado desconectado. El ciclo de servicio es demasiado corto para alcanzar el equilibrio térmico. La intensidad de arranque no afecta al calentamiento de forma significativa.

Los valores recomendados para el factor de duración del ciclo son 15, 25, 40 y 60%. La duración de un ciclo de servicio es de 10 minutos. Ejemplo de designación: S3 25%.



$$\text{Factor de duración de ciclo} = \frac{N}{N + R} \times 100 \%$$

Explicación de los símbolos utilizados en las siguientes figuras

P = potencia de salida

F = frenado eléctrico

P_N = carga completa

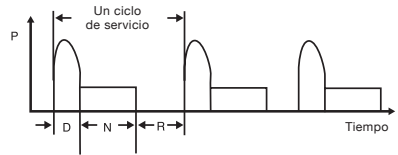
D = aceleración

V = funcionamiento sin carga/en vacío

N = funcionamiento en condiciones nominales R = en reposo, en estado desconectado

S4 Servicio intermitente con arranque

Secuencia de ciclos de servicio idénticos, en la que cada uno consta de un periodo de arranque significativo, un periodo de funcionamiento a carga constante y un periodo de reposo en estado desconectado. El tiempo del ciclo es demasiado corto para alcanzar el equilibrio térmico. En este tipo de servicio el motor es llevado al estado de reposo por la carga o por el frenado mecánico, por lo que el motor no se carga térmicamente. Para definir completamente el tipo de servicio son necesarios los siguientes parámetros: el factor de duración del ciclo, el número de ciclos de servicio por hora (c/h), el momento de inercia de la carga J_L y el momento de inercia del motor J_M .

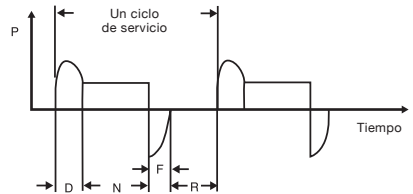


Ejemplo de designación S4 25 % 120 c/h $J_L = 0.2 \text{ kgm}^2$ $J_M = 0.1 \text{ kgm}^2$.

$$\text{Factor de duración del ciclo} = \frac{D + N}{D + N + R} \times 100 \%$$

S5 Servicio intermitente con arranque y frenado eléctrico

Secuencia de ciclos de servicio idénticos, en la que cada uno consta de un periodo de arranque significativo, un periodo de funcionamiento a carga constante y un periodo de reposo en estado desconectado. Los ciclos de servicio son demasiado cortos para alcanzar el equilibrio térmico. Para definir completamente el tipo de servicio son necesarios los siguientes parámetros: el factor de duración del ciclo, el número de ciclos de servicio por hora (c/h), el momento de inercia de la carga J_L y el momento de inercia del motor J_M .



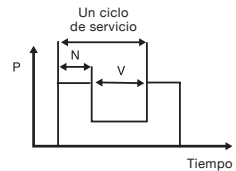
Para definir completamente el tipo de servicio son necesarios los siguientes parámetros: el factor de duración del ciclo, el número de ciclos de servicio por hora (c/h), el momento de inercia de la carga J_L y el momento de inercia del motor J_M .

Ejemplos de designación S5 40 % 120 c/h $J_L = 2.6 \text{ kgm}^2$ $J_M = 1.3 \text{ kgm}^2$.

$$\text{Factor de duración del ciclo} = \frac{D + N + F}{D + N + F + R} \times 100 \%$$

S6 Servicio periódico con funcionamiento ininterrumpido

Secuencia de ciclos de servicios idénticos, en la que cada uno de ellos consta de un periodo de carga constante y un periodo de operación en vacío. Los ciclos son demasiado cortos para alcanzar el equilibrio térmico.

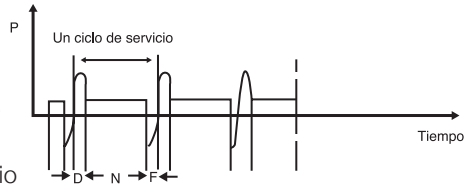


Los valores recomendados para el factor de duración del ciclo son 15, 25, 40 y 60%. La duración de un ciclo de servicio es de 10 minutos.

Ejemplo de designación: S6 40%. Factor de duración de ciclo = $100 \% \times \frac{N}{N + V}$

S7 Servicio periódico de funcionamiento continuo con frenado eléctrico

Secuencia de ciclos idénticos, en la que cada uno de ellos consta de un periodo de funcionamiento a carga constante y un periodo de frenado. El sistema de frenado es eléctrico; por ejemplo: frenado contracorriente. Los ciclos de servicio son demasiado cortos para alcanzar el equilibrio térmico.



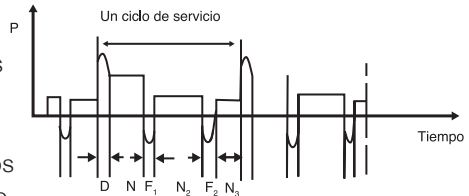
Para definir completamente el tipo de servicio

son necesarios los siguientes parámetros: el número de ciclos de servicio por hora (c/h), el momento de inercia de la carga J_L y el momento de inercia del motor J_M .

Ejemplo de designación S7 500 c/h $J_L = 0.08 \text{ kgm}^2$ $J_M = 0.08 \text{ kgm}^2$.

S8 Servicio periódico ininterrumpido con variaciones de carga y de velocidad

Secuencia de ciclos de servicio idénticos, en la que cada uno de ellos consta de un periodo de funcionamiento a carga constante que corresponde a una velocidad predeterminada y uno o más periodos de funcionamiento con diferentes cargas constantes correspondientes a velocidades distintas. No hay periodo de reposo en estado desconectado.



Los ciclos de servicio son demasiado cortos para alcanzar el equilibrio térmico. Este tipo

de servicio se utiliza, por ejemplo, en motores de polos conmutables.

Para definir completamente el tipo de servicio son necesarios los siguientes parámetros: el número de ciclos de servicio por hora (c/h), el momento de inercia de la carga J_L y el momento de inercia del motor J_M y la carga, la velocidad, y el factor de duración del ciclo para cada velocidad de rotación.

Ejemplo de designación S8 30 c/h $J_L = 63.8 \text{ kgm}^2$ $J_M = 2.2 \text{ kgm}^2$.

| | | |
|-------|------------|-----|
| 24 kW | 740 r/min | 30% |
| 60 kW | 1460 r/min | 30% |
| 45 kW | 980 r/min | 40% |

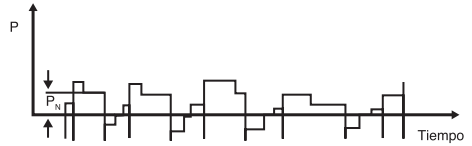
$$\text{Factor de duración cíclica 1} = \frac{D + N_1}{D + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \times 100 \%$$

$$\text{Factor de duración cíclica 2} = \frac{F_1 + N_2}{D + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \times 100 \%$$

$$\text{Factor de duración cíclica 3} = \frac{F_2 + N_3}{D + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \times 100 \%$$

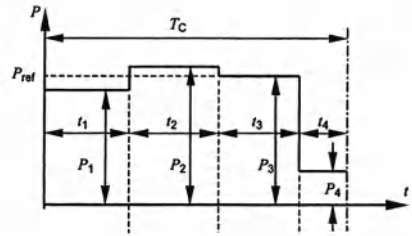
S9 Servicio con variaciones no periódicas de la carga y de la velocidad

Servicio en el cual, generalmente, la carga y la velocidad tienen una variación no periódica dentro del margen de funcionamiento permitido. Este servicio presenta con frecuencia sobrecargas que pueden exceder ampliamente los valores en plena carga. Para este tipo de servicio, en concepto de sobrecarga debería basarse en valores adecuados de plena carga.



S10 Servicio con cargas y velocidades constantes diferenciadas

Servicio que consta de un número específico de valores diferenciados de carga (o carga equivalente) o de velocidad si procede. Cada combinación de carga/velocidad se mantiene durante el tiempo suficiente para permitir que la máquina alcance el equilibrio térmico. La carga mínima en un ciclo de servicios puede tener valor 0 (en vacío o periodo de reposo en estado desconectado).



La abreviatura adecuada es S10, seguida de las cantidades $p\Delta t$ por unidad para la carga respectiva y su duración, y la cantidad T_L por unidad para la expectativa de vida térmica relativa del sistema de aislamiento. El valor de referencia para la expectativa de vida térmica se determina bajo el supuesto de un servicio en funcionamiento continuo y los límites permisibles de aumento de la temperatura, en el tipo de servicio S1. Para periodos de reposo en estado desconectado, la carga se indicará mediante la letra r.

Ejemplo: S10 $p\Delta t = 1.1/0.4; 1/0.3; 0.9/0.2; r/0.1 T_L = 0.6$

El valor de T_L debería redondearse al múltiplo más cercano 0.05.

Para este tipo de servicio debe tomarse como valor de referencia (en el gráfico P_{ref}) para las cargas determinadas una carga constante apropiadamente seleccionada, basada en el tipo de servicio S1.

Nota: Los valores determinados de carga deberán normalmente considerarse basados en su integración durante un cierto período de tiempo. No es necesario que cada ciclo de carga sea exactamente el mismo, basta con que cada carga dentro de un ciclo se mantenga durante el tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio térmico y que cada ciclo de carga se pueda integrar para ofrecer la misma expectativa de vida térmica relativa.

4.8 Incremento de potencia

Debido al menor aumento de la temperatura del motor en un período breve o en servicio intermitente, es generalmente posible exigirle una potencia más elevada en estos tipos de servicio que en el servicio continuo, S1. Las tablas que se exponen a continuación son un ejemplo de ello. Debe prestarse atención al par máximo del motor, T_{\max}/T_N que debe ser $>1,8$ con respecto al incremento del rendimiento.

| Servicio periodo breve S2 | Polos | Potencia permitida en % de la potencia nominal S1, servicio continuo para motores tamaño: | | |
|------------------------------|-------|--|-----------|-----------|
| | | 56 – 100 | 112 - 250 | 280 - 450 |
| 30 min | 2 | 105 | 125 | 130 |
| | 4 - 8 | 110 | 130 | 130 |
| 60 min | 2 - 8 | 100 | 110 | 115 |

Tabla 4.5 Potencia permitida en un breve periodo de servicio S2 en proporción de la potencia nominal

| Servicio intermitente S3 | Polos | Potencia permitida en % de la potencia nominal S1, servicio continuo para motores tamaño: | | |
|-----------------------------|-------|--|-----------|-----------|
| | | 56 – 100 | 112 - 250 | 280 - 450 |
| 15 % | 2 | 115 | 145 | 140 |
| | 4 | 140 | 145 | 140 |
| | 6, 8 | 140 | 140 | 140 |
| 25 % | 2 | 110 | 130 | 130 |
| | 4 | 130 | 130 | 130 |
| | 6, 8 | 135 | 125 | 130 |
| 40 % | 2 | 110 | 110 | 120 |
| | 4 | 120 | 110 | 120 |
| | 6, 8 | 125 | 108 | 120 |
| 60 % | 2 | 105 | 107 | 110 |
| | 4 | 110 | 107 | 110 |
| | 6, 8 | 115 | 105 | 110 |

Tabla 4.6 Potencia permitida en un servicio intermitente S3 en proporción de la potencia nominal

4.9 Eficiencia y tipos de pérdidas

La eficiencia de un motor es una medida de lo bien que este es capaz de convertir la energía eléctrica en trabajo mecánico. La energía perdida se emite en forma de

calor. Para aumentar la eficiencia, las pérdidas han de ser reducidas.

Las pérdidas del motor se pueden dividir en cinco categorías principales. Las dos primeras se clasifican como pérdidas en el vacío, ya que se mantienen constantes independientemente de la carga. La primera categoría son las pérdidas en el núcleo del hierro, la segunda las pérdidas por fricción. Las pérdidas de carga, que varían con la carga, son clasificadas en pérdidas en el cobre del estator, rotor y pérdidas adicionales. Todas las pérdidas pueden ser influenciadas por el diseño del motor y las soluciones constructivas.

Pérdidas en el vacío

Las pérdidas en el núcleo del hierro son causadas por la energía necesaria para superar la oposición a los cambios en los campos magnéticos en el material del núcleo. Estas pérdidas se pueden reducir mediante el uso de acero de mejor calidad y alargando el núcleo para reducir la densidad de flujo magnético.

Las pérdidas por fricción son causadas por la resistencia del aire y la fricción del rodamiento. Mejoras en el diseño y en la selección del rodamiento sellado, el flujo de aire y el diseño de ventilador afectan estas pérdidas. El ventilador debe ser suficientemente grande para proporcionar una refrigeración adecuada, pero no tanto como para reducir la eficiencia y aumentar el ruido. Para alcanzar un efecto de enfriamiento óptimo en cada motor ABB, los tamaños de palas y pasos varían en los diferentes modelos de ventiladores.

Pérdidas en carga

Las pérdidas de carga, pérdidas en el cobre del estator (también conocidos como pérdidas I^2R) son causadas por el calentamiento del flujo de corriente a través de la resistencia del devanado del estator. Las técnicas para reducir estas pérdidas incluyen la optimización del diseño de la ranura del estator.

Las pérdidas del rotor son causadas por las corrientes del rotor y las pérdidas del hierro. Estas pérdidas se reducen, por ejemplo, aumentando el tamaño de las barras conductoras y anillos de cortocircuito para producir menor resistencia. Las pérdidas adicionales son el resultado de los flujos de fuga inducida por las corrientes de carga. Estas pueden reducirse mediante la mejora de la geometría de la ranura.

También se han desarrollado motores de diseño completamente nuevos para aumentar la eficiencia más allá de los límites conocidos. El motor de reluctancia síncrono es un ejemplo de estos nuevos diseños.

Los valores de eficiencia de potencia nominal se enumeran en las tablas de datos técnicos en catálogos de productos de ABB.

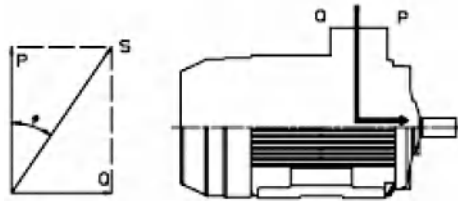
4.10 Factor de potencia

Un motor consume al mismo tiempo potencia activa, que se convierte en trabajo mecánico, y potencia reactiva necesaria para la magnetización, pero que no realiza ningún trabajo.

Juntas, la potencia activa y la reactiva, representadas en el diagrama (abajo) por P y Q, proporcionan la potencia aparente S. La relación entre la potencia activa, medida en kW, y la potencia aparente, medida en kVA, se conoce como el factor de potencia. Generalmente, el ángulo entre P y S se designa como φ . El factor de potencia equivale al $\cos \varphi$.

El factor de potencia se sitúa generalmente entre 0,7 y 0,9. En motores pequeños es inferior y en grandes motores, mayor.

El factor de potencia se determina midiendo la potencia absorbida, la tensión y la intensidad a la potencia nominal. El factor de potencia establecido está sujeto a una tolerancia de $(1 - \cos\varphi)/6$.



Si en una misma instalación existen varios motores, se consumirá una potencia reactiva elevada y, por lo tanto, el factor de potencia será menor. Por este motivo, los suministradores de potencia requieren a veces que se aumente el factor de potencia de una instalación. Esto se consigue conectando al suministro condensadores que generan potencia reactiva, aumentando en consecuencia el factor de potencia.

Compensación de potencia

Con la compensación de potencia, los condensadores se conectan generalmente en paralelo con el motor o con un grupo de motores. Un exceso de compensación puede sin embargo provocar, en algunos casos, que un motor de inducción se auto excite y funcione como si se tratase de un generador. Para evitar complicaciones, lo más usual es realizar una compensación no superior a la intensidad del motor en vacío.

Los condensadores no deben conectarse en paralelo con fases únicas del devanado, ya que este tipo de disposición puede hacer difícil o imposible que el motor lleve a cabo un arranque en estrella-triángulo.

Si un motor de dos velocidades con devanados independientes presenta una compensación de potencia en ambos devanados, los condensadores no deberían permanecer conectados con el devanado que no se utiliza.

En ciertas circunstancias, estos condensadores pueden provocar un aumento del calentamiento del devanado y posiblemente también vibración.

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular el tamaño (por fase) de un condensador para una frecuencia principal de 50 Hz:

$$C = 3.2 \cdot 10^6 \cdot \frac{Q}{U_2}$$

Donde C = capacitancia, μF
 U = tensión del condensador, V
 Q = potencia reactiva, kvar.

La potencia reactiva se obtiene mediante la fórmula:

$$Q = K \cdot P \frac{P}{\eta}$$

Donde K = constante de la tabla de la derecha
 P = potencia nominal del motor, kW
 η = rendimiento del motor

| cos φ sin compensación | Constante K Compensación al cos φ = | | | |
|--------------------------------------|--|-------|-------|-------|
| | 0.95 | 0.90 | 0.85 | 0.80 |
| 0.50 | 1.403 | 1.248 | 1.112 | 0.982 |
| 0.51 | 1.358 | 1.202 | 1.067 | 0.936 |
| 0.52 | 1.314 | 1.158 | 1.023 | 0.892 |
| 0.53 | 1.271 | 1.116 | 0.980 | 0.850 |
| 0.54 | 1.230 | 1.074 | 0.939 | 0.808 |
| 0.55 | 1.190 | 1.034 | 0.898 | 0.768 |
| 0.56 | 1.150 | 0.995 | 0.859 | 0.729 |
| 0.57 | 1.113 | 0.957 | 0.822 | 0.691 |
| 0.58 | 1.076 | 0.920 | 0.785 | 0.654 |
| 0.59 | 1.040 | 0.884 | 0.748 | 0.618 |
| 0.60 | 1.005 | 0.849 | 0.713 | 0.583 |
| 0.61 | 0.970 | 0.815 | 0.679 | 0.548 |
| 0.62 | 0.937 | 0.781 | 0.646 | 0.515 |
| 0.63 | 0.904 | 0.748 | 0.613 | 0.482 |
| 0.64 | 0.872 | 0.716 | 0.581 | 0.450 |
| 0.65 | 0.841 | 0.685 | 0.549 | 0.419 |
| 0.66 | 0.810 | 0.654 | 0.518 | 0.388 |
| 0.67 | 0.779 | 0.624 | 0.488 | 0.358 |
| 0.68 | 0.750 | 0.594 | 0.458 | 0.328 |
| 0.69 | 0.720 | 0.565 | 0.429 | 0.298 |
| 0.70 | 0.692 | 0.536 | 0.400 | 0.270 |
| 0.71 | 0.663 | 0.507 | 0.372 | 0.241 |
| 0.72 | 0.635 | 0.480 | 0.344 | 0.214 |
| 0.73 | 0.608 | 0.452 | 0.316 | 0.186 |
| 0.74 | 0.580 | 0.425 | 0.289 | 0.158 |
| 0.75 | 0.553 | 0.398 | 0.262 | 0.132 |
| 0.76 | 0.527 | 0.371 | 0.235 | 0.105 |
| 0.77 | 0.500 | 0.344 | 0.209 | 0.078 |
| 0.78 | 0.474 | 0.318 | 0.182 | 0.052 |
| 0.79 | 0.447 | 0.292 | 0.156 | 0.026 |
| 0.80 | 0.421 | 0.266 | 0.130 | |
| 0.81 | 0.395 | 0.240 | 0.104 | |
| 0.82 | 0.369 | 0.214 | 0.078 | |
| 0.83 | 0.343 | 0.188 | 0.052 | |
| 0.84 | 0.317 | 0.162 | 0.026 | |
| 0.85 | 0.291 | 0.135 | | |
| 0.86 | 0.265 | 0.109 | | |
| 0.87 | 0.238 | 0.082 | | |
| 0.88 | 0.211 | 0.055 | | |
| 0.89 | 0.184 | 0.027 | | |
| 0.90 | 0.156 | | | |

Tabla 4.7 Fase de compensación

Valores del factor de potencia

Los valores del factor de potencia para la potencia nominal están listados en las tablas de datos técnicos de nuestros catálogos de producto.

La tabla que aparece a continuación muestra los valores típicos. Bajo pedido, ABB puede suministrar los valores garantizados.

Tal como ilustra el ejemplo siguiente, un motor con un factor de potencia de 0.85 tiene a 3/4 de carga un valor de 0.81, a media carga un valor de 0.72 y a un cuarto de carga un valor de 0.54.

| Factor de potencia $\cos \varphi$ | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2 - 12 polos | | | | |
| $1.25 \times P_N$ | $1.00 \times P_N$ | $0.75 \times P_N$ | $0.50 \times P_N$ | $0.25 \times P_N$ |
| 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.84 | 0.68 |
| 0.91 | 0.91 | 0.89 | 0.83 | 0.66 |
| 0.90 | 0.90 | 0.88 | 0.82 | 0.64 |
| 0.89 | 0.89 | 0.87 | 0.81 | 0.62 |
| 0.88 | 0.88 | 0.86 | 0.80 | 0.60 |
| 0.88 | 0.87 | 0.84 | 0.76 | 0.58 |
| 0.87 | 0.86 | 0.82 | 0.73 | 0.56 |
| 0.86 | 0.85 | 0.81 | 0.72 | 0.54 |
| 0.85 | 0.84 | 0.80 | 0.71 | 0.52 |
| 0.84 | 0.83 | 0.78 | 0.70 | 0.50 |
| 0.84 | 0.82 | 0.76 | 0.66 | 0.46 |
| 0.84 | 0.81 | 0.74 | 0.63 | 0.43 |
| 0.83 | 0.80 | 0.73 | 0.60 | 0.40 |
| 0.82 | 0.79 | 0.72 | 0.59 | 0.38 |
| 0.82 | 0.78 | 0.71 | 0.58 | 0.36 |
| 0.81 | 0.77 | 0.69 | 0.55 | 0.36 |
| 0.81 | 0.76 | 0.68 | 0.54 | 0.34 |
| 0.80 | 0.75 | 0.67 | 0.53 | 0.34 |
| 0.79 | 0.74 | 0.66 | 0.52 | 0.32 |
| 0.78 | 0.73 | 0.65 | 0.51 | 0.32 |
| 0.78 | 0.72 | 0.62 | 0.48 | 0.30 |
| 0.78 | 0.71 | 0.61 | 0.47 | 0.30 |
| 0.77 | 0.70 | 0.60 | 0.46 | 0.30 |

Tabla 4.8 Factores de potencia para motores de inducción

4.11 Caudal y velocidad del aire

Cuando el motor se pide sin auto refrigeración, se debe prestar atención para garantizar una refrigeración suficiente por otros medios. El caudal y la velocidad del aire entre las aletas de la carcasa del motor deben cumplir como mínimo con los valores dados en la tabla siguiente. Los valores corresponden a la oferta de la red de 50 Hz; con 60 Hz de alimentación se necesita un incremento del 20%.

| Tamaño de eje | Polos | Velocidad m/s | Caudal m ³ /s | Tamaño de eje | Polos | Velocidad m/s | Caudal m ³ /s |
|---------------|-------|---------------|--------------------------|---------------|-------|---------------|--------------------------|
| 280 | 2 | 9.6 | 0.46 | 355 | 2 | 10 | 0.82 |
| | 4 | 8.5 | 0.39 | | 4 | 13 | 1.1 |
| | 6 | 6.5 | 0.32 | | 6 | 11.5 | 1.0 |
| | 8 | 7.6 | 0.36 | | 8 | 8.5 | 0.7 |
| 315 SM. ML | 2 | 8.3 | 0.46 | 400 | 2 | 15 | 1.4 |
| | 4 | 9.4 | 0.56 | | 4 | 13 | 1.25 |
| | 6 | 7.5 | 0.4 | | 6 | 11 | 1.1 |
| | 8 | 7.6 | 0.43 | | 8 | 8 | 0.8 |
| 315 LK | 2 | 7.8 | 0.47 | 450 | 2 | 15 | 2.0 |
| | 4 | 15 | 0.80 | | 4 | 15 | 2.0 |
| | 6 | 9.5 | 0.53 | | 6 | 13 | 1.7 |
| | 8 | 8.8 | 0.49 | | 8 | 10 | 1.25 |

Tabla 4.9 Flujo y velocidad del aire

4.12 Diagramas de conexión

Conexión de motores trifásicos de una velocidad

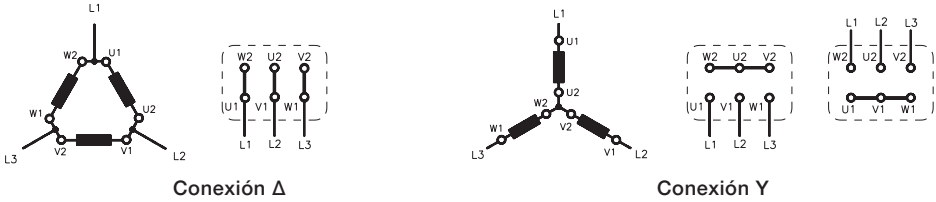


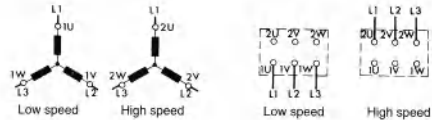
Figura 4.6 Conexión de motores trifásicos de una velocidad

Conexión de motores de dos velocidades

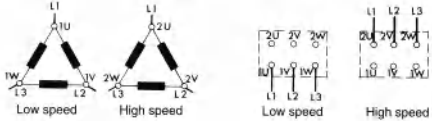
Generalmente, los motores de dos velocidades se conectan tal como se indica abajo y la dirección de rotación se comenta en el capítulo de Normas. Los motores de diseño normal tienen seis bornes y un terminal de conexión a tierra en la caja de bornes. Los motores con dos devanados separados se conectan generalmente en Δ-Δ. También se pueden conectar en Y/Y, Y/Δ o Δ/Y. Los motores con un devanado, conexión Dahlander, se conectan en Δ/YY cuando están diseñados para transmitir un par constante. Para accionamiento de ventiladores, la conexión es Y/YY.

Con cada motor se suministra un diagrama de conexión. Cuando se arranca un motor con conexión Y Δ, es necesario remitirse siempre al diagrama de conexión facilitado por el fabricante del arranque.

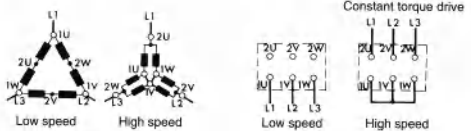
1. Dos devanados separados Y/Y



2. Dos devanados separados Δ/Δ



3. Conexión Dahlander Δ/YY



4. Conexión Dahlander Y/YY

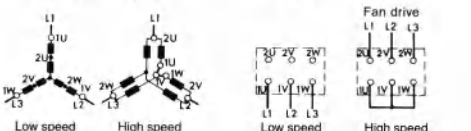


Figura 4.7 Opciones de conexión para motores de dos velocidades

5. Diseño mecánico

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5. | Diseño mecánico | 68 |
| 5.1 | Construcción del motor | 69 |
| 5.2 | Construcción de carcasa | 70 |
| 5.3 | Caja de bornes | 71 |
| 5.4 | Rodamientos | 73 |
| 5.5 | Agujeros de drenaje y humedad | 74 |
| 5.6 | Fuerzas radiales y axiales externas al motor | 75 |
| 5.7 | Equilibrado | 75 |
| 5.8 | Vibración | 76 |
| 5.9 | Tratamiento de la superficie | 77 |

Diseño mecánico

Este capítulo presenta las partes principales de un motor de inducción y el diseño mecánico de las piezas que son de mayor interés desde el punto de vista de uso del motor: la carcasa y caja de bornes, los rodamientos y los agujeros de drenaje.

También se comentan los conceptos básicos de las fuerzas radiales y axiales, así como las normas que definen los requisitos para el equilibrado del motor, medición de vibraciones y el tratamiento de superficies.

Diseño mecánico

5.1 Construcción del motor

El motor de inducción es un motor eléctrico que utiliza la energía eléctrica para inducir la rotación del rotor. Las partes principales del motor de inducción y sus funciones son las siguientes.

Estator – es la parte fija del motor que rodea el rotor. El estator consiste en cables de cobre (devanados) enrollados entre las ranuras en el estator para llevar la corriente de alimentación e inducir un campo magnético giratorio para interactuar con el rotor.

Rotor – es la parte del núcleo de rotación del motor fijado al eje. El rotor consiste en una pila de láminas de acero delgadas y una construcción de jaula de ardilla de barras conductoras que reaccionan con el campo magnético del motor y producen un par para girar el eje.

Eje – es la parte más interna de rotación del motor que transmite la potencia de rotación del rotor a la aplicación fijada al extremo de acople del motor.

Rodamiento – los rodamientos rodean el eje del motor en ambos extremos y reducen la fricción entre el bastidor del motor y el eje.

Carcasa – de hierro fundido o de aluminio que cubre partes del núcleo del motor y proporciona las conexiones eléctricas.

Extremo D – es el lado de accionamiento del motor.

Extremo N – es el lado contrario al accionamiento del motor.

A continuación se muestra una sección transversal de un motor de inducción trifásico y sus partes principales.

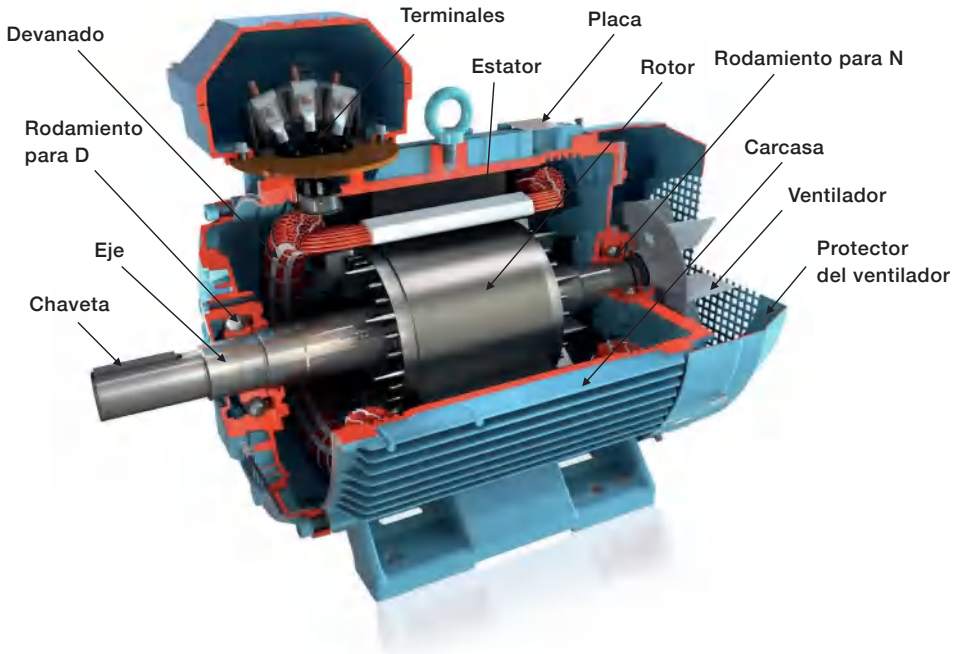


Figura 5.1 Sección transversal de un motor de inducción de hierro fundido

5.2 Construcción de la carcasa

Los motores totalmente cerrados se encuentran disponibles en diferentes carcasas de aluminio y fundición de hierro para distintos tipos de aplicación. Los motores de carcasa de hierro fundido se utilizan normalmente en la industria pesada donde se requiere una mejor durabilidad contra la corrosión y productos químicos, mientras que los motores con carcasa de aluminio son más adecuados para aplicaciones más ligeras, como las bombas y los ventiladores.

5.3 Caja de bornes

Las cajas de bornes se encuentran o bien en la parte superior del motor, o bien en cualquiera de los laterales del mismo. Los detalles técnicos pueden variar de un tipo a otro, y la información más reciente se puede encontrar en los catálogos de productos de referencia.

La caja de bornes de los motores de aluminio en los tamaños 56 a 180 se suministran con agujeros pretrouquelados, y los tamaños 200 a 250 poseen una caja de bornes con dos prensaestopas.

La caja de bornes de los motores de fundición de hierro de los tamaños 71 a 250 está equipada con tapas ciegas para botellas de conexión. Para los tamaños de 280 a 450, la caja de bornes está equipada con prensaestopas. (Figuras 5.2 y 5.3). Hay una amplia gama de prensaestopas disponibles como opciones, también equipados con módulos de filtrado y abrazaderas.

El material de la caja de bornes puede ser tanto de hierro fundido, como de aluminio, dependiendo del tipo del motor. La caja de bornes principal se puede fijar tanto en la parte superior, en los laterales o a 45 grados hacia el lado. También puede ser conectado al motor con cables extendidos denominados cables volantes. En cuanto a los accesorios como termistores o elementos de calefacción, una o más cajas de bornes auxiliares deben ser fijadas al motor. Las cajas de bornes de diseño no estándar tales como tamaño no estándar y distintos grados de protección están disponibles como opciones.

Un motor estándar generalmente tiene seis conexiones de fase y al menos una conexión de puesta a tierra (Figuras 5.4 y 5.5). Las piezas de conexión necesarias y el esquema de conexión se entregan junto con el motor, bajo la cubierta de la caja de terminales.



Figura 5.2 Breda de conexión con prensa estopas

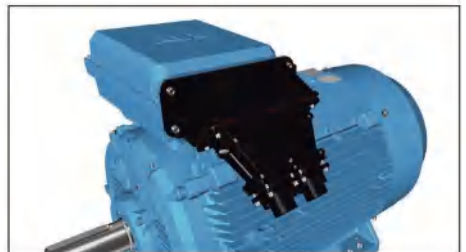
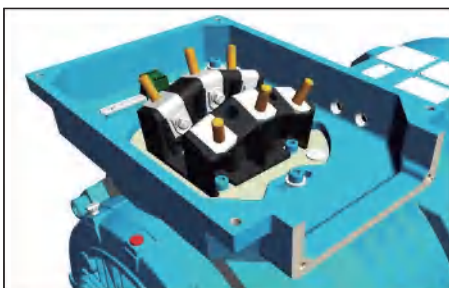
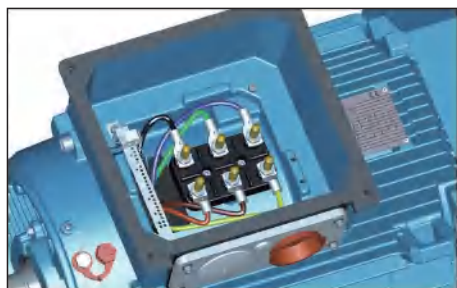


Figura 5.3 Adaptador de ángulo y botella



Figuras 5.4–5.5 Típica caja de bornes en motores de tamaños 71 a 250 (5.4) y 280 to 315 (5.5)

La caja de bornes de los motores de aluminio admite la entrada de cables por ambos lados. En los motores pequeños, la caja está integrada en la carcasa y tiene una brida ciega con agujeros pretroquelados en ambos lados. Los motores de aluminio más grandes están equipados con dos bridas de conexión en ambos lados. En los motores de hierro fundido de tamaño 71 – 132, la caja de bornes está integrada en la carcasa, con conexión en el lado derecho (visto desde el extremo D). Los tamaños 160 – 355 tienen una caja que puede rotar $4 \times 90^\circ$, y los tamaños 400 – 450 tienen la caja de bornes que puede rotar $2 \times 180^\circ$ para permitir la entrada de cable desde ambos lados del motor. La caja giratoria $4 \times 90^\circ$ está disponible como opción para varios tipos motores también.

El grado de protección estándar de la caja de bornes es IP 55.

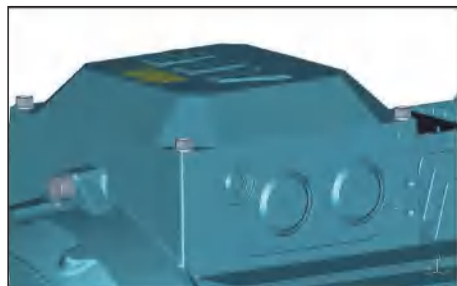


Figura 5.6 Caja de bornes integrada en la carcasa del motor

Para asegurarse que las conexiones adecuadas se suministran para la caja de bornes, véase el catálogo específico del producto para obtener información sobre las aperturas de brida, diámetros de cable, y así sucesivamente.

5.4 Rodamientos

Normalmente, los motores están equipados con rodamientos de una sola hilera de bolas de ranura profunda. La designación completa de los rodamientos se indica en la placa de características de la mayoría de motores.

Si el rodamiento del lado acople del motor se sustituye por un rodamiento de rodillos NU- o NJ-, se podrán soportar fuerzas radiales superiores. Los rodamientos de rodillos son especialmente adecuados para accionamientos por correas.

Cuando existen grandes fuerzas axiales, deberían usarse rodamientos de bolas de contacto angular. Esta versión se halla disponible bajo demanda. Al solicitar un motor con rodamientos de contacto angular, es necesario especificar el tipo de montaje y la dirección y magnitud de la fuerza axial.

Los rodamientos de contacto angular único son adecuados para motores montados horizontalmente donde puede haber pequeñas fuerzas axiales. Los rodamientos de bolas de doble contacto angular colocados espalda con espalda o cara a cara, se recomiendan en caso de que haya bajas fuerzas axiales en un motor montado horizontalmente, o si la dirección de la fuerza axial puede cambiar. Para detalles más específicos sobre los rodamientos, rogamos consulten los respectivos catálogos de producto.

Vida útil del rodamiento

La duración normal L_{10h} de un rodamiento se define, según ISO 281, como el número de horas de funcionamiento que el 90% de los rodamientos idénticos probados han alcanzado o excedido bajo ciertas condiciones predeterminadas. El 50% de los rodamientos tienen una duración de, como mínimo, cinco veces esa cifra.

La vida útil nominal es el tiempo de vida que el 90% de los rodamientos idénticos alcanzan o superan antes de que aparezcan los primeros signos de fatiga del material. Una capa de grasa suficiente en el interior del cojinete y el uso de una correcta aplicación son condiciones previas para una vida útil nominal. Por definición, el 10% de los rodamientos puede fallar antes de que alcancen la vida útil nominal. En consecuencia, la vida del rodamiento no se debe confundir con el periodo de garantía.

Los valores habituales para la vida del rodamiento de los motores estándar son 40.000h de transmisión por correa y 100.000h para acoplamiento directo.

Tamaño de rodamiento

La fiabilidad es el criterio principal a seguir para determinar el tamaño del rodamiento, teniendo en cuenta los tipos de aplicaciones más frecuentes, la carga y el tamaño del motor. ABB utiliza rodamientos de la serie 63, todos ellos de diseño robusto que ofrece una mayor duración y cargabilidad. Los rodamientos de la serie 62 presentan bajos niveles de ruido, velocidades máximas elevadas y bajas pérdidas.

Ver catálogos de productos y placas de características del motor para tipo exactos de rodamientos.

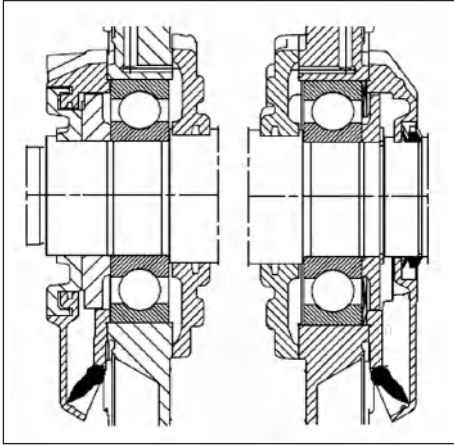


Figura 5.7 Disposiciones de rodamientos en los motores de hierro fundido para industria de proceso, tamaños 280 a 450

5.5 Agujeros de drenaje y humedad

La humedad absoluta es la cantidad de agua (g / m³) en un cierto volumen de aire. Su valor, llamado valor de saturación, aumenta cuando aumenta la temperatura.

La humedad relativa es la relación entre la humedad absoluta del aire y el valor de saturación a una cierta temperatura ambiente. Cuando el aire se enfría por debajo de la temperatura a la que se alcanza el punto de rocío (humedad relativa es del 100%), la condensación tiene lugar en las superficies frías.

La humedad es un riesgo no solo en la superficie externa del motor; también puede llevar a la corrosión interna. Los agujeros de drenaje permiten evacuar esta humedad.

Cuando las máquinas totalmente cerradas se calientan, el aire dentro de ellos se expande; cuando se enfría el volumen de aire disminuye. El aumento y disminución

de volumen dependen de la diferencia de temperatura con el ambiente. Cuando el motor se enfría, se puede aspirar partículas y humedad que pudieran dañar los rodamientos y el aislamiento. La ventaja de los agujeros de drenaje es que impiden la ventilación a través de los rodamientos y la caja de bornes. Los agujeros de drenaje pueden ser abiertos y cerrados con tapones de plástico.

Cuando la diferencia de temperatura con ambiente es alta, pueden ser necesarias resistencias calefactoras montadas en las cabezas de bobinado para evitar la corrosión de los devanados. Si se sospecha de humedad en el interior del motor, deben tomarse medidas especiales, como la medición de resistencia de aislamiento o secado en un horno, para evitar daños permanentes en el motor.

5.6 Fuerzas radiales y axiales externas al motor

Dependiendo de la finalidad de uso, y además del par de rotación que está siempre presente cuando funciona el motor, el extremo del eje puede ser afectado por fuerzas radiales o axiales externas. Las fuerzas radiales son aquellas que son perpendiculares al eje, mientras que las fuerzas axiales son lineales con el eje. En el extremo del eje también se pueden dar las dos fuerzas al mismo tiempo. Las fuerzas radiales y axiales máximas se dan en los catálogos de productos por cada tipo de motor en Newtons. En caso de fuerzas radiales, es esencial conocer la posición exacta de la carga en la extensión del eje. Si la extensión del eje se viera afectada simultáneamente por ambas fuerzas radiales y axiales, la capacidad de carga del motor debe comprobarse caso por caso con ABB.

5.7 Equilibrado

El rotor está equilibrado dinámicamente en la chaveta del extremo del eje con media chaveta (equilibrado con media chaveta) de acuerdo a la norma ISO 8821. El equilibrado con chaveta entera o sin chaveta también están disponibles bajo petición. Por defecto, los motores de ABB están equilibrados a G2.5 de acuerdo a la norma ISO 1940/1. El equilibrado de grado G1 está disponible bajo pedido. Cuando el motor se pide con mayor clase de vibración B (ver la vibración), el grado de equilibrio del rotor es G1 por defecto.

Hay dos posibilidades para el control de calidad de equilibrado: retirar el rotor del motor y colocarlo sobre una máquina de equilibrado, o control mediante herramienta de medición de vibraciones. Este último se puede hacer de la siguiente manera: levantar el motor con un cáncamo de elevación y dejarlo colgando, o colocarlo de pie en goma blanda, por ejemplo. Haga funcionar el motor a velocidad nominal y comprobar el nivel de vibraciones. El nivel de vibración medido debe ser inferior a 1,5 mm/s (rms) para un motor nuevo.

5.8 Vibración



Figura 5.8 Test de vibración

Los valores eficaces (raíz cuadrados medios, rms) de la velocidad de vibración se definen en la norma IEC 60034-14 estándar (ver Tabla 5.1). Los requisitos se aplican en todo el rango de medición de 10 a 1000 Hz. El propósito de esta norma es medir el comportamiento de vibración de una máquina por sí sola sin carga, en condiciones definidas de una manera reproducible y comparable, el motor colocado en montaje elástico. Sin embargo, aunque la intensidad de vibración depende del grado de equilibrado utilizado, también depende esencialmente de las propiedades de acoplamiento a la máquina accionada y piezas de acoplamiento utilizados.

Algunos posibles orígenes de vibración severa de los motores acoplados pueden ser equilibrados incorrectos (media chaveta/ chaveta entera), la alineación inexacta del motor con la máquina acoplada, y la resonancia del sistema (motor y anclajes). Los motores ABB cumplen grado el nivel A de vibración de forma predeterminada. Vibración expresada en mm/s rms.

| Grado de vibración | Tamaño de eje montaje | $56 \leq H \leq 132$ | | | $132 < H \leq 280$ | | | $H > 280$ | | |
|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------|---------------------|------------------------|-----------|---------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| | | Displac. μm | Vel. mm/s | Acc. m/s^2 | Displac. μm | Vel. mm/s | Acc. m/s^2 | Displac. μm | Vel. mm/s | Acc. m/s^2 |
| A | Montaje rígido | 25 | 1.6 | 2.5 | 35 | 2.2 | 3.5 | 45 | 2.8 | 4.4 |
| | Suspensión libre | 21 | 1.3 | 2.0 | 29 | 1.8 | 2.8 | 37 | 2.3 | 3.6 |
| B | Suspensión libre | 11 | 0.7 | 1.1 | 18 | 1.1 | 1.7 | 29 | 1.8 | 2.8 |
| | Montaje rígido | - | - | - | 14 | 0.9 | 1.4 | 24 | 1.5 | 2.4 |

Tabla 5.1 Límites de la magnitud de vibración máxima en desplazamiento, velocidad y aceleración (rms) para altura de eje H

5.9 Tratamiento de la superficie

La categorización del tratamiento superficial de los motores de ABB se basa en la norma ISO 12944. La ISO 1994-5 divide la durabilidad del sistema de pintura en tres categorías: baja (L), media (M) y alta (H). Las poco durables corresponden a una vida de 2-5 años, los de media de 5-15 años y la de alta durabilidad a más de 15 años.

El rango de durabilidad no es una vida útil garantizada. Su propósito es ayudar al propietario a planificar intervalos de mantenimiento adecuados para el motor. Un mantenimiento más frecuente puede ser necesario debido a la decoloración, contaminación, desgaste u otras razones.

El tratamiento de la superficie estándar de ABB está en la categoría de corrosividad C3, durabilidad M (que corresponde a la corrosividad y durabilidad medias). El tratamiento superficial especial está disponible en las categorías de corrosividad.

Las C4 y C5-M, son de durabilidad de clase M. Consulte la tabla siguiente para obtener más detalles. Además, el tratamiento superficial de acuerdo con la norma NORSOK para entornos en alta mar está disponible como opción.

La pintura de acabado es de color azul, código color Munsell 8B 4.5/3.25.

| Categoría de corrosividad | Atmósferas exteriores | Atmósferas interiores | Uso en motores ABB |
|------------------------------------|--|---|---|
| C1, muy baja | No usado | Edificios climatizados con atmósferas limpias | No disponible |
| C2, baja | Atmósferas con bajo nivel de contaminación, zonas principalmente rurales. | Edificios no climatizados donde puede hacer condensación, tales como depósitos y pabellones deportivos. | No disponible |
| C3, media | Atmósferas urbanas e industriales, contaminación moderada de dióxido de azufre. Zonas costeras con baja salinidad. | Salas de producción con alta humedad y bajo nivel de contaminación del aire; plantas de procesamiento de alimentos, lavanderías, fábricas de cerveza, industrias, destilerías, lácteas. | Tratamiento estándar |
| C4, alta | Zonas industriales y costeras con salinidad moderada. | Plantas químicas, piscinas y astilleros. | Tratamiento opcional, Código variante 115 |
| C5-I, muy alta (industrial) | Zonas industriales y costeras con alta humedad y atmósfera agresiva. | Edificios o áreas con condensación casi permanente y elevada contaminación. | No disponible |
| C5 -M, muy alta (marina) | Zonas costeras y alta mar, alta salinidad. | Edificios o áreas con condensación casi permanente y elevada contaminación. | Tratamiento opcional, Código variante 754 |

Tabla 5.2 Categorías de corrosividad de la atmósfera y entorno recomendado

6. Ruido

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 6. | Ruido | 80 |
| 6.1 | Nivel de presión sonora y nivel de potencia sonora | 81 |
| 6.2 | Filtros de medición | 82 |
| 6.3 | Bandas de octava | 83 |
| 6.4 | Fuentes de sonido adicionales | 84 |
| 6.5 | Componentes de ruido de un motor | 85 |
| 6.6 | Ruido propagado por el aire y por la estructura | 87 |
| 6.7 | Niveles de presión de sonido | 88 |

Ruido

Actualmente el ruido está sujeto a estrictas regulaciones, con niveles máximos permitidos. En consecuencia, ABB adopta la reducción del nivel de ruido como uno de los principales criterios de diseño en el desarrollo de nuestros motores.

Ruido

6.1 Nivel de presión sonora y nivel de potencia sonora

El sonido equivale a ondas de presión enviadas por un objeto a través del medio (generalmente el aire) en el que se encuentra. Durante una prueba de ruido, la presión sonora se mide en dB. La diferencia entre la presión sonora detectable para el oído y el umbral del dolor humano es de 1:10 000 000. Dado que la diferencia de presión es tan grande y que la diferencia de 10 dB que percibimos es como el doble del nivel sonoro, se utiliza una escala logarítmica, en la que:

$$\text{Nivel de presión sonora } L_p = 10 \log \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \right] \text{ [dB]}$$

$p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ es el umbral de audición para una persona

p = presión medida [Pa]

La presión sonora se mide en una sala de pruebas para eliminar el ruido reflejado y las fuentes externas. Se coloca un micrófono en varios puntos a un metro del motor para medir el sonido desde distintas direcciones. Por lo general, la distancia del micrófono a la superficie del motor es de un metro. Como el nivel de ruido varía en distintas direcciones debido a la influencia de las fuentes, se aplica una tolerancia de 3 dB (A) para el nivel medio de presión sonora.

La información sobre el nivel de presión sonora sólo tiene sentido si se establece la distancia desde la fuente sonora. Por ejemplo, 80 dB (A) a una distancia de un metro desde una fuente sonora corresponde a 70 dB (A) a tres metros de la fuente.

El nivel sonoro medio (L_p) puede ser convertido en potencia radiada desde la fuente sonora para determinar el nivel de potencia sonora (L_w). La fórmula para ello es: $L_w = L_p + L_s$ (L_s se calcula desde la superficie a medir, según DIN). Por lo tanto, el nivel de potencia acústica es generalmente un número mayor que el nivel de presión sonora correspondiente. Se debe tener cuidado de no confundir las cantidades.

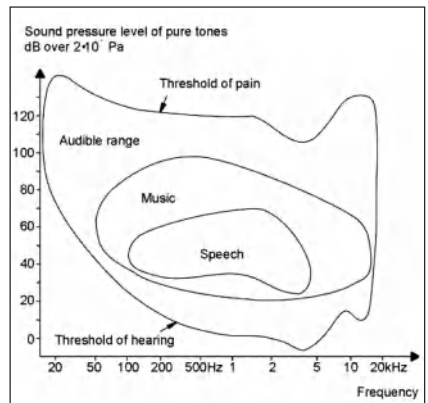


Figura 6.1 Rango de audición humana

El uso de potencia de sonido en lugar de presión de sonido, para describir la emisión de ruido de un motor es debido a que la presión de sonido es una función de la distancia y los factores ambientales (reflexiones), y, en cambio, la potencia de sonido es fija. Existe una analogía con radiador de calefacción: si se usa un calentador eléctrico de 1000 W para calentar una habitación, la temperatura final de la sala depende del aislamiento de las paredes, tamaño de la habitación, etc. Aquí la temperatura es análoga a la presión sonora.

6.2 Filtros de medición

Para medir el sonido compuesto, se utilizan amplificadores y distintos filtros. Detrás de los resultados en dB medidos de esta forma se les añade (A), (B) o (C), dependiendo del filtro usado. Normalmente sólo se da el resultado en dB (A), el cual corresponde al más próximo a la percepción auditiva.

Los filtros dejan pasar toda la gama de frecuencias, pero atenúan o amplifican algunas de sus partes. Las características del filtro corresponden a las curvas estilizadas de 40, 70 y 100 phons para los tonos puros.

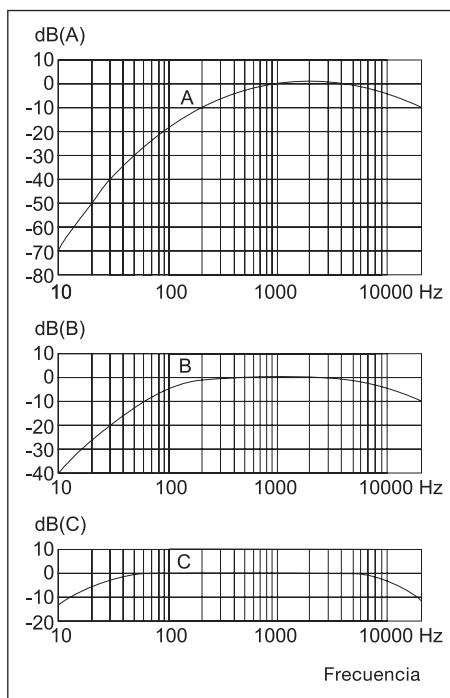


Figura 6.2 Filtro característica para mediciones A-, B-, y C-

6.3 Bandas de octavas

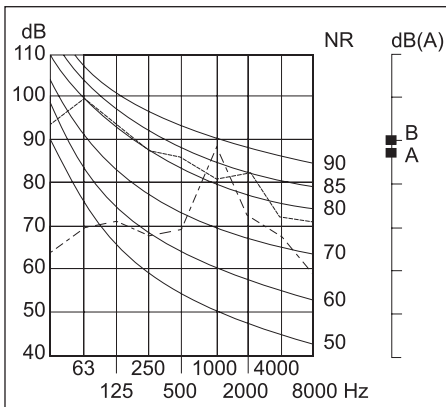
El nivel de presión sonora medio se mide con un filtro de banda ancha que cubre toda la banda de frecuencias. También se puede hacer la medición con un filtro de banda estrecha para definir el nivel de ruido por banda de octava (banda de frecuencia), dado que la percepción del oído humano depende de la banda de octava.

Análisis de bandas de octavas

Para hacerse una idea del carácter del sonido compuesto, es muy práctico dividir la gama de frecuencia en bandas de octavas en una proporción de 1:2 entre las frecuencias límites de bandas. Generalmente la gama de frecuencia se refiere a la frecuencia media de la banda. Las cifras en dB medidas para todas las bandas de octavas, los niveles de bandas de octavas, se muestran generalmente en forma de un diagrama de banda de octavas.

Siguiendo la ISO se ha desarrollado un sistema de determinación de curvas de ruido, conocido como curvas NR, para expresar el grado subjetivo de molestia producido por los distintos ruidos. El propósito de estas curvas es determinar el riesgo de daño al oído. También existen otros sistemas similares. Los números de las curvas NR representan el grado de ruido.

Para la banda de octavas con una frecuencia media de 1000 Hz, el número equivale al nivel de presión sonora en dB. La curva NR que toca la curva de ruido del motor en cuestión determina el nivel de ruido del motor. La tabla que aparece a continuación ilustra la utilización del nivel de ruido y muestra hasta cuánto tiempo puede permanecer una persona en un ambiente ruidoso sin sufrir un daño auditivo permanente.



- A — Sin riesgo de daño auditivo. La curva NR 85 toca la curva de ruido del motor. El nivel de ruido es de 88dB (A).
- B - - - - Riesgo de daño auditivo. La curva NR 88 toca la curva de ruido del motor. El nivel de ruido es de 90dB (A).

| NR | Tiempo por día |
|-----|----------------|
| 85 | > 5 horas |
| 90 | = 5 horas |
| 95 | = 2 horas |
| 105 | < 20 minutos |
| 120 | < 5 minutos |

Figura 6.3 Determinación de curvas de ruido (NR)

6.4 Fuentes de sonido adicionales

Percepción de diferencias en el nivel de sonido

Una diferencia de 1 dB en nivel de sonido es apenas perceptible, mientras que una diferencia de 10 dB se percibe como el doble o la mitad del nivel de intensidad sonora.

La tabla ilustra el nivel de presión sonora cuando existen distintas fuentes de sonido. El diagrama A muestra que, por ejemplo, el nivel de presión sonora aumentará en 3 dB si se suman dos fuentes de nivel de sonido idénticas. El diagrama B muestra como el nivel de presión sonora varía cuando las fuentes de sonido tienen distintos niveles de presión.

No obstante, antes de añadir o sustraer valores logarítmicos es necesario convertirlos en números absolutos. Una manera sencilla de añadir o sustraer fuentes de sonido es utilizando los diagramas que aparecen a continuación:

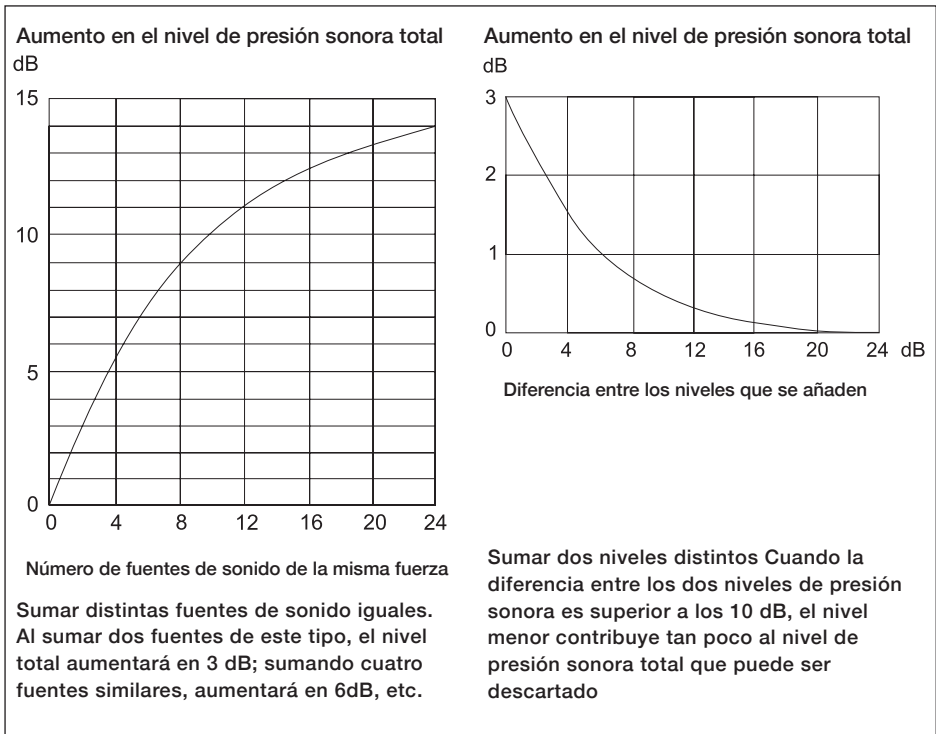


Figura 6.4 Efecto de las fuentes de sonido en el nivel de presión sonora total

6.5 Componentes de ruido de un motor

La emisión total de energía de sonido de un motor puede ser considerada como una combinación de tres fuentes de ruido no correlacionadas actuando juntas. Estas fuentes son las fuentes de ruido magnético, de refrigeración, y mecánicos o rotativos. El ruido magnético resulta de las variaciones temporales y espaciales de la distribución de la fuerza magnética en el entrehierro. El ventilador para refrigerar el motor genera la mayor parte del ruido de refrigeración. El ruido mecánico se genera cuando 1) el rotor gira en una cavidad que tiene obstáculos y discontinuidades, y 2) la interacción del eje y los rodamientos. La magnitud de cada fuente depende del tipo de motor. Los principales factores que afectan a cada una de las fuentes en un motor son:

Ruido magnético P_{magn} [W]

- carga en el eje
- tensión, intensidad, frecuencia, y tipo de alimentación
- parámetros de bobinado
- geometría de la ranura
- saturación, excentricidad, etc.

Ruido de refrigeración P_{cool} [W]

- tipo de ventilador; axial, radial, o de flujo mixto
- velocidad de rotación y diámetro del ventilador
- velocidad del flujo del aire
- método de enfriamiento; cerrado vs. abierto, agua vs. aire

Ruido mecánico o rotacional P_{rot} [W]

- tipo de refrigeración: cerrada o abierta
- tipo de rodamientos
- velocidad

El nivel de potencia acústica total L_{Wtot} de una máquina eléctrica en decibelios se puede expresar como:

$$L_{\text{Wtot}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{magn}} + P_{\text{cool}} + P_{\text{rot}}}{P_{\text{ref}}} \right)$$

Aquí $P_{\text{ref}} = 1 \text{ pW}$ es la potencia de sonido de referencia. La ecuación muestra que el nivel total de potencia acústica de una máquina eléctrica es el resultado de todas las fuentes.

La ecuación es útil para considerar la reducción de la potencia acústica total de una máquina eléctrica. Las medidas de reducción primero se deben aplicar a la fuente más dominante. Los siguientes ejemplos aclaran este concepto:

- Para un motor de dos polos refrigerado directamente, el ruido de refrigeración produce 99% de la potencia total del sonido, lo que significa que ni la carga ni la alimentación del convertidor incrementarán el nivel total de potencia acústica de la máquina.
- Para una máquina de 8 polos totalmente cerrada con refrigeración por agua, el ruido magnético domina la salida de ruido total y, por tanto, la carga y/o la alimentación del convertidor aumentará el nivel de potencia de sonido hasta cierto punto.
- Con alimentación sinusoidal, la carga de la máquina puede aumentar el ruido magnético significativamente, pero con el suministro de convertidor de frecuencia, el aumento del ruido de la salida es generalmente mucho más pequeño.
- El ruido de refrigeración puede reducirse optimizando el diseño del ventilador. Del mismo modo, la reducción del diámetro del ventilador implicaría un aumento del rendimiento del mismo. Sin embargo, el ventilador debe ser suficientemente grande para generar suficiente caudal de aire para garantizar una refrigeración adecuada del motor.
- El nivel de ruido de los motores más grandes puede reducirse mediante la instalación de un silenciador. En motores grandes de 2 polos, se puede utilizar un ventilador unidireccional que gira en una sola dirección y así genera menos ruido.
- En el caso de motor accionado por convertidor PWM, el ruido del motor producido en ciertas bandas de octava puede cambiar considerablemente dependiendo de la frecuencia de conmutación del convertidor. El convertidor no produce tensión sinusoidal. Sin embargo, como los convertidores ABB Control Directo de Par no tienen una frecuencia de conmutación fija, el nivel de ruido es menor de lo que sería con un convertidor de frecuencia de conmutación fija utilizado con el mismo motor.

6.6 Ruido propagado por el aire y por la estructura

El ruido puede propagarse de dos maneras. El ruido propagado por el aire es el que produce el ventilador; el ruido propagado por la estructura es el generado por los rodamientos y por el ruido magnético, al vibrar la carcasa del motor, los anclajes, las paredes y cualquier tipo de conducción.

Ruido propagado por el aire

Dependiendo de la aplicación, el ruido propagado por el aire puede reducirse por medio de un silenciador o mediante un ventilador unidireccional.

Ruido propagado por la estructura

Un método efectivo para eliminar el ruido propagado por la estructura es el cuidadoso montaje de unos amortiguadores de vibración debidamente dimensionados. Sin embargo, elegir arbitrariamente los amortiguadores de vibración puede empeorar el problema del ruido.

6.7 Niveles de presión de sonido

Las siguientes tablas presentan los niveles de presión de sonido de los motores de Proceso para una red de 400V, a 50 Hz conectados directamente a la red. Seguimos usando la presión de sonido para describir los niveles de ruido en motores de baja tensión, ya que gran parte de los datos de referencia utilizan la misma medida.

Para convertir el nivel de presión sonora en potencia sonora de forma aproximada, simplemente añada el valor de referencia en la última columna al valor de presión sonora determinada. Ambas cantidades se indican en decibelios. Los valores de conversión indicados son sólo aproximados y pueden variar también en función de la longitud y el tipo del motor.

| Tamaño | 2 polos | 4 polos | 6 polos | 8 polos | Añadir para tener la potencia acústica |
|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| carcasa | dB(A) | dB(A) | dB(A) | dB(A) | |
| 63 | 54 | 40 | 38 | 32 | 5 |
| 71 | 58 | 45 | 42 | 43 | 6 |
| 80 | 60 | 50 | 47 | 50 | 6 |
| 90 | 63 | 50 | 44 | 52 | 7 |
| 100 | 62 | 63 | 49 | 53 | 7 |
| 112 | 68 | 64 | 56 | 55 | 8 |
| 132 | 73 | 66 | 61 | 58 | 8 |
| 160 | 69 | 65 | 59 | 59 | 9 |
| 180 | 69 | 62 | 59 | 59 | 9 |
| 200 | 72 | 63 | 63 | 68 | 10 |
| 225 | 74 | 66 | 63 | 60 | 10 |
| 250 | 75 | 67 | 63 | 63 | 11 |
| 280 | 75 | 67 | 63 | 63 | 11 |

Tabla 6.1 Nivel de presión Sonora para motores de aluminio y acero

| Tamaño | 2 polos | 4 polos | 6 polos | 8 polos | Añadir para tener la potencia acústica |
|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| carcasa | dB(A) | dB(A) | dB(A) | dB(A) | |
| 71 | 58 | 45 | 42 | 43 | 6 |
| 80 | 60 | 50 | 47 | 50 | 6 |
| 90 | 69 | 56 | 44 | 53 | 7 |
| 100 | 68 | 58 | 49 | 53 | 7 |
| 112 | 70 | 59 | 66 | 55 | 8 |
| 132 | 70 | 67 | 57 | 58 | 8 |
| 160 | 69 | 62 | 59 | 59 | 9 |
| 180 | 69 | 62 | 59 | 59 | 9 |
| 200 | 72 | 63 | 63 | 60 | 10 |
| 225 | 74 | 66 | 63 | 63 | 10 |
| 250 | 75 | 67 | 66 | 65 | 11 |
| 280 | 77 | 75 | 70 | 72 | 12 |
| 315 | 78 | 78 | 70 | 72 | 13 |
| 355 | 83 | 78 | 75 | 75 | 14 |
| 400 | 82 | 78 | 77 | 71 | 15 |
| 450 | 85 | 85 | 81 | 80 | 15 |

Tabla 6.2 Nivel de presión Sonora para motores de fundición de hierro

7. Instalación y mantenimiento

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7. | Instalación y mantenimiento | 90 |
| 7.1 | Aceptación de la entrega | 91 |
| 7.2 | Comprobación de la resistencia de aislamiento | 91 |
| 7.3 | Par en los bornes | 92 |
| 7.4 | Utilización | 92 |
| 7.5 | Manipulación | 93 |
| 7.6 | Anclajes | 94 |
| 7.7 | Alineamiento del acople | 95 |
| 7.7.1 | Montaje de poleas y acoplamiento | 96 |
| 7.8 | Railes tensores | 97 |
| 7.9 | Montaje de rodamientos | 98 |
| 7.10 | Engrase | 98 |
| 7.11 | Guía de nivel de fusibles | 99 |

Instalación y mantenimiento

Es muy importante proceder a la instalación y mantenimiento del motor de acuerdo a las instrucciones que se adjuntan en su entrega. Las instrucciones de instalación y de mantenimiento de este capítulo solo son una guía general.

Instalación y mantenimiento

7.1 Aceptación de la entrega

1. Cuando se haya entregado, inspeccione el equipo por si hubiera daños en el transporte. Si se encuentra algún daño, informe al transportista inmediatamente.
2. Compruebe todos los datos de la placa de características, especialmente la tensión y la conexión de bobinado (Y o Δ).
3. Retire el bloqueo para transporte, si existe, y haga girar el eje con la mano para comprobar que lo hace sin dificultades.

7.2 Comprobación de la resistencia de aislamiento

Antes de poner en servicio el motor o cuando se crea que existe humedad en el devanado, mida la resistencia de aislamiento.

La resistencia, corregida a 25 °C, deberá exceder el valor de referencia, es decir: 10 M Ω (medido con 500 V o 1000 V DC). El valor de referencia de la resistencia de aislamiento debe reducirse a la mitad por cada 20 °C de aumento de la temperatura ambiente.



ATENCIÓN: *Los devanados deben ser descargados inmediatamente después de la medición para evitar riesgos de descarga eléctrica.*

Si no se alcanza el valor de la resistencia de referencia, el devanado está demasiado húmedo y debe secarse al horno, a 90 °C durante 12-16 horas y, acto seguido, a 105 °C durante 6-8 horas. Nota: los tapones de drenaje, si los hay, deben siempre retirarse antes del secado al horno.

Si la humedad es causada por agua marina, normalmente debe bobinarse de nuevo el devanado.

7.3 Par en los bornes

Las siguientes indicaciones son sólo una guía. El material de la carcasa y el tratamiento de la superficie afectan al par de apriete de los tornillos.

| Hilo | 4.60 Nm | 6.8 Nm | 8.8 Nm | 10.9 Nm | 12.9 Nm |
|------|---------|--------|--------|---------|---------|
| M2.5 | 0.24 | - | - | - | - |
| M3 | 0.42 | - | - | - | - |
| M5 | 2 | 4 | 5 | 8 | 9 |
| M6 | 3 | 7 | 9 | 13 | 15 |
| M8 | 8 | 16 | 21 | 33 | 37 |
| M10 | 16 | 32 | 43 | 63 | 73 |
| M12 | 27 | 55 | 73 | 108 | 126 |
| M14 | 44 | 88 | 117 | 172 | 200 |
| M16 | 67 | 134 | 180 | 264 | 309 |
| M20 | 130 | 262 | 363 | 517 | 605 |
| M22 | 176 | 353 | 495 | 704 | 824 |
| M24 | 226 | 450 | 625 | 890 | 1040 |
| M27 | 330 | 660 | 915 | 1300 | 1530 |
| M30 | 450 | 900 | 1250 | 1780 | 2080 |
| M33 | 610 | - | - | - | - |
| M36 | 780 | - | - | - | - |

Tabla 7.1 Par de apriete para tornillos y tuercas de acero

7.4 Utilización

Condiciones de trabajo

Los motores de baja tensión están diseñados para ser utilizados en aplicaciones industriales bajo las siguientes condiciones.

- La gama de temperaturas ambiente normales es de - 20 °C to + 40 °C
- La altitud máxima es de 1,000 m sobre el nivel del mar
- La tolerancia para la tensión de alimentación es de ± 5 % y para la frecuencia de ± 2 % según la EN/IEC 600034-1 (2004).

Seguridad

Todos los motores deben ser instalados y manejados por personal cualificado, familiarizado con todos los requisitos de seguridad y salud relevantes y la legislación local. Las medidas de seguridad y el equipo de prevención de accidentes requerido por las normas locales de seguridad y salud deben hallarse siempre presentes en los lugares de montaje y de funcionamiento.



ATENCIÓN

Los motores pequeños conectados directamente a interruptores térmicos pueden arrancar automáticamente.

Prevención de accidentes

Nunca suba encima de un motor. Para evitar quemaduras, nunca debe tocarse la cubierta externa durante el funcionamiento del motor. Es posible que en algunos casos existan instrucciones especiales para ciertas aplicaciones de los motores.

7.5 Manipulación

Almacenamiento

- Los motores deben almacenarse siempre en seco, en un ambiente sin vibraciones ni polvo.
- Las superficies mecanizadas sin protección (salidas de eje y bridas) requieren ser tratadas con un anticorrosivo.
- Se recomienda hacer girar los ejes periódicamente con la mano para evitar pérdidas de grasa.
- Es preferible que las resistencias calefactoras, si existen, estén conectadas.
- Las características de los condensadores electrolíticos para motores monofásicos, si existen, precisan una revisión en caso de que se almacenen durante más de 12 meses.

Transporte

Los motores equipados con rodamientos de rodillos cilíndricos y/o rodamientos de contacto angular deben ir bloqueados durante el transporte.

Peso del motor

El peso total y el centro de gravedad de los motores con el mismo tamaño de carcasa pueden variar según la potencia, la disposición de montaje y los elementos auxiliares añadidos. En la placa de características de cada motor se marca el peso del mismo.

7.6 Anclajes

Los clientes son responsables de preparar el anclaje para los motores.

El anclaje debe ser liso, plano y, si es posible, sin vibraciones. Se recomienda por tanto un anclaje de cemento. Si se utiliza un anclaje de metal, éste debería tratarse con un anticorrosivo.

El anclaje debe ser lo suficientemente firme como para soportar las fuerzas que puedan producirse en caso de un cortocircuito trifásico. El par de cortocircuito es básicamente una oscilación sinusoidal amortiguada y, por lo tanto, puede presentar tanto valores positivos como negativos. El esfuerzo sobre el anclaje puede calcularse con la ayuda de las tablas de datos del catálogo del motor y mediante la fórmula siguiente.

$$F = 0.5 \times g \times m + \frac{4 \times T_{\max}}{A}$$

Donde F = esfuerzo por lado, N

g = aceleración gravitacional, 9.81 m/s²

m = peso del motor, kg

T_{max} = par máximo, Nm

A = distancia lateral entre los agujeros en las patas del motor, m.

La dimensión A se toma del dibujo acotado, expresada en milímetros.

Es conveniente dimensionar los anclajes para disponer un espacio de resonancia suficientemente grande entre la frecuencia natural de la instalación y cualquier frecuencia de interferencia.

Pernos de anclaje

El motor debe quedar asegurado con pernos de anclaje o con una placa base. Los motores para accionamiento de correas deberían montarse sobre raíles tensores.

Los pernos de anclaje deben atornillarse a las patas del motor, una vez se han insertado los tornillos en los agujeros taladrados al efecto. Los pernos deben sujetarse a las patas correspondientes con una galga de 1-2 mm entre el perno y la pata; véanse las marcas en los pernos y en las patas del estator. Coloque el motor sobre los cimientos y alinee el acople. Compruebe, con un nivel, que el eje se halle horizontal. La altura de la carcasa del estator puede ajustarse con tornillos o con galgas. Cuando esté bien seguro de que el alineamiento es correcto, fije los bloques.

7.7 Alineamiento de acople

Los motores deben alinearse siempre con precisión. Esto es especialmente importante cuando se trata de motores con acople directo. Un alineamiento incorrecto puede conducir a un fallo del rodamiento, a vibraciones e incluso a la rotura del eje. En caso de un fallo del rodamiento o si se detectan vibraciones, debe comprobarse inmediatamente el alineamiento.

La mejor forma de conseguir un alineamiento correcto es montando un par de comparadores como muestra el dibujo (pág. 96). Los comparadores se colocan en medio acople e indican la diferencia entre las mitades del acople, tanto axial como radialmente. Haciendo girar lentamente los ejes y observando al mismo tiempo la lectura del comparador, se obtiene una indicación de los ajustes que se deben realizar. Las mitades de los acoples deben ajustarse de manera que queden sueltas para que puedan seguirse las unas a las otras al girar.

Para determinar si los ejes están paralelos, es preciso medir con un comparador la distancia x entre los bordes externos de las mitades del acople en un punto de la periferia: ver página 100. A continuación, hay que hacer girar ambas mitades juntas a 90° , sin cambiar las posiciones relativas de los ejes, y efectuar una nueva medición exactamente en el mismo punto. Hay que medir la distancia de nuevo después de una rotación de 180° y 270° . Para dimensiones de acople normales, la diferencia entre la lectura más alta y la más baja no debe exceder los 0,05 mm.

Para comprobar que los centros del eje están directamente encarados el uno con el otro, hay que colocar una regla de acero en paralelo a los ejes en la periferia de una mitad del acople y después medir el intersticio entre la periferia de la otra mitad y la regla en cuatro posiciones para comprobar el paralelismo. La diferencia entre la lectura más alta y la más baja no debe exceder los 0,05 mm.

Al alinear un motor con una máquina cuya carcasa alcance una temperatura distinta a la del motor en servicio normal, habrá que establecer una tolerancia para la diferencia de altura del eje que resultará de la expansión térmica distinta. Para el motor, el aumento de altura es de un 0,03% de la temperatura ambiente para temperaturas de trabajo a plena potencia. Las instrucciones de montaje de los fabricantes de bombas, reductores, etc., establecen a menudo el desplazamiento vertical y lateral del eje a temperatura de trabajo. Es importante tener en cuenta esta información para evitar vibraciones y otros problemas de servicio.

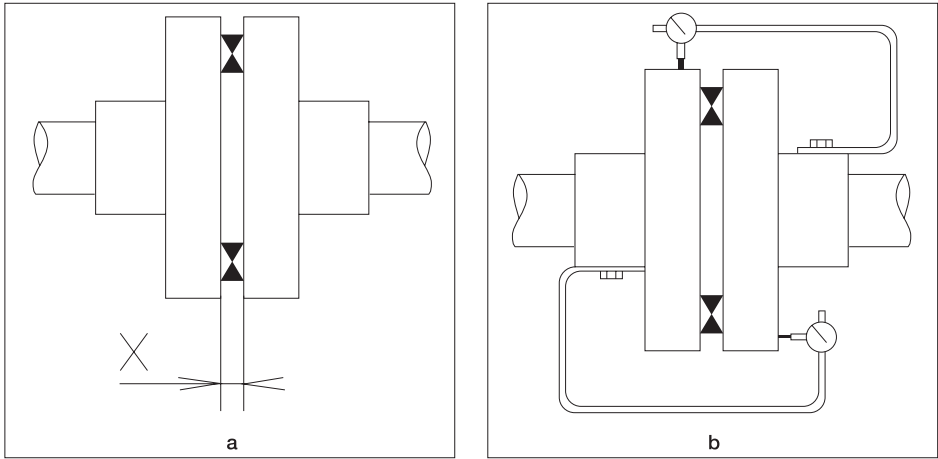


Figura 7.2 Desviación angular y alineamiento del motor

7.7.1 Montaje de poleas y acoplamientos

En el momento de montar poleas y mitades de acoplamiento hay que prestar una especial atención para no dañar los rodamientos. Nunca deben forzarse al colocarlas en su sitio o al levantarlas. Las poleas y mitades de acoplamiento con ajuste de interferencia se calientan antes de la instalación. El calentamiento de la polea o acoplamiento medio se puede hacer con un calentador de inducción o un soplete de gas, o en un horno.

La mitad de un acoplamiento o una polea que se monta por empuje en el eje, puede empujarse con la mano hasta la mitad de la longitud del eje. Para volver a colocarla en su sitio totalmente en el resalte del eje será necesario un instrumento especial o un tornillo totalmente roscado, una tuerca y dos piezas planas de metal.

7.8 Raíles tensores

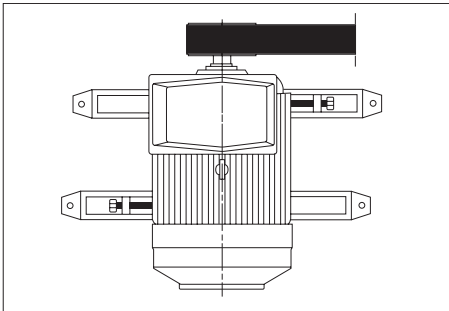
Los motores para accionamiento de correas deben montarse en raíles tensores tal como muestra la figura 7.3. Los raíles tensores deben colocarse horizontalmente en el mismo nivel. Después hay que colocar el motor y los raíles tensores sobre los cimientos y alinearlos de manera que el punto medio de la polea del motor coincida con el punto medio de la polea de la máquina accionada. Compruebe que el eje del motor está en posición paralela al eje del accionamiento y tensa la correa según las instrucciones del suministrador. No sobrepase las fuerzas de correa máximas (es decir, las cargas de rodamientos radiales) establecidas en el catálogo del producto. El raíl tensor más cercano a la correa debe colocarse de manera que el perno tensor quede entre el motor y la máquina accionada. El perno del otro raíl tensor deberá estar en el otro lado. Después del alineamiento, ajuste los tornillos de fijación de los raíles.



ATENCIÓN

No ejerza un exceso de tensión sobre las correas. Una excesiva tensión de las mismas puede dañar los rodamientos y causar roturas del eje.

Posiciones de los raíles tensores para accionamiento por correas.



Con accionamiento por correas, los ejes deben estar en paralelo y las poleas.

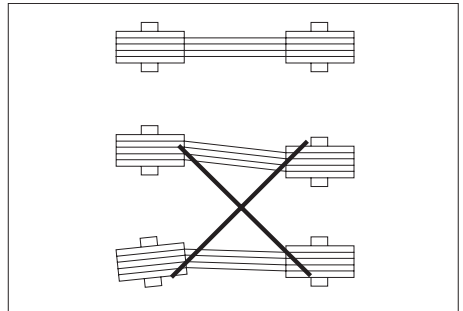


Figura 7.3 Colocación de raíles de deslizamiento

7.9 Montaje de rodamientos

Siempre hay que prestar especial atención a los rodamientos. Estos deben montarse por calentamiento o con herramientas especiales al efecto y deben retirarse con extractores. La temperatura máxima de calentamiento es de 100 °C. La información detallada puede obtenerse del proveedor de cojinete.

Cuando sea necesario colocar un rodamiento de un eje, se puede escoger entre el montaje en frío o en caliente. El montaje en frío sólo es adecuado para rodamientos pequeños y para aquellos que no ejerzan una fuerte presión sobre el eje. Para el montaje en caliente, y en caso de que haya una interferencia entre el rodamiento y el eje, primero habrá que calentar el rodamiento en un baño de aceite o con un calentador especial. Después habrá que colocarlo con presión sobre el eje con un manguito que se ajuste al anillo interior del rodamiento. No deben calentarse los rodamientos engrasados de por vida, generalmente provistos de tapetas.

7.10 Engrase

Para ABB, la fiabilidad es un elemento vital tanto en el diseño de los rodamientos como de los sistemas para su engrase. Por ello, seguimos como norma el principio L_1 (es decir, nos aseguramos de que el 99% de los motores presenten el tiempo de intervalo). También es posible calcular los intervalos de engrase según la norma L_{10} , según la cual el 90% de los motores presentan el tiempo de intervalo. ABB pone a su disposición los valores L_{10} , los cuales son generalmente el doble si se comparan con los valores L_1 , bajo demanda.

Motores con rodamientos permanentemente engrasados

Normalmente los motores hasta el tamaño de carcasa 250 están equipados con rodamientos lubricados de por vida de tipo Z o 2Z. Los motores para aplicaciones de proceso normalmente están provistos de engrasadores.

Guías para la duración del rodamiento

- Motores de 4 polos, horas de servicio: 20.000 – 40.000 1)
- Motores de 2 y 2/4 polos, horas de servicio 10.000 – 20.000 1)
- Los intervalos más cortos se aplican a los motores más grandes.

1) Según la aplicación y las condiciones de carga

Motores con sistema de engrase

El motor debe ser engrasado cuando está en funcionamiento. Si el motor está equipado con un tapón de engrase, habrá que quitarlo temporalmente durante el engrase o permanentemente en caso de un engrase automático. Si el motor está equipado con una placa de lubricación, habrá que utilizar los valores dados en la placa; sino utilizar los valores según el principio L_1 .

7.11 Guía de nivel de fusibles

La siguiente tabla es una guía para la selección de un fusible y un interruptor-fusible de un motor conectado DOL en una red de 400 V y 50 Hz.

| P kW | I _N (A) para la velocidad de rotación del motor | | | | Switch- fuse | Standard fuse |
|---------|--|------|------|------|-----------------|------------------|
| | 750 | 1000 | 1500 | 3000 | | |
| 0.09 | 0.53 | - | - | - | OS 32 D12 | 2aM |
| 0.12 | 0.63 | 0.59 | - | - | OS 32 D12 | 2aM |
| 0.18 | 0.90 | 0.75 | 0.72 | - | OS 32 D12 | 2aM |
| 0.25 | 1.18 | 0.92 | 0.83 | 0.70 | OS 32 D12 | 2aM |
| 0.37 | 1.6 | 1.25 | 1.12 | 0.93 | OS 32 D12 | 2aM |
| 0.55 | 2.4 | 1.78 | 1.45 | 1.33 | OS 32 D12 | 2aM |
| 0.75 | 2.7 | 2.4 | 1.9 | 1.7 | OS 32 D12 | 4aM |
| 1.1 | 3.35 | 3.3 | 2.55 | 2.4 | OS 32 D12 | 4aM |
| 1.5 | 4.5 | 4.1 | 3.4 | 3.3 | OS 32 D12 | 6aM |
| 2.2 | 5.9 | 5.4 | 4.8 | 4.5 | OS 32 D12 | 10aM |
| 3.0 | 7.8 | 6.9 | 6.5 | 6.0 | OS 32 D12 | 10aM |
| 4.0 | 10.0 | 8.7 | 8.6 | 7.4 | OS 32 D12 | 16aM |
| 5.5 | 13.4 | 11.9 | 11.1 | 10.5 | OS 32 D12 | 16aM |
| 7.5 | 18.1 | 15.4 | 14.8 | 13.9 | OS 32 D12 | 20aM |
| 11 | 25 | 23 | 22 | 20 | OS 32 D12 | 32aM |
| 15 | 29 | 31 | 29 | 27 | OS 63 D12 | 40aM |
| 18.5 | 36 | 36 | 37 | 33 | OS 63 D12 | 50aM |
| 22 | 45 | 43 | 42 | 40 | OS 63 D12 | 63aM |
| 30 | 60 | 59 | 56 | 53 | OS 125 D12 | 80aM |
| 37 | 74 | 69 | 68 | 64 | OS 125 D12 | 100aM |
| 45 | 90 | 82 | 83 | 79 | OS 125 D12 | 125aM |
| 55 | 104 | 101 | 98 | 95 | OS 250 D03P | 160aM |
| 75 | 140 | 140 | 135 | 131 | OS 250 D03P | 200aM |
| 90 | 167 | 163 | 158 | 152 | OS 250 D03P | 200aM |
| 110 | 202 | 199 | 193 | 194 | OS 400 D03P | 250aM |
| 132 | 250 | 238 | 232 | 228 | OS 400 D03P | 315aM |
| 160 | 305 | 280 | 282 | 269 | OS 630 D03P | 355aM |
| 200 | 395 | 355 | 349 | 334 | OS 630 D03P | 500aM |
| 250 | 470 | 450 | 430 | 410 | OS 630 D03P | 630aM |
| 315 | 605 | 565 | 545 | 510 | OS 800 D03P | 800aM |
| 355 | 680 | 635 | 610 | 580 | OS 800 D03P | 800aM |

Tabla 7.2 Tabla de nivel de fusibles

8. El Sistema Internacional

| | | |
|-----------|---------------------------------|------------|
| 8. | El Sistema Internacional | 102 |
| 8.1 | Cantidades y unidades | 103 |
| 8.2 | Prefijos | 104 |
| 8.3 | Factores de conversión | 105 |

El Sistema Internacional

Esta sección explica algunas de las unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI) que se utilizan en relación con los motores eléctricos y su aplicación.

Hay que distinguir entre cantidad, valor de cantidad, unidad y número de medida, y entre el nombre y el símbolo de la unidad. Estas distinciones se explican en el ejemplo siguiente.

Ejemplo: $P=5.4\text{ W}$, es decir la potencia es 5.4 vatios, donde:

Nombre de la cantidad = potencia

Símbolo para la cantidad = P

Valor de la cantidad = 5.4 vatios

Nombre de la unidad = vatio

Símbolo para la unidad = W

Número de medición = 5.4

El Sistema Internacional

8.1 Cantidades y unidades

| Cantidad | Unidad | | | |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|--|
| Nombre | Símbolo | Nombre | Símbolo | Comentarios |
| Espacio y tiempo | | | | |
| Ángulo plano | $\alpha \beta \gamma$ | Radio | rad | |
| | | Grado | \dots° | $1^\circ = \pi/180 \text{ rad}$ |
| | | Minuto | \dots' | |
| | | Segundo | \dots'' | |
| Longitud | l | Metro | m | |
| Área | A | Metro cuadrado | m^2 | |
| Volumen | V | Metro cúbico | m^3 | |
| | | Litro | l | |
| Tiempo | t | Segundo | s | |
| | | Minuto | min | |
| | | Hora | h | |
| Frecuencia | f | Hercio | Hz | |
| Velocidad | v | Metro por segundo | m/s | km/h es el múltiplo más común |
| Aceleración | a | Metro por | m/s^2 | |
| | | Segundo cuadrado | | |
| Aceleración por caída libre | g | Metro por | m/s^2 | |
| | | Segundo cuadrado | | |
| Energía | | | | |
| Activa | W | Julios | J | $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}$ |
| Vatio segundo | Ws | | | |
| Vatio hora | Wh | | | |
| Reactiva | Wq | Var segundo | vars | |
| | | Var hora | varh | |
| Aparente | Ws | Voltamperio segundo | VA _s | |
| | | Voltamperio hora | VA _h | |
| Potencia | | | | |
| Activa | P | Vatio | W | $1 \text{ kW} = 1.34\text{hp}^{(1)} = 102 \text{ kpm/s} = \text{s} = 10^3 \text{ Nm/s} = 10^3 \text{ J/s}$ |
| Activa | Q, Pq | Var | var | |
| Aparente | S, Ps | Voltamperio | VA | |

¹⁾ 1 kW = 1.34 hp (UK, US) se utiliza en IEC Publ 72

1 kW = 1.36 hp (potencia métrica en caballos)

| Cantidad | Unidad | | | |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------|---|
| Nombre | Símbolo | Nombre | Símbolo | Comentarios |
| Mecánica | | | | |
| Masa | m | Kilogramo | kg | |
| | | Tonelada | t | |
| Densidad | ρ | Kilogramo por metro cúbico | kg/m^3 | |
| Fuerza | F | Newton | N | 1 N = 0.105 kp |
| Momento de fuerza | M | Newton-metro | Nm | 1 Nm = 0.105 kpm = 1 Ws |
| Momento de inercia | J | Kilogramo-metro | kgm^2 | $J = G \times D^2$ |
| Presión | p | Pascal | Pa | 1 Pa = 1 N/m ² |
| | | Newton por metro cuadrado | N/m ² | 1 N/m ² = 0.102 kp/m ² = 10-5 bar |
| | | Bar | bar | 1 bar = 105 N/m ² |
| Calor | | | | |
| Temperatura termodinámica | T, θ | Kelvin | K | Nombre antiguo: temperatura absoluta |
| Temperatura Celsius | ϑ, t | Grados Celsius | °C | 0 °C = 273.15 K |
| Temperatura | $\Delta T, \Delta \vartheta$ | Kelvin | K | El intervalo 1 K es idéntico al intervalo 1 °C |
| | | Grados Celsius | °C | |
| Energía térmica | Q | Julios | J | |
| Electricidad | | | | |
| Potencial eléctrico | V | Voltio | V | 1 V = 1 W/A |
| Tensión eléctrica | U | Voltio | V | |
| Corriente eléctrica | I | Amperio | A | |
| Capacitancia | C | Faradio | F | 1 F = 1 C/V |
| Reactancia | X | Ohm | Ω | |
| Resistencia | R | Ohm | Ω | 1 Ω = 1 V/A |
| Impedancia | Z | Ohm | Ω | $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ |

8.2 Prefijos

Los múltiplos de las unidades del SI se indican por los prefijos siguientes. Debe restringirse la utilización de prefijos entre paréntesis.

| | | | | | | | | |
|---------------------|---------|------|---------------------|---------|-------|-------------------|-------|---|
| 10 ³ | kilo | k | (10 ⁻²) | (centi) | (c) | 10 ⁻¹² | pico | p |
| (10 ²) | (hecto) | (h) | 10 ⁻³ | milli | m | 10 ⁻¹⁵ | femto | f |
| (10 ¹) | (deca) | (da) | 10 ⁻⁶ | micro | μ | 10 ⁻¹⁸ | atto | a |
| (10 ⁻¹) | (deci) | (d) | 10 ⁻⁹ | nano | n | | | |

8.3 Factores de conversión

Las unidades que se utilizan normalmente para las aplicaciones técnicas son unidades del SI.

Sin embargo, es posible encontrar otras unidades en las descripciones, dibujos, etc., especialmente cuando aparece el sistema de pulgadas.

Recuérdese que el galón norteamericano y el galón británico no son iguales. Para evitar errores, se aconseja escribir US o UK después de la unidad. La siguiente tabla muestra algunos de los factores de conversión necesarios más comunes.

| Longitud | |
|----------------------|-------------------|
| 1 nm = 1.852 km | 1 km = 0.540 nm |
| 1 mile = 1.609344 km | 1 km = 0.621 mile |
| 1 yd = 0.9144 m | 1 m = 1.09 yd |
| 1 ft = 0.3048 m | 1 m = 3.28 ft |
| 1 in = 25.4 mm | 1 mm = 0.039 in |

| Velocidad | |
|----------------------|-----------------------|
| 1 knot = 1.852 km/h | 1 km/h = 0.540 knot |
| 1 m/s = 3.6 km/h | 1 km/h = 0.278 m/s |
| 1 mile/h = 1.61 km/h | 1 km/h = 0.622 mile/h |

| Área | |
|---|---|
| 1 acre = 0.405 ha | 1 ha = 2.471 acre |
| 1 ft ² = 0.0929 m ² | 1 m ² = 10.8 ft ² |
| 1 in ² = 6.45 cm ² | 1 cm ² = 0.155 in ² |

| Volumen | |
|--|--|
| 1ft ³ = 0.0283 m ³ | 1 m ³ = 36.3 ft ³ |
| 1 in ³ = 16.4 cm ³ | 1 cm ³ = 0.0610 in ³ |
| 1 gallon (UK) = 4.55 l | 1 l = 0.220 gallon (UK) |
| 1 gallon (US) = 3.79 l | 1 l = 0.264 gallon (US) |
| 1 pint = 0.568 l | 1 l = 1.76 pint |

| Flujo | |
|--|--|
| 1 m ³ /h = 0.278 x 10 ⁻³ m ³ /s | 1 m ³ /s = 3600 m ³ /h |
| 1 cfm = 0.472 x 10 ⁻³ m ³ /s | 1 m ³ /s = 2120 cfm |

| Tabla de comparación para temperaturas | |
|--|-------|
| °F | °C |
| 0 | -17.8 |
| 10 | -12.2 |
| 20 | -6.7 |
| 30 | -1.1 |
| 32 | 0 |
| 40 | 4.4 |

| Masa | |
|-----------------|-----------------|
| 1 lb = 0.454 kg | 1 kg = 2.20 lb |
| 1 oz = 28.3 g | 1 g = 0.0352 oz |

| Fuerza | |
|------------------|-----------------|
| 1 kp = 9.80665 N | 1 N = 0.105 kp |
| 1 lbf = 4.45 N | 1 N = 0.225 lbf |

| Presión | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 mm vp = 9.81 Pa | 1 Pa = 0.102 mm vp |
| 1 kp/cm ² = 98.0665 kPa | 1 kPa = 0.0102 kp/cm ² |
| 1 kp/cm ² = 0.980665 bar | 1 bar = 1.02 kp/m ² |
| 1 atm = 101.325 kPa | 1 kPa = 0.00987 atm |
| 1 lbf/in ² = 6.89 kPa | 1 kPa = 0.145 lbf/in ² |

| Energía | |
|-------------------|------------------|
| 1 kpm = 9.80665 J | 1 J = 0.102 kpm |
| 1 cal = 4.1868 J | 1 J = 0.239 cal |
| 1 kWh = 3.6 MJ | 1 MJ = 0.278 kWh |

| Potencia | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1 hp = 0.736 kW | 1 kW = 1.36 hp |
| 1 hp (UK, US) = 0.746 kW | 1 kW = 1.34 hp (UK, US) |
| 1 kcal/h = 1.16 W | 1 W = 0.860 kcal/h |

| Temperatura | |
|-------------|-----------------|
| 0 °C | = 32 °F |
| °C | = 5/9 (°F - 32) |
| 0 °F | = -17.8 °C |
| °F | = 9/5 (°C + 32) |

| Tabla de comparación para temperaturas | |
|--|------|
| °F | °C |
| 50 | 9.9 |
| 60 | 15.5 |
| 70 | 21.0 |
| 80 | 23.6 |
| 90 | 32.1 |
| 100 | 37.8 |

9. Pedidos

| | | |
|-----------|------------------------------------|------------|
| 9. | Pedidos | 108 |
| 9.1 | Selección de un motor | 109 |
| 9.2 | Herramientas en línea | 111 |
| 9.2.1 | Optimizer | 111 |
| 9.2.2 | DriveSize and MotSize | 112 |
| 9.3 | Carga (kW) | 112 |
| 9.4 | Velocidad | 113 |
| 9.5 | Arranque del motor | 113 |
| 9.6 | Ambiente de trabajo | 114 |
| 9.7 | Datos de comprobación para pedidos | 114 |

Pedidos

El equipo de ventas de ABB juega un papel clave en la definición del producto adecuado con el cliente y en la comunicación del pedido del cliente hacia las unidades de producción. Las especificaciones del pedido se definen inicialmente en la fase de oferta, pero a menudo se precisan, o incluso se cambia, al poner el pedido real. Para las unidades de producción suministrar motores de acuerdo a las especificaciones y necesidades de los clientes, es importante que toda la información indicada en el pedido sea correcta, y que no falte información relevante.

En este capítulo se explica cómo seleccionar un motor y qué herramientas existen para ayudar en la selección del mismo. También se introducen los requisitos necesarios para hacer un pedido válido.

Pedidos

9.1 Selección de un motor

Las dos variables fundamentales que hay que tener en cuenta en el momento de elegir un motor son:

- el suministro de energía al cual estará conectado el motor
- el tipo de cierre o de carcasa (clase IP)
- método de arranque (ver diseño eléctrico)

La tensión de red y la frecuencia varían entre regiones y países del mundo. Además, las industrias y aplicaciones pueden requerir voltajes que no están relacionados con el país donde se utiliza o se adquiere el motor, mientras que la frecuencia suele ser específica de la región. La tabla siguiente presenta los voltajes y frecuencias de red en varios países y regiones del mundo. Las tensiones que se muestran aquí son las más comúnmente disponibles; asegúrese de verificar el voltaje exacto requerido por cada cliente.

| Área/País | Voltaje V | Frecuencia Hz |
|--------------------------|------------------------------------|------------------|
| Europa | | |
| EU | 220, 230, 400 , 500, 690 | 50 |
| Rusia | 220, 380 | 50 |
| África | | |
| África, mayor parte | 220, 380 , 400 , 415 | 50 |
| Sudáfrica | 220, 230, 380, 400 , 500 | 50 |
| Oriente Medio | | |
| Israel | 220,230, 280, 400 , 415 | 50 |
| Arabia Saudí | 220, 230, 380, 400, 440 | 50, 60 |
| India | 220, 230, 400, 415 | 50 |
| América del Norte | | |
| Canadá | 230, 460, 575, 600 | 60 |
| Estados Unidos | 230, 460, 480 | 60 |
| México | 220, 480 | 60 |
| América Central | | |
| Cuba | 220, 440 | 60 |
| Costa Rica | 240, 440 | 60 |
| América del Sur | | |
| Brasil | 220, 380, 440 | 60 |
| Chile | 220, 380 , 400, 500 | 50, 60 |
| Argentina | 220, 380 , 440 | 50 |
| Nordeste Asiático | | |
| China | 380 , 400 | 50 |
| Japón | 200, 220, 400, 440 | 50, 60 |
| Corea del Sur | 220, 380, 440 | 60 |
| Sureste Asiático | | |
| Filipinas | 115, 380, 440 | 60 |
| Malaysia | 240, 415 | 50 |
| Indonesia | 220, 380, 400 | 50 |
| Oceanía | | |
| Nueva Zelanda | 230, 240, 400, 415 | 50 |
| Australia | 230, 240, 415 , 440 | 50 |

Tabla 9.1. Voltajes y frecuencias mundiales

Tipo de cierre

Disponemos de dos opciones de cierre básicas: motores abiertos o cerrados en aluminio y fundición de hierro.

El motor totalmente cerrado con refrigeración por ventilador (TEFC, que equivale a 'IP55 y IC411') es actualmente el estándar predominante para las aplicaciones industriales. Este versátil motor de construcción (TEFC) es totalmente cerrado y refrigerado por aire directo sobre la carcasa por un ventilador montado en el eje.

9.2 Herramientas online

9.2.1 Optimizer

Optimizer es una herramienta online fácil de usar que le ayuda a seleccionar el motor óptimo en función de los requisitos mínimos de la norma de rendimiento energético específica de su región (MEPS). Después de seleccionar la región donde se utilizará el motor, Optimizer muestra el voltaje predeterminado, la frecuencia, y otras opciones. Además, los motores pueden ser comparados en términos de coste de funcionamiento, ahorro de ciclo de vida, y reducción de emisiones. Optimizer también proporciona toda la documentación relacionada con el producto.

The screenshot shows the ABB Optimizer web application. At the top, it says "Optimizer" and "Select, compare running costs and find documentation for low voltage motors". The ABB logo is in the top right corner. Below the header, there is a "Find motors" section with several filters: MEPS (EU-MEPS), Efficiency class (IE2), Frame material (Select frame mat), Motor range (Select motor range), Voltage (400V), Frequency (50Hz), Speed (Select poles), and Output (Select output (kW)). There is a "RESET FILTERS" button. To the right, there is a "Find by product code or motor type" section with a search box and a "Contact us" link. Below the filters, there is a table of motor results:

| Output | Volt, Hz | Eff. class | Type | Speed | Motor range | Data | Frame material |
|--------|-----------|------------|--------------|-------|----------------------------|---------------------------|----------------|
| 0.75kW | 400V 50Hz | IE2 | M2AA 80 B 2 | 2 | General Performance Motors | View data | Aluminum ADD → |
| 0.75kW | 400V 50Hz | IE2 | M2AA 80 D 4 | 4 | General Performance Motors | View data | Aluminum ADD → |
| 0.75kW | 400V 50Hz | IE2 | M2AA 90 LB 6 | 6 | General Performance Motors | View data | Aluminum ADD → |
| 0.75kW | 400V 50Hz | IE2 | M2AAD 80 A 2 | 2 | Dust Ignition Proof Motors | View data | Aluminum ADD → |
| 0.75kW | 400V 50Hz | IE2 | M2AAD 80 B 2 | 2 | Dust Ignition Proof Motors | View data | Aluminum ADD → |
| 0.75kW | 400V 50Hz | IE2 | M2AAD 80 D 4 | 4 | Dust Ignition Proof Motors | View data | Aluminum ADD → |

Below the table, it says "Displaying 1-100 out of 812 motors." and there are pagination controls. At the bottom, there are three buttons: "Cost of running", "Documentation", and "Summary and export".

Figura 9.1. Ventana de selección Optimizer

9.2.2 DriveSize & MotSize

DriveSize y MotSize son programas de software para la selección y el dimensionamiento de motores de baja tensión óptimo, convertidores de frecuencia y transformadores, en particular en los casos en los que los requerimientos del motor están fuera de los presentados en el catálogo de motores. DriveSize y MotSize también se pueden utilizar para calcular los armónicos de red y para imprimir información de dimensionamiento. Los programas contienen las versiones actuales de nuestros catálogos de motores y convertidores de frecuencia. Ambas herramientas se pueden descargar en las páginas web de ABB.

9.3 Carga (kW)

La carga se determina según el equipo a accionar y el par disponible en el eje.

Los motores eléctricos IEC tienen potencias estándares por tamaño de carcasa. Ver Normas, Potencia de salida y correlación del tamaño de carcasa para obtener información detallada acerca de cómo la norma determina las combinaciones de potencia y tamaño de carcasa.

9.4 Velocidad

El motor de inducción es una máquina fija, a 1 velocidad. Ésta depende de la frecuencia del suministro de energía y del diseño de devanado del estator

Dado que no existen pérdidas de carga en el motor, la velocidad en vacío es ligeramente inferior a la velocidad sincrónica. La velocidad en plena carga es generalmente de un 3 a 4% menor que la velocidad en vacío.

$$\text{Velocidad sincrónica r/min} = \text{Frecuencia} \times 120 / \text{número de polos}$$

| Número de polos | 50 Hz velocidad r/min | | 60 Hz velocidad r/min | |
|-----------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| | Síncrono | Plena carga típica | Síncrono | Plena carga típica |
| 2 | 3000 | 2900 | 3600 | 3450 |
| 4 | 1500 | 1440 | 1800 | 1740 |
| 6 | 1000 | 960 | 1200 | 1150 |
| 8 | 750 | 720 | 900 | 850 |
| 10 | 600 | 580 | 720 | 700 |
| 12 | 500 | 480 | 600 | 580 |
| 16 | 375 | 360 | 450 | 430 |

Tabla 9.2. Velocidades de motores

9.5 Arranque del motor

La disposición de par motor y el par de carga a veces varían con la velocidad de rotación. El par de aceleración resultante en un cierto momento depende de la velocidad. El método de arranque es un criterio importante en la selección de un motor y debe analizarse cuidadosamente.

Entre la velocidad de arranque y la velocidad nominal se debe asegurar que, incluso bajo condiciones desfavorables (tales como bajo voltaje en los bornes del motor), el par del motor siempre sea lo más alto posible por encima del par de carga. Esto se tiene que tener en cuenta a la hora de seleccionar el método de arranque.

Además, en caso de alta frecuencia de arranque o arranque pesado, el sobrecalentamiento y sus consecuencias deben tenerse en cuenta.

9.6 Ambiente de trabajo

El ambiente donde debe trabajar el motor es un factor muy importante que hay que considerar al hacer el pedido, dado que tanto la temperatura ambiente como la humedad y la altitud pueden afectar a su rendimiento.

Tener un motor IP55 no significa que seguirá siendo impermeable en cualquier condición de uso al aire libre. La aplicación en la que el motor se utiliza, la posición y la exposición real de montaje a factores externos necesitan ser tenidas en cuenta. Por ejemplo, las temperaturas ambientes superiores a 40°C o altitudes superiores a

1000 m reducen la capacidad de carga. Del mismo modo, el montaje vertical implica que se deben solicitar agujeros de drenaje no estándar.

Todos los metales se corroen en distintos grados bajo la influencia de productos químicos y humedad. Por ejemplo, el aluminio puro y la mayor parte de sus aleaciones, sin tratamiento especial de superficie, son muy sensibles al agua salada. Por otro lado, el hierro fundido como tal, es duradero contra muchos productos químicos, excepto para las piezas mecanizadas, los agujeros de acceso o los mecanizados de centraje. Seleccionar el tratamiento de superficie adecuado le ayudará a alargar la vida del motor y reducir la necesidad de mantenimiento. Para más información ver Diseño Mecánico y Tratamiento de superficie.

9.7 Datos de comprobación para pedidos

Se deben conocer los siguientes datos en el momento de entrar el pedido de un cliente:

- tipo de motor, tensión de alimentación, frecuencia y el código de producto
- posición de montaje
- códigos de variante de opciones en el diseño de motores o accesorios, tales como:
 - prenaestopas para el cableado y otras conexiones especiales
 - rodamientos especiales o aislados
 - el tipo de servicio y las condiciones ambientales
 - valores de clasificación
 - cantidad de motores pedidos
 - precio, plazo de entrega, y dirección de entrega
 - número de referencia de la oferta

El sistema de gestión de pedidos (OMS) es un sistema completo de gestión de pedidos y logística de motores de baja y alta tensión, y es utilizado por las unidades de producción de ABB. A menudo es posible entregar características especiales si se basan en la oferta actual. Si no hay código de variante para una característica deseada, usted puede comprobar la disponibilidad, precio y plazo de entrega de dicha característica a través del personal de ventas de ABB.

10. Accionamientos de velocidad variable

| | | |
|------------|---|------------|
| 10. | Accionamientos de velocidad variable | 116 |
| 10.1 | Tipos de accionamientos | 117 |
| 10.2 | Modulación de anchura de pulso (PWM) | 118 |
| 10.3 | Dimensionar el accionamiento | 118 |
| 10.4 | Disponibilidad de par | 120 |
| 10.4.1 | Mejorando la disponibilidad | 121 |
| 10.5 | Nivel de aislamiento | 122 |
| 10.6 | Toma de tierra | 122 |
| 10.7 | Funcionamiento a alta velocidad | 123 |
| 10.8 | Equilibrado | 125 |
| 10.9 | Velocidades críticas | 125 |
| 10.10 | Retenes | 125 |
| 10.11 | Funcionamiento a baja velocidad | 126 |

Convertidores de frecuencia

Los motores de inducción de jaula de ardilla ofrecen unas prestaciones, fiabilidad y rendimiento excelentes. Tienen, no obstante, dos puntos débiles: el rendimiento en el arranque y el control de velocidad. Un motor con un convertidor de frecuencia (accionamiento de velocidad variable o VSD) soluciona ambos problemas. Un motor con accionamiento de velocidad variable puede arrancar suavemente con una intensidad de arranque baja, al mismo tiempo que se permite el control de la velocidad con el objetivo de adaptarse a las necesidades de la aplicación.

Las ventajas de los accionamientos de velocidad variable están ampliamente reconocidas: velocidad óptima y exactitud del control; menor mantenimiento gracias a una velocidad de funcionamiento baja; alta calidad de la producción. Por consiguiente, existe un gran número de aplicaciones VSD en el mercado, y aproximadamente la mitad de las nuevas instalaciones de motor incluye un variador de velocidad.

Convertidores de frecuencia

10.1 Tipos de convertidores

Los convertidores son elementos electrónicos de potencia que convierten la potencia AC de entrada con una tensión y frecuencia fijas, en potencia eléctrica de salida con una tensión y frecuencia variables. Dependiendo de la solución empleada, se utilizan convertidores directos o indirectos.

Convertidor

Un convertidor es un variador de velocidad que convierte la tensión fija de alimentación AC en tensión y frecuencia variables. Se compone de cuatro partes principales: rectificadores, circuitos de CC, la unidad del inversor, y la unidad de control. Los convertidores están conectados a una fuente de CA..

Inversor

Un inversor es un variador de velocidad que convierte la tensión fija de alimentación DC en tensión de CA y frecuencia variables. Se compone de dos partes principales: la unidad del inversor y la unidad de control. Los inversores están conectados a una fuente de corriente continua y, a veces, se llaman unidades comunes del bus de CC.

Convertidor directo

Los convertidores directos, como los cicloconvertidores y los convertidores matriciales, transforman la potencia de entrada directamente en potencia de salida sin enlaces de CC intermedios. Los convertidores de ciclo se utilizan en aplicaciones de alta potencia (gama MW) y a frecuencias bajas.

Convertidores indirectos

Los convertidores indirectos son bien de fuente de corriente o bien convertidores de fuente de tensión.

En un convertidor de fuente de tensión (VSC), el enlace intermedio actúa como una fuente de tensión de corriente continua y la potencia consiste en pulsos de tensión controlados a una frecuencia constantemente variable que se alimentan en diversas fases o según un sistema trifásico. Los impulsos se alimentan a las diferentes fases de un sistema trifásico. Esto permite la regulación continua de la velocidad del motor.

En un conversor de fuente de corriente (CSC), el enlace de corriente continua actúa como una fuente de corriente continua y la potencia es un pulso de corriente o una secuencia de pulsos de corriente.

10.2 Modulación de amplitud de pulso (PWM)

Los accionamientos de velocidad variable de ABB utilizan amplitud de pulso modulado (PWM) con convertidores de fuente de tensión con frecuencia de conmutación variable, dado que son los que mejor se ajustan a la mayoría de las necesidades. Los métodos de control utilizados, tales como el control directo del par (DTC), control vectorial, o control escalar, dependen del producto y aplicación.

En un accionamiento PWM, el rectificador convierte la potencia de entrada, con una tensión y una frecuencia nominalmente fijas, en potencia de corriente continua de tensión fija. A continuación, esta potencia de corriente continua de tensión fija se filtra para reducir la tensión de rizo resultante de la rectificación de la línea de corriente alterna. Después, el convertidor transforma la potencia de corriente continua de tensión fija en potencia de salida de corriente alterna con una tensión y frecuencia ajustables.

10.3 Dimensionar el accionamiento

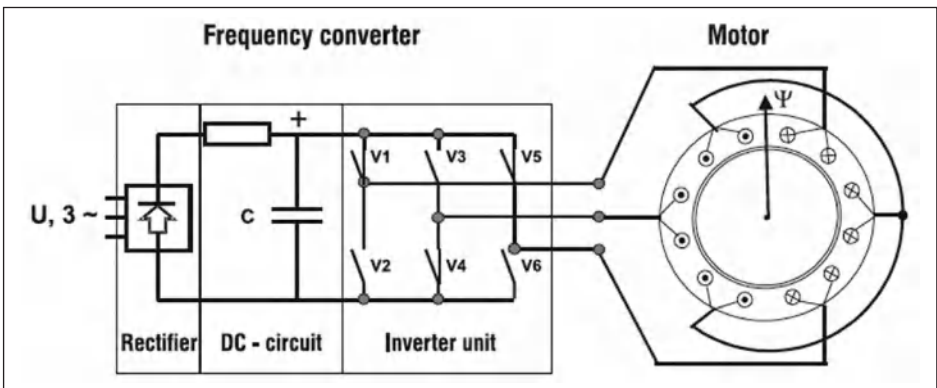


Figura 10.1 Principio de funcionamiento de un motor con convertidor de frecuencia

DriveSize es un completo programa de dimensionado para accionamientos y motores, se puede descargar desde nuestra web www.abb.com/motors&generators. Ofrecemos a continuación una breve información sobre la selección del motor y del convertidor con el software DriveSize.

Selección del motor

El par de carga real debe estar por debajo de los valores de las curvas indicadas para la combinación del convertidor y el motor que se utilizarán (consulte la figura 10.2). Sin embargo, si el funcionamiento no es continuo en todos los puntos de la gama de velocidad, la curva de carga puede sobrepasar los valores indicados en las curvas. En tal caso, será necesario realizar un dimensionado especial.

Además, el par máximo debe ser como mínimo un 40% superior al par de carga, en cualquier frecuencia, y no se debe sobrepasar la velocidad máxima permisible del motor.

Diseño del motor

Los convertidores con funcionamiento, modulación y frecuencias de conmutación distintos suponen rendimientos diferentes en un mismo motor. Dado que el rendimiento y el comportamiento también dependen del diseño y de la construcción del motor, los motores con el mismo tamaño y distinta potencia de salida, pero con diseño distinto, pueden comportarse de manera muy diferente con el mismo convertidor, por lo que las instrucciones de selección y dimensionado dependen de cada producto.

Selección del convertidor

El convertidor debe seleccionarse de acuerdo con la potencia nominal P_N del motor. Debe reservarse un margen suficiente de intensidad para controlar las situaciones dinámicas.

10.4 Disponibilidad de par

Tanto los cálculos teóricos como las pruebas de laboratorio muestran que la carga (par) máxima continua de un motor accionado por convertidor depende principalmente de la modulación y de la frecuencia de conmutación del convertidor, pero también del diseño del motor. El gráfico que aparece a continuación ofrece unas pautas para la selección del motor.

Estas curvas presentan el par de carga continuo máximo de un motor como una función de la frecuencia (velocidad) para proporcionar el mismo incremento de temperatura que con un suministro de tensión sinusoidal establecida a frecuencia nominal y con carga nominal total.

El incremento de temperatura es normalmente de clase B. Los motores estándar (excepto los motores para áreas peligrosas) en tales casos pueden ser dimensionados según la curva de incremento de temperatura clase B o según la curva de incremento de temperatura clase F, la cual proporciona una cargabilidad más elevada. En caso de que en el catálogo de producto ABB se indique que se utiliza el aumento de temperatura clase F en el suministro sinusoidal, el motor solamente podrá ser dimensionado según la curva de incremento de temperatura clase B.

Los motores ABB que pueden utilizarse con convertidores de frecuencia son los siguientes:

- Motores de industria de proceso (diseñado para aplicaciones industriales exigentes)
- Motores para aplicaciones generales de aluminio y de hierro
- Motores para áreas peligrosas: motores antideflagrantes, motores anti chispa, motores protegidos contra la ignición de polvo
- Nota: los motores especiales tales como los motores síncronos de reluctancia, motores de alta velocidad y los motores de imanes permanentes siempre son accionados por VSD. Algunas de ellos requieren de un software específico.

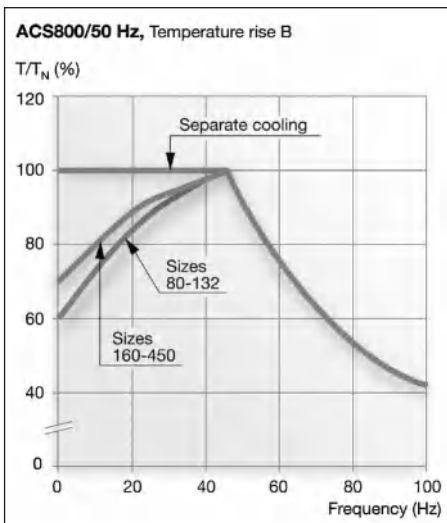


Figura 10.2. Curvas de pauta para motores ABB con convertidores de frecuencia (Industria de proceso)

10.4.1 Mejorando la disponibilidad

El par de rendimiento de los motores accionados por convertidor de frecuencia se ve habitualmente reducido debido al calentamiento extra producido por los armónicos y por una disminución de la refrigeración según la gama de frecuencia. Es posible, no obstante, mejorar la cargabilidad del motor mediante los siguientes parámetros.

Refrigeración más efectiva

Se consigue una refrigeración más efectiva montando un ventilador de refrigeración separado con velocidad constante, especialmente beneficioso a bajas velocidades. Si se selecciona la velocidad del motor del ventilador y su diseño para obtener un efecto de refrigeración mayor que el del motor estándar a velocidad nominal, se conseguirá un efecto de refrigeración mejorado en toda la gama de velocidades. El líquido refrigerante (en motores refrigerados por agua) es otro método muy efectivo. En casos muy extremos, deben también refrigerarse los rodamientos y los escudos.

Filtros

Filtrar la tensión de salida del convertidor reduce el contenido armónico de la tensión y de la intensidad del motor y, por lo tanto, reduce las pérdidas adicionales en el motor. Se minimiza así la necesidad de reducir la potencia de salida. Es necesario tener en cuenta toda la potencia del accionamiento y la gama de velocidades cuando se dimensionen los filtros (reactancias adicionales). Los filtros también reducen el ruido electromagnético, los problemas de pico de tensión y de compatibilidad electromagnética. Sin embargo, también limitan el par máximo del motor.

10.5 Nivel de aislamiento

En un convertidor de frecuencia, la tensión de salida (o intensidad) suele ser un pulso de tensión (intensidad) o un patrón de pulsos. Dependiendo del tipo de los componentes de potencia y del diseño del circuito de potencia, se desarrollará una sobretensión considerable en el límite del pulso de tensión. Consecuentemente, el nivel de aislamiento del bobinado deberá siempre comprobarse siguiendo las instrucciones específicas del producto. Las reglas básicas para aplicaciones estándar son:

- Si la tensión nominal de la red de alimentación es de hasta 500 V, no es necesario realizar un esfuerzo de aislamiento para los motores de inducción estándares ABB.
- Si la tensión nominal de la red es superior a 501 V, pero menor de 600 V, se requiere un motor especial de aislamiento, o bien filtros du/dt.
- Si la tensión nominal de la red es superior a 601 V, pero menor de 690 V, se requiere un aislamiento especial y filtros du/dt.
- Si la tensión nominal de la red es superior a 601 V, pero menor de 690 V y los cables de alimentación miden más de 150m, se requiere un motor con aislamiento especial reforzado.

Hallará instrucciones específicas para cada producto en los catálogos de producto ABB.

10.6 Toma de tierra

En un accionamiento por convertidor hay que prestar especial atención a las disposiciones de puesta a tierra para asegurar:

- Una acción adecuada de todos los elementos de protección y relés para la seguridad general
- Un nivel mínimo o aceptable de interferencia electromagnética
- Un nivel aceptable de tensión en los rodamientos para evitar corrientes y fallos del rodamiento

ABB recomienda el uso de cables apantallados simétricos con prensaestopas proporcionando una conexión de 360 grados (llamados prensaestopas EMC).

10.7 Funcionamiento a alta velocidad

En un accionamiento de convertidor de frecuencia, la velocidad real del motor puede desviarse considerablemente de la velocidad establecida. Para funcionamiento a velocidades superiores, no debe sobrepasarse la velocidad máxima permitida del tipo de motor o la velocidad crítica de todo el equipo.

Cuando el funcionamiento a alta velocidad sobrepasa la velocidad nominal del motor, debe comprobarse el par máximo y la construcción del rodamiento. Tenga en cuenta que si se utiliza un ventilador estándar, las pérdidas por fricción y refrigeración, así como el nivel de ruido se incrementarán.

Par máximo

En un área de debilitamiento de campo, la tensión del motor es constante, pero el flujo del motor y la capacidad para producir par se reduce rápidamente al aumentar la frecuencia. En el punto de velocidad más elevado (o en cualquier otro punto de servicio continuo en el área de debilitamiento de campo), el par máximo no debe ser inferior a un 40% más del par de carga.

Si se utilizan filtros o reactancias adicionales entre el convertidor y el motor, habrá que tener en cuenta la caída de tensión de la tensión fundamental con intensidad de carga total.

Construcción de los rodamientos

Existe un límite de velocidad a la cual pueden trabajar los rodamientos de rodillos. El tipo y tamaño de rodamientos, el diseño interno, la carga, el engrase y las condiciones de refrigeración, además del diseño de la jaula y de la distancia del juego interno adicional, influyen en la velocidad máxima permisible.

Engrase

En general, el límite queda establecido por la temperatura de trabajo en relación al lubricante y al componente del rodamiento. Cambiar los rodamientos y/o el engrase permite velocidades más altas. Sin embargo, si se hace, ABB deberá comprobar la combinación.

| Tabal de eje | Velocidad r/min | |
|--------------|-----------------|---------|
| | 2-polos | 4-polos |
| 71 - 80 | 6000 | 4500 |
| 90 - 100 | 6000 | 6000 |
| 112 - 200 | 4500 | 4500 |
| 225 - 250 | 3600 | 3600 |
| 280 | 3600 | 2600 |
| 315 | 3600 | 2300 |
| 355 | 3600 | 2000 |
| 400 | 3600 | 1800 |
| 450 | 3000 | 1800 |

Tabla 10.1 Maximum speeds of Process performance motors

La fuerza total del engrase se determina por la viscosidad del aceite base y del espesor que, por su parte, determina la velocidad de trabajo permisible para el rodamiento en particular. Es posible aumentar la velocidad máxima mediante grasas de alta velocidad o un engrase de aceite. Un engrase muy preciso, en pequeñas cantidades, también reduce la fricción del rodamiento y la generación de calor.

Ruido del ventilador

El ruido del ventilador aumenta con la velocidad del motor y generalmente pasa a ser dominante a 50 Hz para motores de 2 y 4 polos. Si aumenta la velocidad del motor, el nivel de ruido también será mayor. El incremento del nivel de ruido puede calcularse aproximadamente utilizando la fórmula siguiente:

$$\Delta L_{sp} = 60 \times \log \frac{n_2}{n_1} \text{ dB(A)}$$

donde ΔL_{sp} = incremento del nivel de presión sonora cuando la velocidad para de n_1 to n_2 .

El ruido del ventilador es normalmente un “ruido blanco”, es decir, que contiene todas las frecuencias dentro de la gama audible.

El ruido del ventilador se puede reducir:

- Sustituyendo el ventilador (y su tapa) por un ventilador de diámetro exterior reducido
- Utilizando un ventilador unidireccional
- Incorporando un silenciador

10.8 Equilibrado

Si se sobrepasa el límite de velocidad del motor estándar, debe comprobarse la precisión del equilibrio y de la fuerza mecánica de todas las partes giratorias. Todas las otras partes montadas en el eje del motor, como mitades de acoples y poleas, deben también equilibrarse cuidadosamente.

10.9 Velocidades críticas

Nunca debe sobrepasarse la primera velocidad crítica de un motor estándar, y se permite un margen de seguridad del 25%.

Sin embargo, también pueden utilizarse sistemas de accionamientos supercríticos, pero deberán ser dimensionados específicamente para cada caso.

10.10 Retenes

Todos los retenes de goma (V-rings, retenes de aceite, rodamientos RS, etc.) responden a un límite de velocidad recomendado. Si esta velocidad es inferior al trabajo a alta velocidad propuesto, deben utilizarse juntas de laberinto que no sean de goma.

10.11 Funcionamiento a baja velocidad

Engrase

A velocidades muy bajas, el ventilador del motor pierde su capacidad de refrigeración. Si la temperatura de trabajo de los rodamientos del motor es de ≈ 80 °C (se comprueba mediante la temperatura de superficie de los rodamientos de los escudos), deben utilizarse intervalos de engrase más cortos o grasa especial (grasa de presión extrema o engrase de altas temperaturas).

El intervalo de engrase debe dividirse a la mitad para cada aumento de 15 °C en la temperatura del rodamiento por encima de +70 °C.

Capacidad de refrigeración del ventilador

El flujo de aire y la capacidad de refrigeración dependen de la velocidad del ventilador. Puede utilizarse un ventilador separado de la velocidad constante para aumentar la capacidad de refrigeración y la disponibilidad de par del motor a bajas velocidades. Aunque la refrigeración interna no se ve afectada por un ventilador separado externo, a velocidades muy bajas todavía es necesaria una pequeña reducción en la cargabilidad.

Ruido electromagnético

Los componentes armónicos de la tensión del convertidor de frecuencia aumentan el nivel de ruido magnético del motor. La gama de frecuencias de estas ondas de fuerza magnética puede provocar resonancia estructural en el motor, especialmente en los de carcasa de acero.

El ruido magnético se puede reducir:

- Aumentando la frecuencia de conmutación, ofreciendo armónicos de alto orden y amplitudes más bajas, menos sensibles al oído humano. Por otra parte, el establecimiento de una alta frecuencia de conmutación puede reducir la corriente de salida de la unidad.
- Filtrando los componentes armónicos en el filtro de salida del convertidor o en reactancias adicionales
- Con silenciador de motor

Para más información sobre el ruido ver el capítulo de Ruido.

Contacte con nosotros

www.abb.com/motors&generators

Nos reservamos el derecho de realizar cambios técnicos o modificar el contenido de este documento sin previo aviso. Con respecto a los pedidos de compra, los detalles acordados deben prevalecer. ABB no acepta ninguna responsabilidad por cualquier error potencial o posible falta de información de este documento.

Nos reservamos todos los derechos sobre este documento y en la temática e ilustraciones contenidas en el mismo. Cualquier reproducción, comunicación a terceras partes o utilización de sus contenidos - total o parcial - está prohibida sin el consentimiento previo por escrito de ABB.

© Copyright 2014 ABB.
Reservados todos los derechos.

9AKK105285 ES 12-2014