

Atras de Portada



Universidad San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**EL AHORRO DE ENERGÍA CON UN VARIADOR DE
FRECUENCIA Y LAS DIFERENTES APLICACIONES, EN
LA INDUSTRIA CON EQUIPO MITSUBISHI**

Michael Alejandro Pérez Lorenzana

Asesorado por el Ing. Julio César Solares Peñate

Guatemala, mayo de 2009.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EL AHORRO DE ENERGÍA CON UN VARIADOR DE
FRECUENCIA Y LAS DIFERENTES APLICACIONES, EN
LA INDUSTRIA CON EQUIPO MITSUBISHI**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

MICHAEL ALEJANDRO PÉREZ LORENZANA

ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino Gonzáles
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**El ahorro de energía con un variador de frecuencia y
las diferentes aplicaciones, en la industria con equipo
Mitsubishi,**

tema que me fue aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 15 de septiembre de 2008.

Michael Alejandro Pérez Lorenzana

Guatemala, 26 de febrero de 2009

Señor Coordinador de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Coordinador:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **“EL AHORRO DE ENERGIA CON UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y LAS DIFERENTES APLICACIONES EN LA INDUSTRIA CON EQUIPO MITSUBISHI”**, desarrollado por el estudiante **Michael Alejandro Pérez Lorenzana**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,


Ing. Julio César Solares Peñate
ASESOR





FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 2 de marzo de 2009

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.


Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **“EL AHORRO DE ENERGIA CON UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y LAS DIFERENTES APLICACIONES EN LA INDUSTRIA CON EQUIPO MITSUBISHI”**, desarrollado por el estudiante **Michael Alejandro Pérez Lorenzana**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 11.2009.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante; Michael Alejandro Pérez Lorenzana, titulado: EL AHORRO DE ENERGÍA CON UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y LAS DIFERENTES APLICACIONES EN LA INDUSTRIA CON EQUIPO MITSUBISHI, procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 04 DE MARZO 2,009.

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por guiar mí camino en las buenas y en las malas, por darme sabiduría y nunca desampararme.

MIS PADRES

Julio César Pérez Garrido y Maritza Mirella Lorenzana Parada, por ser mis dos columnas de apoyo y ejemplos en la vida, dándome así una enseñanza moral y sobre todo con amor.

MIS HERMANOS

Bryan Gilberto, Stephanie Shardell y Jordan Daniel, por ser mis cómplices y amigos en el camino de la vida.

MI PAREJA

Liz Ania Garín Obando, por ser mi mejor amiga, confidente y por apoyarme siempre.

MI FAMILIA

Por enseñarme con experiencia de vida, aconsejarme y apoyarme todo el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Por darme la autosuficiencia y el conocimiento de la tecnología, así darme una guía en la vida profesional.

LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por ser mi alma mater y darme las herramientas suficientes para atravesar el camino de la vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS	XXVII
INTRODUCCIÓN	XXIX
1. BASES DEL VARIADOR	1
1.1 Tendencias de tecnología de los variadores transistorizados.....	1
1.2 Características del variador.....	3
1.2.1. Qué es un motor?	3
1.2.2. Estructura del motor.....	4
1.2.3 Características básicas del motor.....	5
1.2.4 Características del motor controlado por un variador en torque y corriente	7
1.2.5 Patrón V/f y torque de arranque	9
1.2.6 Características de salida de un motor estándar.....	13
1.3 Estructura básica y operación principal del variador de frecuencia	15
1.3.1 Estructura del variador de frecuencia	15
1.3.2 Operación del circuito convertidor	16
1.3.3 Operación del circuito inversor	19
1.4 Sistemás de control del variador	23
1.4.1 Control V/f	23
1.4.2 Control vector de flujo magnético	25
1.4.3 Control vectorial	27

1.5 Características del torque de carga.....	28
1.5.1 Tipos de carga	28
1.5.2 Características del torque de carga y patrón V/f.....	31
2. CARACTERÍSTICA DEL VARIADOR EN AHORRO DE ENERGÍA.....	33
2.1 Principio básico del ahorro de energía con un variador.....	33
2.2 Características del torque variable (ventilador/bomba).....	35
2.2.1 Potencia requerida PL para operación con potencia comercial	36
2.2.2 la comparación del ahorro de energía entre el control de velocidad y el control de la válvula (damper)	38
2.2.3 Comparación en ahorro de energía de los métodos de control	43
2.3 Cálculo del ahorro de energía para un torque variable.....	45
2.3.1 Concepto del cálculo de ahorro energético	45
2.3.2 Cálculo simple del ahorro energético	47
2.4 Efecto de ahorro de energía con una carga de torque variable	53
2.4.1 Comparación de los efectos de ahorro de energía entre métodos de control ..	53
2.4.2 Plan de ahorro de energía.....	56
2.4.3 Ejemplos de ahorro de energía	58
2.5 Características de la carga de torque constante	61
2.5.1 Potencia requerida PL para carga de torque constante ($T = \text{constante}$)	61
2.5.2 Ahorro de energía por la potencia de frenado de retorno	62
3. METAS TECNOLÓGICAS DEL VARIADOR EN	
APLICACIONES DE AHORRO DE ENERGÍA.....	65
3.1 Metas tecnológicas en aplicaciones de ahorro de energía	65
3.2 Factor de potencia y eficiencia.....	66
3.2.1 Eficiencia del motor y variador	66
3.2.2 Entrada de corriente del variador y mejora del factor de potencia	69

3.3 Ruido y vibración del motor.....	73
3.3.1 Causas.....	73
3.3.2 Reducción de ruido	73
3.3.3 Reducción de vibración	75
3.4 Armónicos en la alimentación	76
3.4.1 Diferencias entre los armónicos de la alimentación, ruido y corrientes de fuga.....	76
3.4.2 Influencia de los armónicos en la fuente de alimentación.....	77
3.4.3 Guía de supresión de armónicos.....	79
3.5 Ruido	81
3.5.1 Generación mecánica del ruido.....	81
3.5.2 Tipos de ruido y su propagación	82
3.5.3 Técnicas de reducción del ruido.....	84
3.6 Corrientes de fuga	85
3.6.1 Generación principal de las corrientes de fuga.....	85
3.6.2 Influencia de las corrientes de fuga.....	85
3.6.3 Medidas contra las corrientes de fuga.....	87
4. PARÁMETROS DE PROGRAMACIÓN EN EL EQUIPO MITSUBISHI	89
4.1 Parámetros básicos de funcionamiento.....	90
4.1.1 Parámetros básicos en variadores de frecuencia.....	90
4.1.2 Los Parámetros básicos en detalle.....	91
4.2 Parámetros para un proceso PID.....	102
4.2.1 Qué es un control PID?	102
4.2.2 Parámetros para proceso un PID	107
4.2.3 Configuración básica de un PID	108
4.2.4 Descripción general de un PID.....	109
4.2.5 Cambio de control automático PID (Pr. 127)	112

4.2.6 Función de suspensión de salida PID (Función <i>SLEEP</i>) (Señal <i>SLEEP</i> , Pr. 575 al Pr. 577).....	113
4.3 Parámetros para una rotación de bombas automático (PID Avanzado)	114
4.3.1 PID avanzado.....	114
4.3.2 Parámetros para una rotación de bombas automática	115
4.3.3 Operación de un PID avanzado	116
4.3.4 Cambio temporizado de motores auxiliares.....	118
4.4 Parámetros para una comunicación RS-485.....	119
4.4.1 Comunicación RS-485	119
4.4.2 Conectores.....	119
4.4.3 Identificación de pines.....	120
4.4.4 Topología del RS-485	121
4.4.5 Parámetros para una comunicación RS-485	123
4.5 Funciones de protección y diagnóstico (variadores Mitsubishi)	124
4.5.1 Reinicialización del variador de frecuencia.....	126
5. APLICACIÓN REAL EN LA INDUSTRIA CON UN	
 VARIADOR DE FRECUENCIA MITSUBISHI.....	129
5.1 Ambiente de la aplicación	129
5.2 Beneficios del cambio del sistema	129
5.3 Ahorro en el cambio del sistema	133
5.4 Inversión de la aplicación y tasa de retorno	135
CONCLUSIONES	137
RECOMENDACIONES.....	139
BIBLIOGRAFÍA	143

APÉNDICES	145
APÉNDICE 1. Diagrama de conexiones del variador F700	145
APÉNDICE 2. Conexión del circuito de potencia	146
APÉNDICE 3. Señales de control del variador Mitsubishi	147
APÉNDICE 4. Diagrama de conexión del PID.....	150
APÉNDICE 5. Diagramas de conexiones de PID avanzado.....	151
APÉNDICE 6. Listado de parámetros de la serie F700 de Mitsubishi.....	153
APÉNDICE 7. Causa de fallo	160
APÉNDICE 8. Sinopsis de los avisos de error (variadores Mitsubishi)	162

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Tendencias de variadores transistorizados	1
2. Ejemplo de un motor totalmente contenido, enfriado por ventilador	4
3. Relación entre la velocidad del motor, corriente y torque.....	5
4. Comparación de características de torque.....	7
5. Torque constante y rango de salida constante.....	11
6. Patrón ideal V/f	12
7. Patrón V/f con variador	12
8 Circuito equivalente del motor.....	12
9. Corriente de excitación vrs. corriente secundaria.....	13
10. Características de salida de un motor estándar	14
11. Estructura de un variador transistorizado.....	16
12. Circuito convertidor	17
13. Convertidor principal	17
14. Corrientes de entrada principales	19
15. Cómo crear corriente alterna	20
16. Forma de onda AC a 1Hz	20
17. Frecuencia.....	21
18. Circuito inversor básico de 3 fases	21
19. Cómo crear AC de tres fases.....	22
20. Variador transistorizado	23
21. Diagrama de control de bloque V/f.....	24
22. Patrón V/f.....	25
23. Vector de corriente.....	25
24. Diagrama de bloques de control vectorial de flujo magnético.....	26
25. Diagrama de bloques del control vectorial	27
26. Patrón V/F de un variador transistorizado	30

27. Tipos de carga y patrones V/f	31
28. Características de una bomba con energía comercial.....	36
29. Características de un ventilador con energía comercial	37
30. Características de una bomba a diferentes velocidades	39
31. Características dentro del control de válvula.....	40
32. Operación característica del ventilador	44
33. Tipos de carga y efectos del ahorro energético.....	44
34. Cálculo del consumo anual de potencia con energía comercial	49
35. Cálculo de consumo anual de potencia con operación del variador	50
36. Corriente del motor, potencia característica de consumo.....	51
37. Corriente del motor, potencia característica del eje.....	51
38. Gráfica de consumo anual de potencia	52
39. Patrones y efectos de ahorro del variador.....	54
40. Flujo de energía	63
41. Patrón de operación del elevador vrs. consumo de corriente / potencia.....	64
42. Relación de potencia de entrada y salida.....	66
43. Eficiencia del variador y eficiencia total.....	68
44. Forma de onda de entrada de voltaje/corriente.....	69
45. Sin reactor de potencia	72
46. Con reactor de potencia.....	72
47. Ejemplo del ruido del motor	74
48. Función de salto de frecuencia	75
49. Diagrama del sistema de ejemplo	77
50. Circuito equivalente	77
51. Corrientes de fuga principal	81
52. Tipos de ruido	82
53. Propagación del ruido	83
54. Propagación de las corrientes de fuga a tierra.....	86
55. Ejemplos de medidas contra las corrientes de fuga	87
56. Elevación torque de giro	91
57. Frecuencia máxima y mínima	92
58. Frecuencia base de operación.....	93

59. Velocidades preseteadas.....	94
60. Velocidades preseteadas del 1 al 7	95
61. Velocidades preseteadas del 8 al 15	96
62. Tiempos de aceleración y desaceleración	97
63. Diagrama de bloques de un control PID.....	103
64. PID con señal de entrada de desviación	108
65. PID con señal de entrada de valor medio	108
66. Acción PI	109
67. Acción PD.....	110
68. Acción PID.....	110
69. PID Acción inversa.....	111
70. PID acción normal	111
71. Detección de frecuencia PID.....	112
72. Función <i>SLEEP</i>	113
73. Comportamiento de los métodos de PID avanzado	117
74. Cambio de auxiliares en sistema básico y alternativo	118
75. Cambio de auxiliares en sistema directo y alternativo-directo	118
76. Conectores RS-485 en variador de frecuencia.....	120
77. Cableado RS-485	120
78. Trama de Comunicación RS-485.....	121
79. Topología RS-485.....	121
80. Conexión entre Estaciones con RS-485.....	122
81. Reinicialización de variador	127
82. Arranque con sistema actual (estrella-delta)	130
83. Arranque con sistema nuevo (variador de frecuencia)	131
84. Arranque con sistema actual detallado	131
85. Tiempos de arranque con sistema actual.....	132
86. Consumo con sistema actual (estrella-delta).....	133
87. Consumo con sistema nuevo (variador de frecuencia).....	133
88. Diagrama de conexiones del variador F700.....	145
89. Circuito de potencia de un variador e frecuencia	146
90. Señales de control del variador de frecuencia.....	149

91. Diagrama de conexión PID	150
92. Diagrama de conexión PID avanzado sistema básico.....	151
93. Diagrama de conexión PID avanzado en sistema alternativo, directo y alternativo-directo.....	152

TABLAS

I. Comparación del sistema de control	23
II. Tipos de metas tecnológicas.....	65
III. Diferencias entre los armónicos de la alimentación, ruido y corrientes de fuga.....	76
IV. Efectos de las técnicas de reducción del ruido	84
V. Parámetros básicos.....	90
VI, Ajuste del parámetro 79	99
VII. Parámetros de ajuste PID.....	107
VIII. Relaciones de PID.....	112
IX. Parámetros de ajuste PID avanzado	115
X. Ajuste del método de PID avanzado.....	116
XI. Ajuste de parámetros RS-485	123
XII. Lectura adquirida con medidor	134
XIII. Cálculos de ahorro energético	134
XIV. Conexiones de las unidades de alimentación.....	147
XV. Señales de control del variador	148
XVI. Parámetros de la serie F700 de Mitsubishi	153
XVII. Causa de fallo	160
XVIII. Avisos de error	162

GLOSARIO

- Ajuste rápido:** Sistema sencillo de ajuste automático del variador a la emisora. Muchas veces se basa en tocar simplemente un botón del variador.
- Corriente máxima:** Indica la calidad de los transistores empleados en el variador. El máximo de corriente que las baterías pueden dar es de unos 120 amperios, pero cuando más corriente pueda soportar el variador, mejor es la calidad de sus transistores. Las mediciones, y por ello sus valores pueden variar entre fabricantes.
- Diámetro de los cables:** El calibre del cable, es decir su anchura, determina la resistencia que éste ofrece al paso de la corriente. De nada sirve un variador con unos transistores que ofrezcan una resistencia muy baja, si unos cables estrechos ofrecen mucha más resistencia. Por ello cuantos más anchos sean los cables, mejor porque la resistencia será menor. La anchura viene definida por un número de calibre y cuanto menor sea ese número, mayor será la anchura del cable y menor su resistencia.

Frecuencia máxima:

Los variadores electrónicos funcionan como interruptores, es decir permiten o cortan el paso de la corriente muchas veces por segundo. La velocidad variará en función de que predomine el paso o el corte de la corriente. El número de veces que el variador realice esta acción por segundo se denomina frecuencia y se expresa en Hercios (Hz). Cuanto mayor sea la frecuencia, mayor será la progresividad y por tanto la suavidad de funcionamiento. Además a mayor frecuencia mayor duración de las baterías y mayor vida del motor.

Interruptor:

Aunque no es un detalle de gran importancia, hemos creído interesante especificar si el variador lleva o no un interruptor. Algunos variadores no llevan interruptor, solo es necesario tocar un botón para ponerlo en marcha o apagarlo. Otros sí llevan lo que se conoce físicamente como un interruptor, lo que a veces algo molesto de colocar en el coche sin que se suelte. Otros llevan el interruptor unido físicamente al variador, lo que evita los cables y el anclaje al coche.

- Kilowatt-hora (kWh):** Equivale a la energía desarrollada por una potencia de un kilowatt durante una hora. Este se usa generalmente para la facturación de energía eléctrica.
- Limitación de corriente:** Esta función limita la intensidad de corriente que llega al motor, es decir la cantidad de amperios. La limitación de corriente reduce la aceleración, pero no la velocidad punta. Su función es doble, por una parte ahorra energía, que en los valores altos es difícilmente utilizable por el motor, y por otra hace más fácil la conducción ya que evitan aceleraciones excesivas.
- Límite de vueltas del motor:** En general los variadores de alta gama no tienen limitación de la potencia de los motores, que se expresa por su número de vueltas de bobinado. Los variadores que tienen menos transistores y por ello más resistencia, no pueden soportar motores muy potentes.
- Par o Torque de motor:** Es la fuerza capaz de ejercer un motor en cada giro. El giro de un motor tiene dos características: par o torque de motor y velocidad de giro.

Programable:

Esta característica se refiere a la posibilidad de que el mismo piloto pueda acceder y programar una amplia variedad de parámetros, sea mediante aparatos diseñados especialmente, sea mediante su ordenador personal o simplemente mediante los botones que tiene el variador. Según los variadores se pueden programar funciones como el recorrido del acelerador antes de que el coche empiece a moverse, intensidad de la corriente que entra en el motor al iniciar la aceleración, frecuencia de la aceleración y freno, respuesta al acelerador, etc.

Protección térmica:

Los variadores que la tiene llevan un sensor que desconecta los transistores cuando la temperatura sube demasiado. Esta función protege a los transistores y evita que se estropeen por el exceso de temperatura. Algunos variadores pueden tener dos fases, una disminuye la aceleración a la mitad y si la temperatura sigue subiendo la corta totalmente. Esta función no es imprescindible en los variadores de altas prestaciones, ya que se calientan poco debido a su baja resistencia

Resistencia:

Es un parámetro importante en el funcionamiento del variador, ya que en gran parte indica su calidad. Cuando la resistencia es baja la potencia que llega al motor desde las baterías y a través del variador, es mayor. Se expresa en voltios/amperios, es decir la disminución de la tensión al pasar la corriente por el variador por cada amperio suministrado. La resistencia también influye en el calentamiento del variador y en la duración de las baterías.

RESUMEN

Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor. Otra definición sería, los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad y el acople de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de torque y velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

El control de los motores eléctricos mediante conjuntos de conmutación es una solución bien adaptada para el accionamiento de una amplia gama de máquinas. No obstante, conlleva limitaciones que pueden resultar incómodas en ciertas aplicaciones.

Problemás que surgen en el arranque de motores asíncronos.

- El pico de corriente en el arranque puede perturbar el funcionamiento de otros aparatos conectados a la red,
- Las sacudidas mecánicas que se producen durante los arranques y las paradas pueden ser inaceptables para la máquina, así cómo para la seguridad y comodidad de los usuarios,

- Funcionamiento a velocidad constante

Los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos eliminan estos inconvenientes. Adecuados para motores de corriente tanto alterna como continua, garantizan la aceleración y desaceleración progresivas y permiten adaptar la velocidad a las condiciones de explotación de forma muy precisa.

Ventajas de la utilización del variador de velocidad en el arranque de motores asíncronos

- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión del cableado es muy sencilla.
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Limita la corriente de arranque.
- Permite el control de rampas de aceleración y desaceleración regulables en el tiempo.
- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funciona parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia.

- Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo.
- Protege el motor.
- Puede controlarse directamente a través de un autómata o microprocesador.
- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.
- Nos permite ver las variables (tensión, frecuencia, r.p.m., etc...).

Aplicación de los variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

- Transportadoras. Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.
- Bombas y ventiladores centrífugos. Controlan el caudal, uso en sistema de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía por que el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que a la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.

- Bombas de desplazamiento positivo. Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad. Por ejemplo en bombas de tornillo, bombas de engranajes. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.
- Ascensores y elevadores. Para arranque y paradas suaves, movimiento constante y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.
- Extrusoras. Se obtiene una gran variación de velocidades y control total del motor.
- Centrífugas. Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.
- Prensas mecánicas y balancines. Se consiguen arranque suaves y mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios materiales.
- Máquinas textiles. Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo aleatorio para conseguir telas especiales.
- Compresores de aire. Se obtienen arranques suaves con máxima carga y menor consumo en el arranque.
- Pozos petrolíferos. Se usan para bombas de extracción con velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo.

Principales funciones de los variadores de velocidad

Aceleración controlada.

La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en "S". Generalmente esta rampa es controlable y permite por tanto el tiempo de aceleración adecuado a la aplicación.

Variación de velocidad.

Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama "bucle abierto".

La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamada referencia. Para un valor dado de la referencia, esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

Regulación de la velocidad

Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado. Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina "bucle abierto".

Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión/frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar velocidad a su valor inicial. Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones.

Desaceleración controlada

Cuando se desconecta un motor, su desaceleración se debe únicamente al torque resistente de la máquina (desaceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la desaceleración mediante una rampa lineal o en "S", generalmente independiente de la rampa de aceleración.

Esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula.

Si la desaceleración deseada es más rápida que la natural, el motor debe desarrollar un torque resistente que se debe sumar al torque resistente de la máquina; se habla entonces de un frenado eléctrico que puede efectuarse reenviando energía a la red de alimentación, o disipándola en una resistencia de frenado.

Si la desaceleración deseada es más lenta que la natural, el motor debe desarrollar un torque de motor superior al torque resistente de la máquina y continuar arrastrando la máquina hasta su parada.

Inversión del giro

La mayoría de los variadores actuales tiene implementada esta función. La inversión de la secuencia de las fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la consigna de entrada, o por una orden lógica en un borne, o por la información transmitida a mediante una red.

Frenado

Este frenado consiste en parar un motor sin controlar la rampa de desaceleración. Con los arrancadores y variadores de velocidad para motores asíncronos, esta función se realiza de forma económica inyectando una corriente continua en el motor, haciendo funcionar de forma especial la etapa de potencia. Toda la energía mecánica se disipa en el rotor de la máquina y, por tanto, este frenado solo puede ser intermitente. En el caso de un variador para motor de corriente continua, esta función se realiza conectando una resistencia en los bornes de inducido.

Protección integrada

Los variadores aseguran tanto la protección térmica de los motores cómo su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo.

Además, los variadores y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protección contra:

- Los cortocircuitos entre fases, y entre fase y tierra,
- Las sobretensiones y caídas de tensión,
- Los desequilibrios de fases,
- El funcionamiento en monofásico,
- Etc.

OBJETIVOS

General:

Lograr entender los fundamentos de un variador de frecuencia y lograr aplicarlo principalmente en el ahorro de energía y sus diferentes aplicaciones en la industria.

Específicos:

1. Los diferentes tipos de aplicaciones que pueden tener un variador de frecuencia.
2. Programar adecuadamente el variador de frecuencia según la aplicación.
3. Reducir costos de operación con el uso de variadores de frecuencia.
4. Calculo del ahorro de energía usando variadores de frecuencia.
5. Conocer los últimos avances y desarrollos de la automatización industrial.

INTRODUCCIÓN

Una gran parte de los equipos utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, cómo por ejemplo los trenes laminadores, los mecanismos de elevación, las máquinas-herramientas, etc. En los mismos se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado, o garantizar la seguridad de personas y bienes.

El estudio de este fenómeno para cada caso particular tiene una gran importancia práctica, ya que la elección correcta de las características de los motores y variadores a instalar para un servicio determinado, requieren el conocimiento de las particularidades de éste producto.

La regulación de velocidad puede realizarse por métodos mecánicos, cómo poleas o engranajes, o por medios eléctricos.

La máquina de inducción alimentada con corriente A.C., especialmente la que utiliza un rotor de jaula de ardilla, es el motor eléctrico más común en todo tipo de aplicaciones industriales y el que abarca un margen de potencias mayor. Aún así no basta conectar un motor a la red para utilizarlo correctamente, sino que existen varios elementos que contribuyen garantizar un funcionamiento seguro.

La fase de arranque merece una especial atención. El torque debe ser el necesario para mover la carga con una aceleración adecuada hasta que se

alcanza la velocidad de funcionamiento en régimen permanente, procurando que no aparezcan problemas eléctricos o mecánicos capaces de perjudicar al motor, a la instalación eléctrica o a los elementos que hay que mover.

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad. La velocidad del motor asíncrono depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación. Como la frecuencia de alimentación que entregan las compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el resbalamiento o la frecuencia.

El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. No se requieren motores especiales, son más eficientes y se tienen precios más competitivos.

El variador de frecuencia regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

1. BASES DEL VARIADOR

1.1 Tendencias de tecnología de los variadores transistorizados

En controladores de variadores de velocidad de motor, los motores de corriente directa (CD) los cuales requerían mantenimiento de escobillas fueron remplazados hace 20 años por los variadores transistorizados que manejan motores de inducción. Desde entonces, los variadores han sido mejorados para cumplir con las necesidades de mercado, soportados por la potencia de los transistores (circuito principal), los circuitos integrados y las microcomputadoras (circuito de control).

La figura 1 indica las tendencias de la tecnología de los variadores transistorizados. Los variadores fueron creciendo según el desarrollo de los componentes, dispositivos semiconductores fueron progresando para hacer que los variadores más compactos en tamaño y de mejor funcionamiento, la tecnología del variador fue mejorada junto con sus aplicaciones.

Figura 1. Tendencias de variadores transistorizados

Año		1980	1985	1990	1995	2000
Aplicaciones		Necesidades de ahorro de energía		Necesidades de automatización		
Niveles sofisticados		Versatilidad general	Controlabilidad mejorada	Funciones realzadas	Funcionamiento mejorado	Medidas anti-contaminacion
Tendencias tecnologicas	Circuito principal	Tiristor Módulo transistorizado		Transistor de alta ganancia IGBT IPM		
	Componentes del circuito de control	IC	Microcomputadora de 8 bit			
		LSI	Microcomputadora de 16 bit		DSP	RISC
	Sistema de control	PAM	PWM	Sine-wave PWM	Controles digitales	PWM liviano
				Alto acarreo de frecuencia PWM	Control vectorial de flujo magnetico	Control vectorial de flujo magnetico avanzado

- **Módulo transistorizado:** Transistores de potencia son combinados para hacer un paquete completo. Mejora el tamaño compacto y la productividad de los variadores.
- **Transistor de alta ganancia:** Controla gran corriente con un bajo nivel de señal de control (corriente de base). Simplifica el control del circuito y reduce la generación de calor.
- **IGBT:** Transistor para cambios rápidos (10kHz) o más. Alto acarreo de frecuencia PWM resuelve el problema de ruido durante la operación de motor.
- **IPM (Módulo inteligente de potencia):** Módulo transistorizado integrado con el controlador de circuito base y funciones de protección. Esto hace el tamaño compacto y mejora el funcionamiento.
- **DSP (Procesador de señal digital):** Microprocesador exclusivamente diseñado para operación digital rápida. El control vectorial de flujo magnético es ejercitado por un motor estándar para lograr un alto torque y una baja velocidad.

- RISC (Set de instrucciones reducidas de computadora): Computadora simplificada en instrucciones y formatos de instrucción de asegurar la operación rápida. Incrementando el proceso de velocidad, realiza el control de flujo vectorial avanzado el cual habilita un gran torque y una operación extremadamente estable a baja velocidad.

1.2 Características del variador

Esta sección explica las características fundamentales el cual será esencial para la selección por capacidad cuando un motor trifásico de jaula de ardilla es controlado por un variador.

Ya que la operación con la energía comercial y la operación con el variador difiere de las características del motor.

1.2.1. Qué es un motor?

En resumen, un motor es un dispositivo que convierte la energía eléctrica a una fuerza rotativa (torque), es decir, energía mecánica. Esta fuerza rotativa es utilizada para realizar varios trabajos.

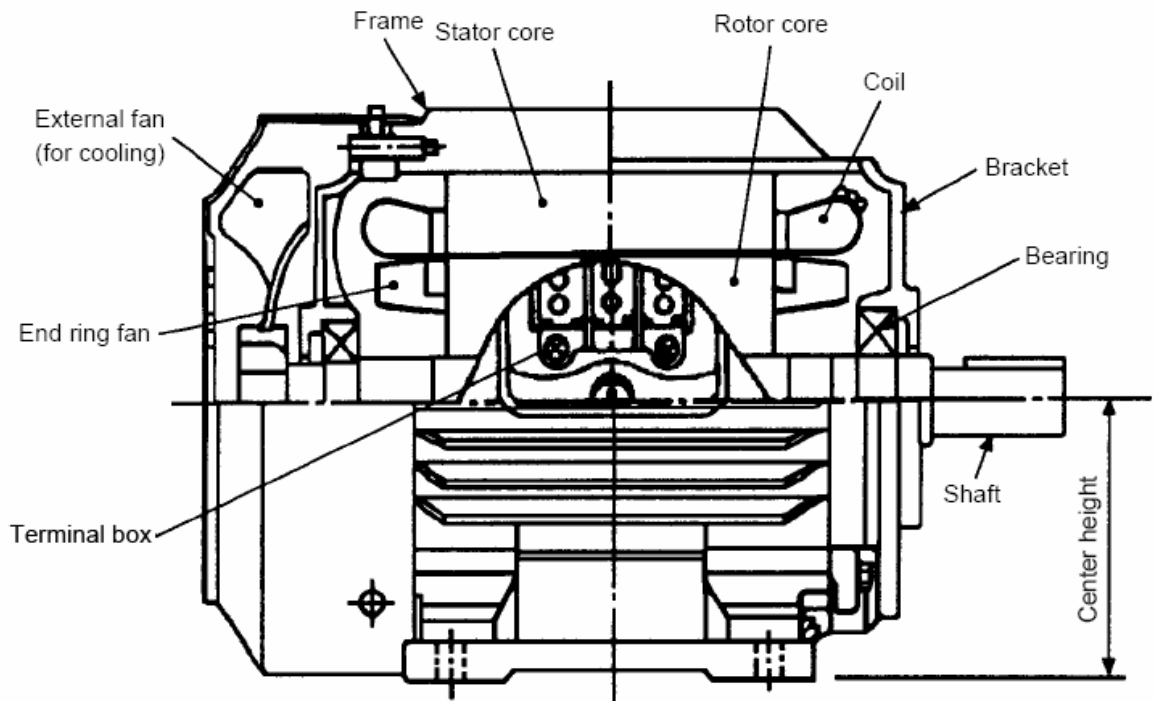
$$\text{Salida de motor} = \text{Fuerza rotativa (torque)} \times \text{velocidad} = \text{fuerza} \times \text{velocidad.. (1.1)}$$

1.2.2. Estructura del motor

Por la estructura simple y rígida de un motor de jaula de ardilla puede ser usado en una gran variedad de ambientes cómo al aire libre, ambiente húmedo y ambientes explosivos.

Desde el aspecto de la estructura, los motores son largamente clasificados por el tipo de estructura del motor, tipo de ventilación y protección de humedad. La figura 2 muestra un ejemplo de un motor totalmente contenido con ventilación a ventilador. La estructura es dividida en un área estacionaria y un área rotativa, cada uno consistiendo de partes mecánicas y partes eléctricas. El ventilador externo acoplado al eje para evitar que el motor se caliente. Cuando el motor es controlado por el variador a una baja velocidad, el efecto de enfriamiento del ventilador reduce. Para suprimir el aumento de temperatura del motor sin el valor específico, la carga de torque permisible debe de ser reducido.

Figura 2. Ejemplo de un motor totalmente contenido, enfriado por ventilador

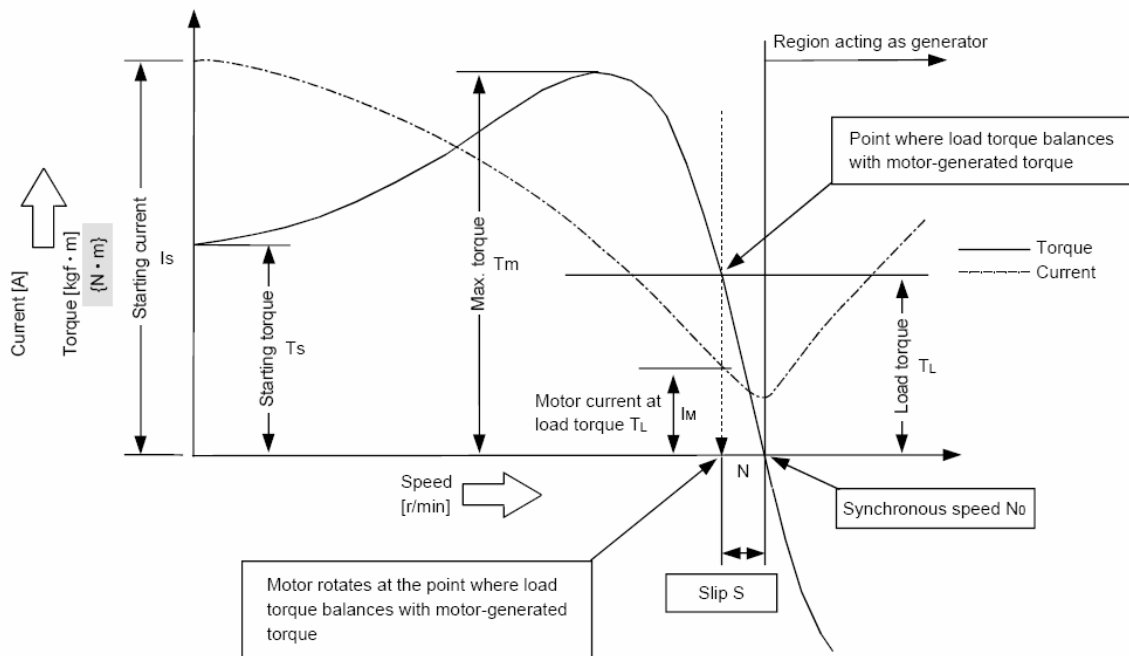


1.2.3 Características básicas del motor

(1) Curva torque / corriente

La figura 3 muestra la característica del motor cuando es directamente conectado a la energía eléctrica comercial.

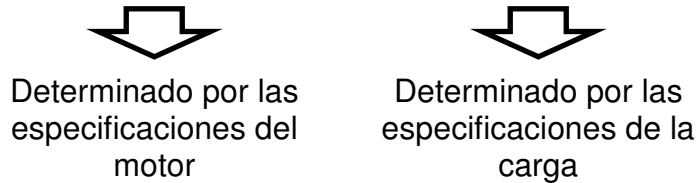
Figura 3. Relación entre la velocidad del motor, corriente y torque



(2) Velocidad del motor

La velocidad del motor es determinada por el número de polos y la magnitud de la frecuencia de la energía eléctrica aplicada.

$$\text{Velocidad del motor } N = \frac{120 \times \text{frecuencia } f \text{ (Hz)}}{\text{Numero de polos } P} \times (1-S) \text{ [r/min]} \dots\dots\dots (1.2)$$



Para la operación del variador, la frecuencia f es variada cómo es deseada la velocidad del motor.

(3) Qué es el torque nominal de motor?

La “fuerza” producido por un motor es llamado torque. La fuerza es generalmente representado por {kgf} en un movimiento lineal, la fuerza del motor es indicado por el torque, ya que el eje del motor gira para producir la “fuerza”.

“Fuerza rotativa en movimiento” = torque {kgf •m}

El valor del torque nominal del motor puede ser calculado por la expresión (1.3)

$$\text{Torque Nominal } T_m = 974 \times \frac{\text{Potencia nominal del motor } P \text{ [kW]}}{\text{Velocidad nominal } N \text{ [r/min]}} \text{ {kgf} \cdot \text{m}} \dots\dots\dots (1.3)$$



Nota: La “velocidad nominal” indica la velocidad que trabaja en el torque nominal del motor, y cuando el voltaje y frecuencia nominal es aplicado. El torque nominal del motor no es el torque producido por el motor, es el torque de carga permitido si la operación continua es llevada a cabo a la velocidad nominal.

1.2.4 Características del motor controlado por un variador en torque y corriente

La figura 4 muestra las características de torque comparado entra la operación con energía comercial y la operaron con variador. El porcentaje [%] denota la relación del torque del motor con el torque nominal. (Ejemplo: Motor de 4 polos)

Figura 4. Comparación de características de torque

	Operación con Energía Comercial	Operación con Variador
Curva Velocidad - Torque		
Características	<ul style="list-style-type: none"> • El torque de arranque (T_s) y la corriente de arranque (I_s) son largos. • La velocidad es fijada por la frecuencia de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> • Ya que la corriente de arranque es suprimida, el motor comienza a baja frecuencia, el torque es pequeño también. • Cualquier velocidad puede ser variado independientemente de la frecuencia de la alimentación.

(1) Valores característicos aproximados cuando un motor estándar en usado con energía comercial

- Corriente de arranque $I_s = 600$ a 700 [%]
- Torque de arranque $T_s = 150$ a 250 [%]
- Torque máximo $T_m = 200$ a 300 [%]
- Deslizamiento de carga nominal $S = 3$ a 5 [%]

(2) Torque de arranque y corriente de arranque de un motor operado por variador

- 1) Ya que el motor es acelerado con su corriente de arranque y aceleración dentro de la corriente de sobrecarga (150% de la potencia nominal de operación), el torque de arranque y torque de aceleración son pequeños a comparación del torque que se genera con energía comercial. En consecuencia de esto, el choque de inicio es más pequeño.
- 2) Cuando la capacidad del variador usado es un tamaño más grande que el tamaño del motor, el torque de arranque y de aceleración incrementa con el incremento de la capacidad de sobrecarga.
A 10 Hz. o menos y el valor de torque estándar de arranque (ajuste de fabrica), de cualquier manera, el torque de arranque no incrementara si la capacidad del variador es incrementada por un tamaño, ya que un 150% o más corriente no fluirá debido a la caída de voltaje del motor.

1.2.5 Patrón V/f y torque de arranque

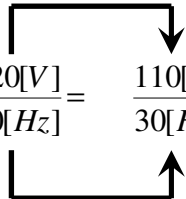
(1) Cuando el variador es usado para variar velocidad, por que también varia el voltaje?

Para variar la velocidad del motor, solo la frecuencia debe de ser variado cómo lo indica la expresión (1.2). De cualquier manera, si la salida de frecuencia es menor de 50 Hz con el voltaje constante, el flujo magnético del motor incrementa (es saturado) y la corriente incrementa, cambiando el motor de sobrecalentamiento a quemarse.

Esto puede prevenirse haciendo el flujo magnético constante. Desde que la magnitud del flujo magnético es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la frecuencia cómo es indicado en la expresión (1.4), la aplicación de un voltaje el cual siempre establece esta relación resolverá este problema.

$$\text{Flujo magnético} \propto \frac{\text{Voltaje } V}{\text{Frecuencia } f} = \text{Cte. (1.4)}$$

Suponiendo que la velocidad sea reduzca a la mitad (de 60Hz a 30Hz),

$$\frac{V}{f} = \frac{220[V]}{60[Hz]} = \frac{110[V]}{30[Hz]} = \text{Cte. (1.5)}$$


* Actualmente, se hace ligeramente mayor la caída de tensión de compensación del motor.

Cuando la temperatura del motor es tomado en consideración, el problema puede ser resuelto cambiando el voltaje, pero es necesario examinar el torque en este punto.

(2) Torque generado por el motor

La relación entre el voltaje (V) aplicado al motor, la frecuencia (f) y el torque es representado por la expresión (1.6)

$$\text{Torque } T = K \times \frac{V}{f} \times I \dots\dots\dots(1.6)$$

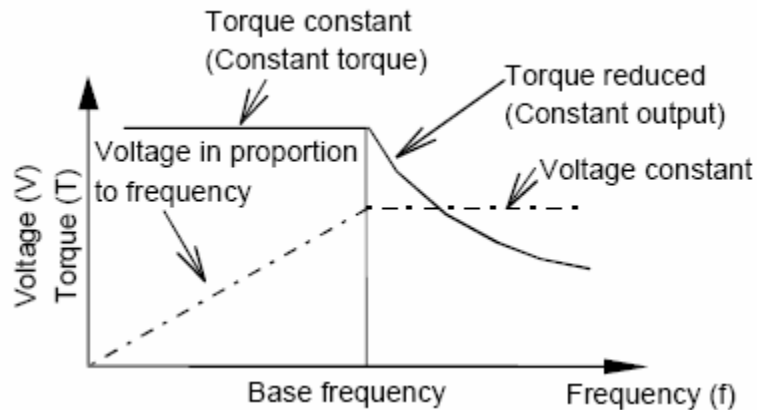
K: Constante I: Corriente

1) El torque es constante si la relación de V y f es constante.

2) Cuando el voltaje (V) es constante y solo la frecuencia (f) varía, el torque es inversamente proporcional a la frecuencia si la corriente del motor es constante.

- La relación entre el voltaje y el torque con relación a los cambios de frecuencia se muestra en la figura 5. La relación entre la salida de voltaje y la salida de frecuencia del variador es llamado “patrón V/f”, el cual es un factor importante en el control del motor.

Figura 5. Torque constante y rango de salida constante



(3) Qué es el torque de arranque?

La salida de voltaje del variador debe de ser proporcional a la frecuencia ($V/f = \text{constante}$) debajo de la frecuencia base cómo es mostrado en la Sección (2). De cualquier manera, el devanado primario del motor tiene resistencias y reactancias (llamadas impedancias colectivas) cómo es mostrado el circuito equivalente en la figura 8, y esas impedancias causan una caída de voltaje, reduciendo el torque generado por motor.

En un motor estándar, el devanado es diseñado en consideración de la caída de voltaje a 50Hz o 60 Hz. Cuando el motor estándar es controlado por un variador, el voltaje varía en la proporción para un cambio en la frecuencia f de salida. Especialmente en la región de baja frecuencia donde el voltaje es bajo, por tanto, una caída de voltaje es alta y el torque generado por el motor es mucho más pequeño que lo que se genera con la energía comercial. Por lo tanto, en la región de baja frecuencia, el voltaje es incrementado por un ΔV dado en la expresión (1.8) para hacer frente a la caída de voltaje suprimiendo el torque de salida del motor. En compensación por el voltaje de ΔV cómo es mostrado en la figura 7 es llamado Torque de Arranque.

Figura 6. Patrón ideal V/f

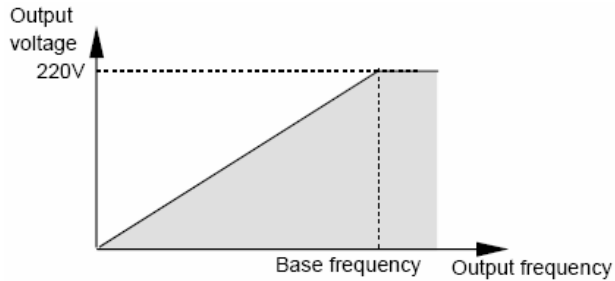


Figura 7. Patrón V/f con variador

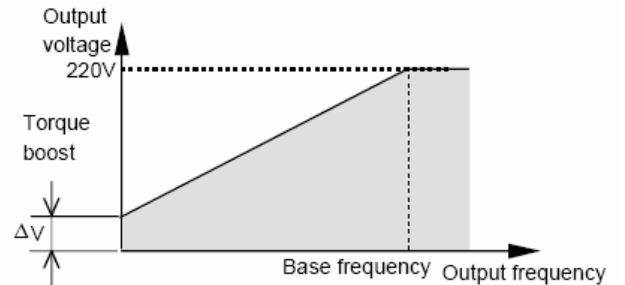
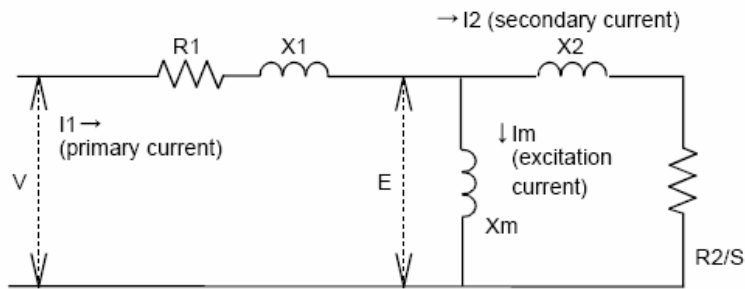


Figura 8 Circuito equivalente del motor



- V : Voltaje Primario
- E : Voltaje primario inducido
- R1: Resistencia Primaria
- X1: Reactancia de fuga Primaria
- Xm: Reactancia de Excitación
- R2: Resistencia Secundaria
- X2: Reactancia de fuga Secundaria
- S : Deslizamiento

En una ecuación de voltaje

$$E = V - I_1 (R_1 + jX_1) \dots \dots \dots (1.7)$$

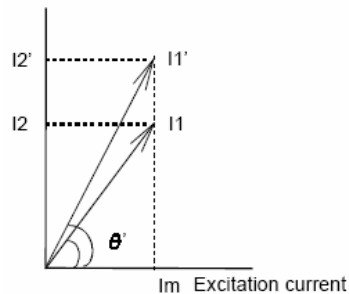
$$= V - \Delta V \dots \dots \dots (1.8)$$

donde $\Delta V = I_1 (R_1 + jX_1)$

$$I_1 = I_2 + jI_m$$

Un torque de Arranque es fijado según la caída de voltaje de ΔV . De cualquier manera, el control de flujo magnético es ejercitado por un vector aritmético para hacer que el voltaje primario inducido constante (E) si la corriente secundaria varia (I_2), estabilizando la corriente de excitación I_m y dando gran torque.

Figura 9. Corriente de excitación vrs. corriente secundaria



(4) Operación arriba de 50Hz o 60Hz

Ya que el variador no provee una salida de voltaje más alto que su voltaje de alimentación, la salida de voltaje es constante arriba de 50Hz o 60Hz de frecuencia (frecuencia base).

Ya que solo la frecuencia es cambiada, el torque es inversamente proporcional a la frecuencia si la corriente del motor es la misma, cómo es indicado en la expresión (1.7). Esta región es llamada "Salida constante".

1.2.6 Características de salida de un motor estándar

Lo siguiente son las características de salida de un motor Mitsubishi jaula de ardilla (4 polos) usado con un variador de la misma capacidad.

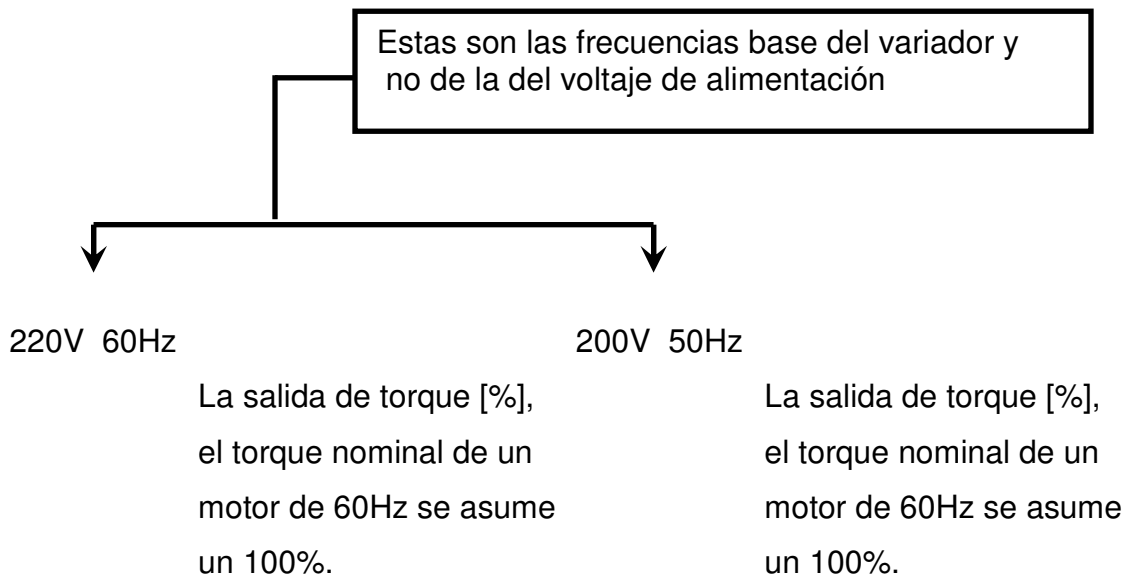
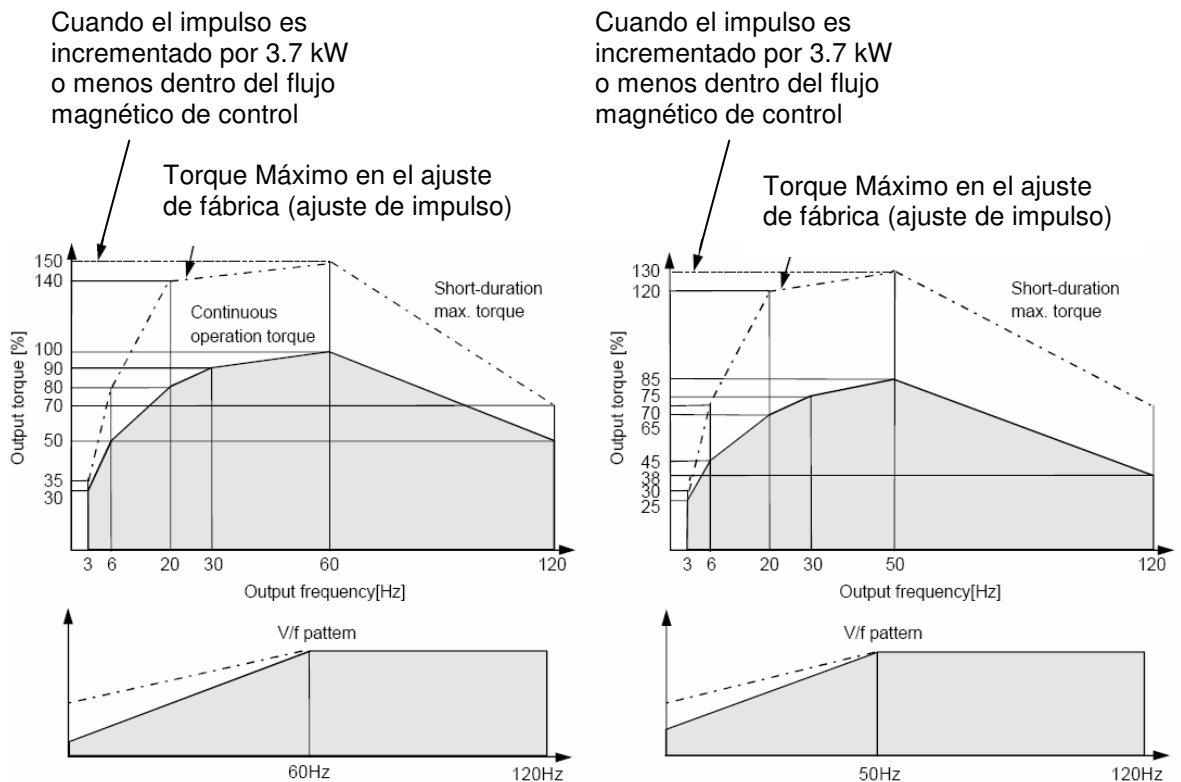


Figura 10. Características de salida de un motor estándar



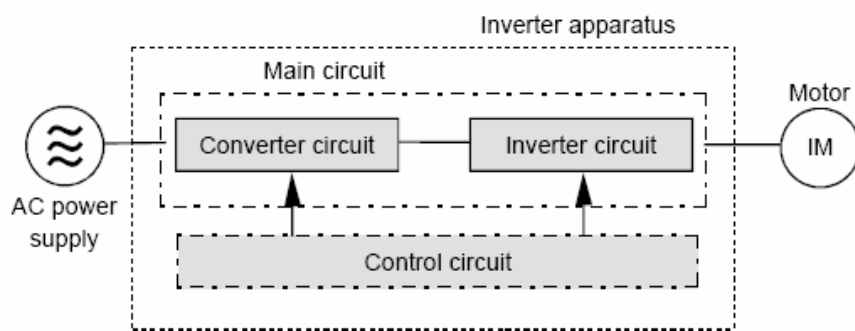
- (1) El torque de operación continua es permisible en el torque de carga, restringido por el incremento de la temperatura del motor. No es el valor máximo del torque generado por el motor.
- (2) El torque máximo de corta duración es el torque máximo generado por el motor sin llegar a la capacidad de sobrecarga del variador (150%). En consecuencia, incrementando la capacidad del variador, incrementa el torque máximo. La corta duración del torque máximo de corta duración indica la corriente de sobrecarga permisible que pasa por el variador, menos de 1 minuto.

1.3 Estructura básica y operación principal del variador de frecuencia

1.3.1 Estructura del variador de frecuencia

El variador transistorizado que produce potencia AC de cualquier frecuencia de la energía comercial (50Hz o 60Hz AC) para hacer funcionar un motor a una velocidad variable es estructurado cómo es mostrado en la figura 11. Es decir, el variador esta formado por el circuito convertidor diseñado para convertir energía comercial a corriente directa y el circuito de variador que esta diseñado para convertir la corriente directa a corriente alterna de frecuencia variable, y el circuito de control que controla los circuitos antes mencionadas. El convertidor hacia adelante es diseñado para convertir AC a DC es llamado circuito convertidor, y el convertidor reversible es diseñado para convertir DC a AC es llamado circuito Inversor. En un variador transistorizado, todo el dispositivo incluyendo el circuito convertidor es llamado variador.

Figura 11. Estructura de un variador transistorizado

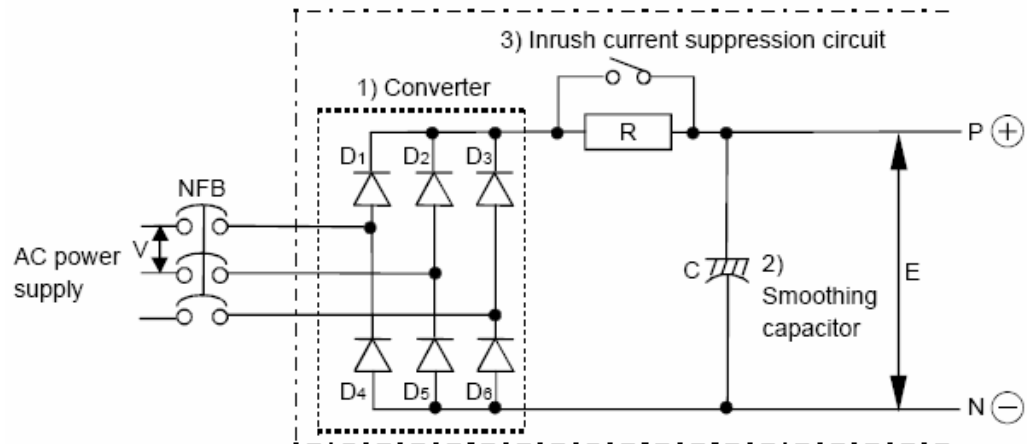


1.3.2 Operación del circuito convertidor

Cómo es descrito en la sección 1.3.1, el área que hace la potencia DC usado en el circuito variador es llamado convertidor. Cómo se muestra en la figura 12, el circuito convertidor consiste:

- 1) El convertidor que realiza una rectificación completa de tres fases.
- 2) Capacitor suavizador el cual suaviza los pulsos, y
- 3) Circuito que suprime las corrientes que fluyen cuando el capacitor suavizador es cargado.

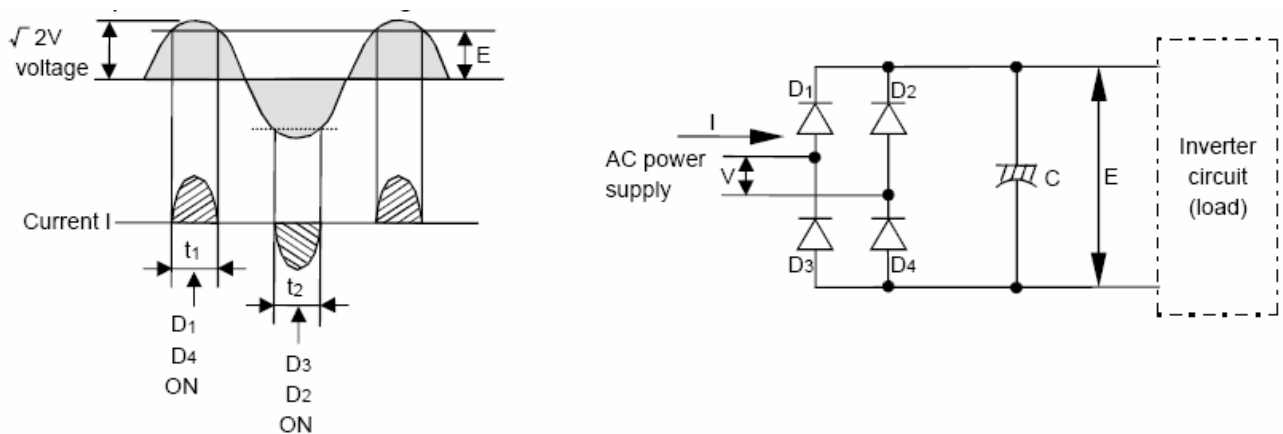
Figura 12. Circuito convertidor



(1) Principio del circuito convertidor

Lo siguiente explica la forma de onda de la corriente de alimentación AC que aparece cuando DC es generado por una fase de potencia AC mostrada en la figura 13.

Figura 13. Convertidor principal



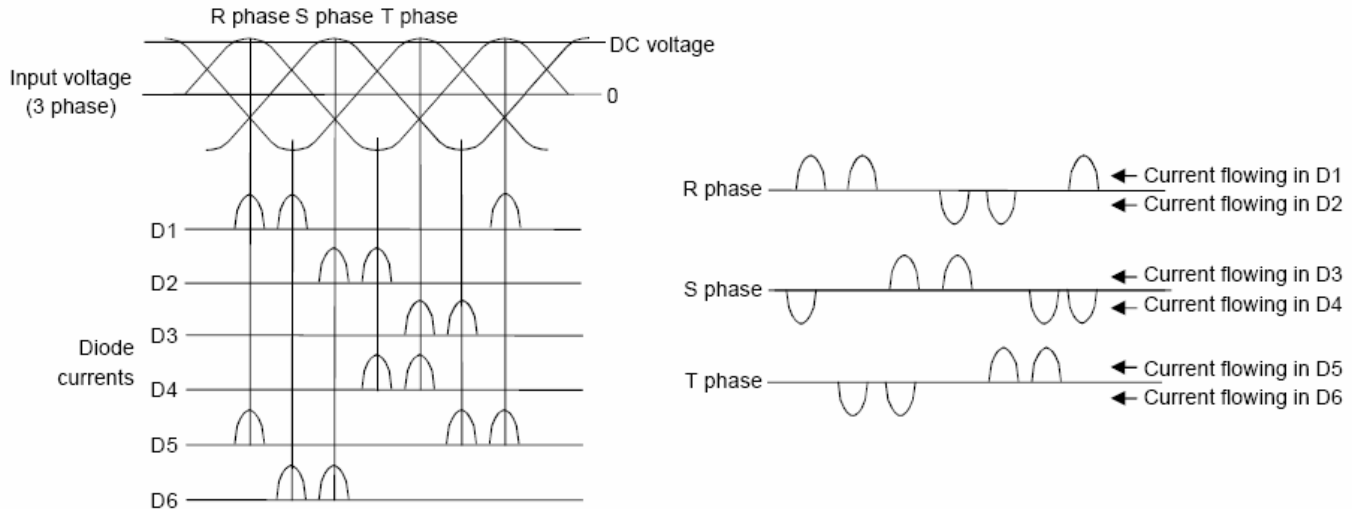
- Cuando la onda senoidal de voltaje de el valor efectivo V (el voltaje de pulso PWM $\sqrt{2}x V$) es la entrada de la energía de alimentación AC al convertidor, una corriente fluye por los diodos D1, D4 solo en la porción t1 donde el potencial es más alto que un voltaje E de la sección de salida del convertidor (DC).
- Si la mitad del ciclo donde el voltaje AC es negativo, los diodos D2 y D3 conducido en la porción t2, alimentando con una corriente negativa del lado negativo AC. La entrada de corriente AC del circuito convertidor no es una onda seno, pero una corriente de forma de onda distorsionada incluyendo armónicos.

(2) Corrientes de alimentación estacionarias AC (tiempo de operación del motor)

Cuando seis diodos son usados para rectificar una onda completa de potencia AC en una entrada de 3 fases, los diodos conducen en los tiempos que demuestran en la figura 14 y la entrada de corriente de forma de onda distorsionada cómo en una fase de potencia de alimentación.

El capacitor de suavizado C , suaviza la forma de onda rectificada de tres fases por los diodos a DC teniendo unos cuantos pulsos. A una parada de variador, el voltaje DC esta arriba $\sqrt{2}$ de veces (aprox. 280VDC a 200VAC) que el voltaje de de alimentación AC. Durante la operación del variador, el voltaje DC varía ligeramente con la salida (Torque/velocidad).

Figura 14. Corrientes de entrada principales



1.3.3 Operación del circuito inversor

(1) Cómo hacer AC de DC

El circuito de variador hace potencia AC de potencia DC. Su principio fundamental se describe para la conversión de la DC en una sola fase AC utilizando una lámpara como una carga en lugar del motor como un ejemplo mostrado en la figura 15.

Encendiendo y apagando cuatro switches S1 a S4 conectados al voltaje de alimentación DC hace AC como se muestra en la figura 16.

- Cuando los switches S1 y S4 están encendidos, una corriente fluye en la lámpara L en dirección de la flecha A.

- Cuando los switches S2 y S3 están encendidos, una corriente fluye en la lámpara L en dirección de la flecha B.

Por lo tanto, alternando el encendido y apagado de los switches S1, S4 y los switches S2, S3, crean una corriente alterna el cual invierte la corriente que fluye en la lámpara L alternamente,

Figura 15. Cómo crear corriente alterna

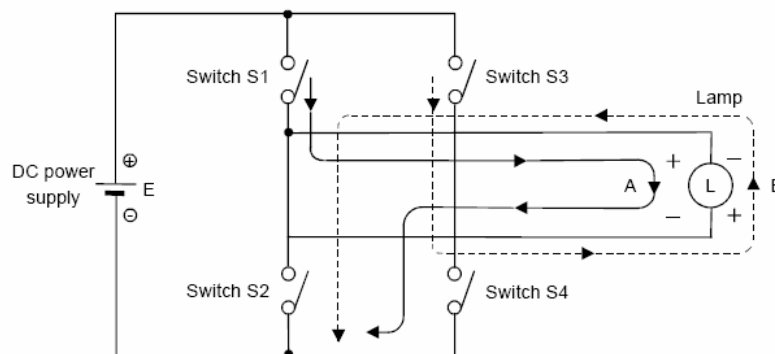
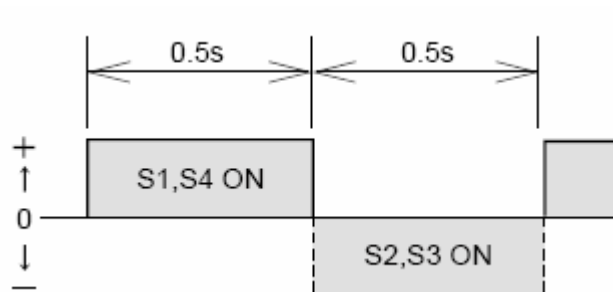


Figura 16. Forma de onda AC a 1Hz

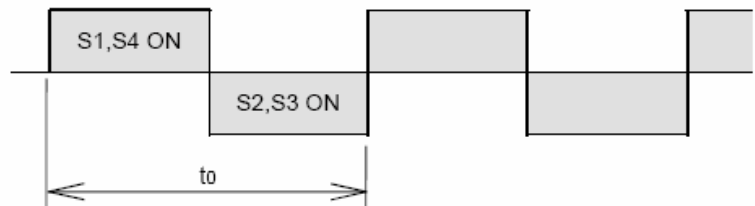


(2) Cómo variar la frecuencia

El tiempo de encender y apagar switches es variado para cambiar la frecuencia. Por ejemplo, repitiendo encendiendo S1 y S4 por 0.5 segundos y encendiendo S2 y S3 por 0.5 segundos cómo es mostrado en la figura 16, crea una corriente alternativa cuya dirección es invertida una vez en 1 segundo, es decir, corriente alterna cuya frecuencia es de 1Hz.

Figura 17. Frecuencia

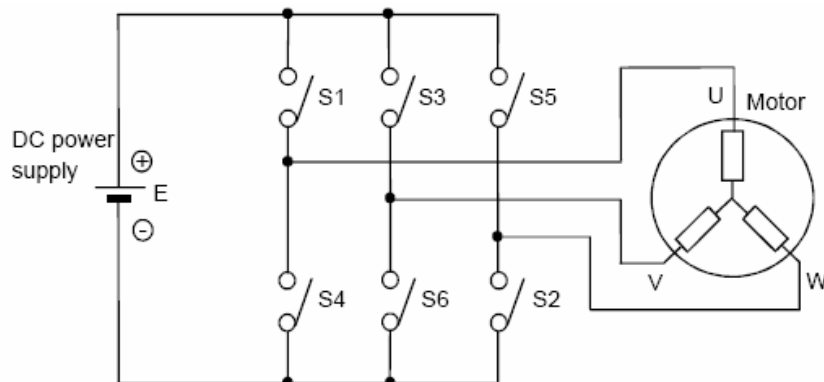
$$f = \frac{1}{t_o} \text{ [Hz]}$$



(3) Tres fases AC

El circuito básico de un inversor de tres fases es mostrada en la figura 18.

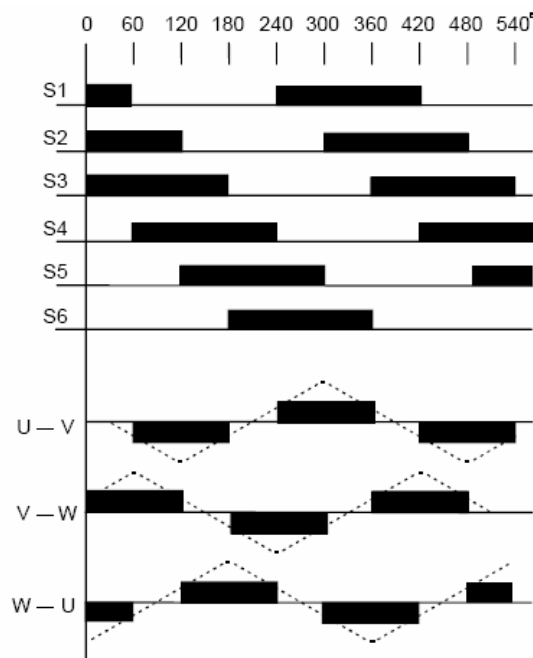
Figura 18. Circuito inversor básico de 3 fases



Cuando los switches S1 al S6 son encendidos y apagados en el orden que se demuestran en la figura 19, igualdad de intervalo de pulso de onda son dados entre U-V, V-W, y W-U, una onda rectangular de voltaje AC son aplicados al motor.

Cambiando los periodos de encendido y apagado de estos switches, se cambia la frecuencia deseada al motor, y cambiando el voltaje DC, él también permite el voltaje de alimentación del motor para ser variado al mismo tiempo.

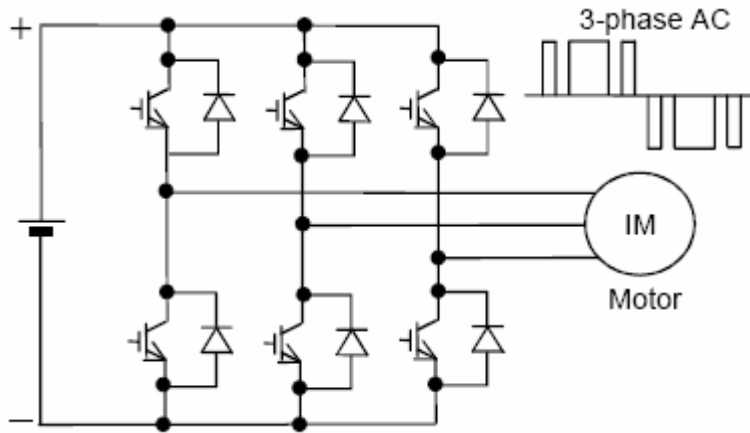
Figura 19. Cómo crear AC de tres fases



(4) Estructura del circuito de variador

En el variador actual, seis transistores (IGBTs) son usados en lugar de switches para configurar el circuito cómo es mostrado en la figura 20. Con un motor trifásico conectado, los transistores son encendidos y apagados alternamente para controlar el motor. Cambiando la secuencia de encendido y apagado de los transistores, cambia el giro del motor.

Figura 20. Variador transistorizado



1.4 Sistemas de control del variador

Tabla I. Comparación del sistema de control

Artículo	Control V/f	Control vector de flujo magnético	Control vectorial
Motor usado con variador	Motor estandar (Mitsubishi, otros)	Motor estandar (Mitsubishi, otros)	Motor dedicado Motor standard (Mitsubishi) (Mitsubishi, otros)
Funcion auto tuning	Inecesario	como estandar	Necesario
Torque de arranque / baja velocidad (tiempo corto)	1Hz: 30% o menos 3Hz: 30% 6Hz: 80%	1Hz: 150% 3Hz: 150% 6Hz: 150%	1r/min: 150% 90r/min: 150% 180r/min: 150%
Detector de velocidad (PLG)	Inecesario	Inecesario	Inecesario
Control de rango de velocidad	1:10	1:20	1:1500
Compensacion de deslizamiento	Si / No	No	Si
	Características	Fluctuacion de velocidad: 2% al 5% (Depende de la magnitud de la carga)	Fluctuacion de Velocidad: 1% (No influenciado por la carga)
Control de torque	No	Si	Si
Control de velocidad	Habilitado por PLG + opcion	Habilitado por PLG + opcion	como estandar
Control de nivel de respuesta	20rad/s	20 a 30rad/s	2000rad/s
Aplicaciones	Ventiladores, bombas, maquinaria industrial en general	Maquinaria industrial en general, maquinas de transferencia, aplicaciones levantamientos verticales, etc.	Levantamientos verticales, control de lineas, etc.

1.4.1 Control V/f

Cuando la frecuencia (f) es variado, la relación de voltaje de salida (V) se vuelve constante cómo es indicado en la línea punteada en la figura 22.

En este sistema, un torque no se desarrolla suficiente desde que el voltaje actual es reducido a una caída de voltaje en el cableado y el devanado primario del motor. El fenómeno tiene una gran influencia en las velocidades bajas. Por tanto, una caída de voltaje es pre-estimado, y el voltaje es incrementado por una cantidad indicado por la línea continua en la figura 22 para compensar la escasez de torque a baja velocidad. Esto es llamado Torque de Arranque.

* Si el torque de arranque es muy grande, el torque generado es suficiente, pero una corriente excesiva fluye, causando que el variador sea más propenso a tener una sobrecorriente (OCT).

Figura 21. Diagrama de control de bloque V/f

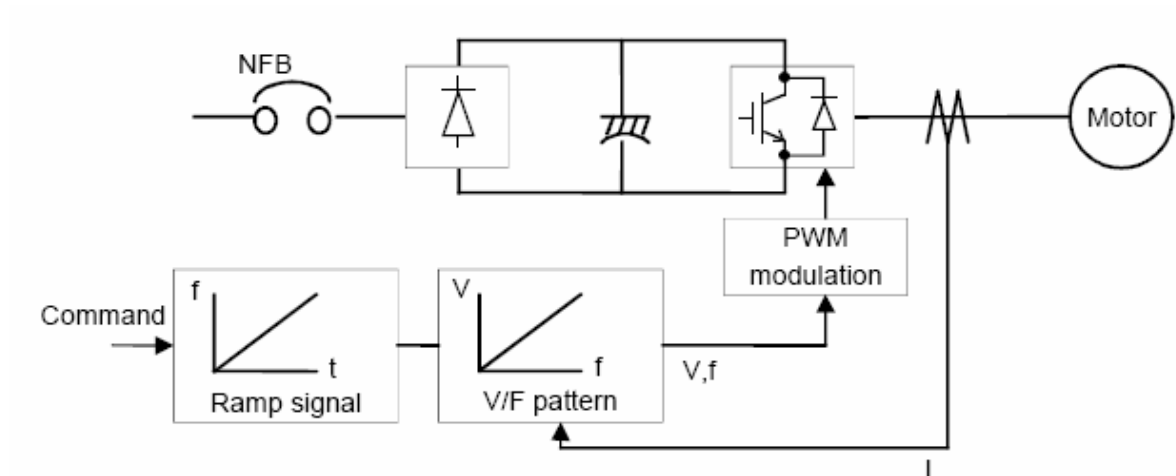
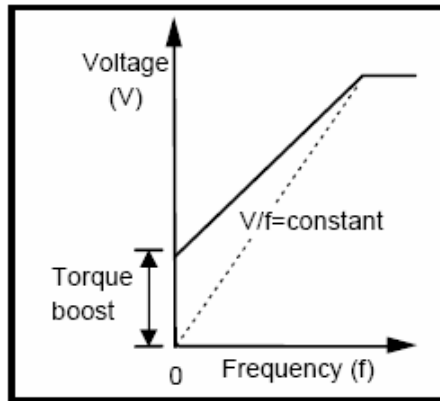


Figura 22. Patrón V/f

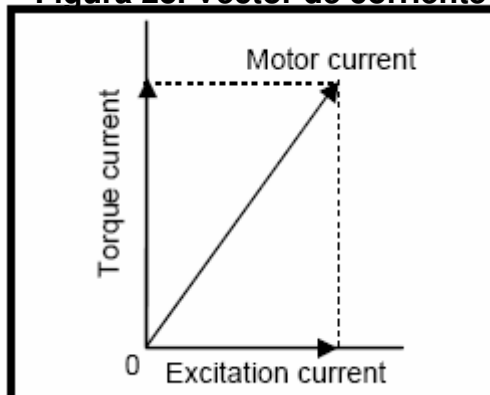


1.4.2 Control vector de flujo magnético

La salida de corriente del variador es dividido en una corriente de excitación y una corriente de torque por el vector de operación, la frecuencia y el voltaje son compensados por una corriente de alimentación apropiado al torque de carga para mejorar el torque en velocidad baja y la precisión de velocidad.

- La corriente de salida (corriente de motor) del variador es dividido en una corriente de excitación (corriente requerida para generar el flujo magnético) y la corriente de torque (corriente proporcional al torque de carga) por la operación de vector acordando por cada fase de la corriente relativa a la salida de voltaje.

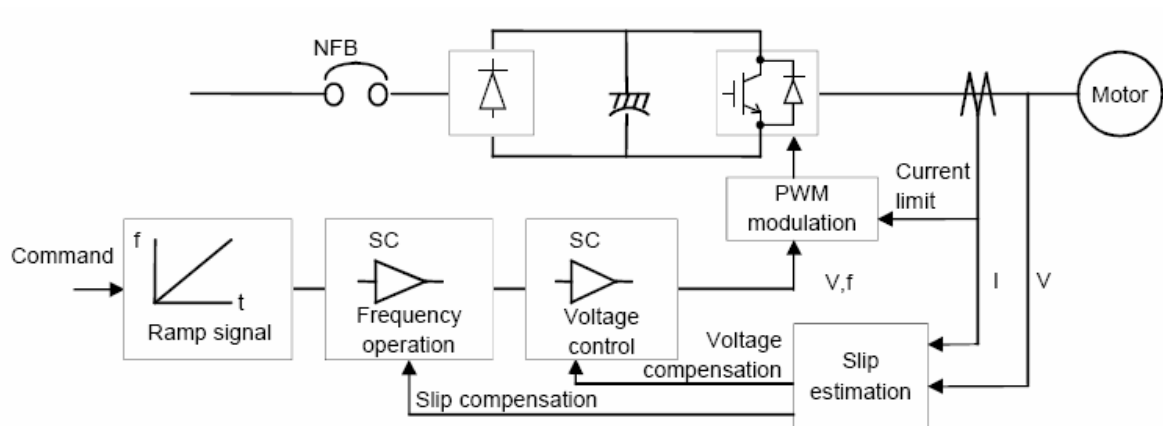
Figura 23. Vector de corriente



- La velocidad actual del motor es estimada de la corriente de torque para compensar (el aumento o disminución) la salida de frecuencia para alcanzar la salida deseada.
- Cuando la corriente del motor varía con la fluctuación de carga, la caída de voltaje del devanado primario del motor (incluyendo el cableado) también cambia, influenciando la magnitud de la corriente de excitación.

Esta caída de voltaje es encontrada en el motor, las constantes primarias del cableado primaria, la magnitud de la corriente de torque, y la salida de voltaje del variador es compensado para (incrementar o decrementar) mantener el flujo magnético primario del constante del motor.

Figura 24. Diagrama de bloques de control vectorial de flujo magnético

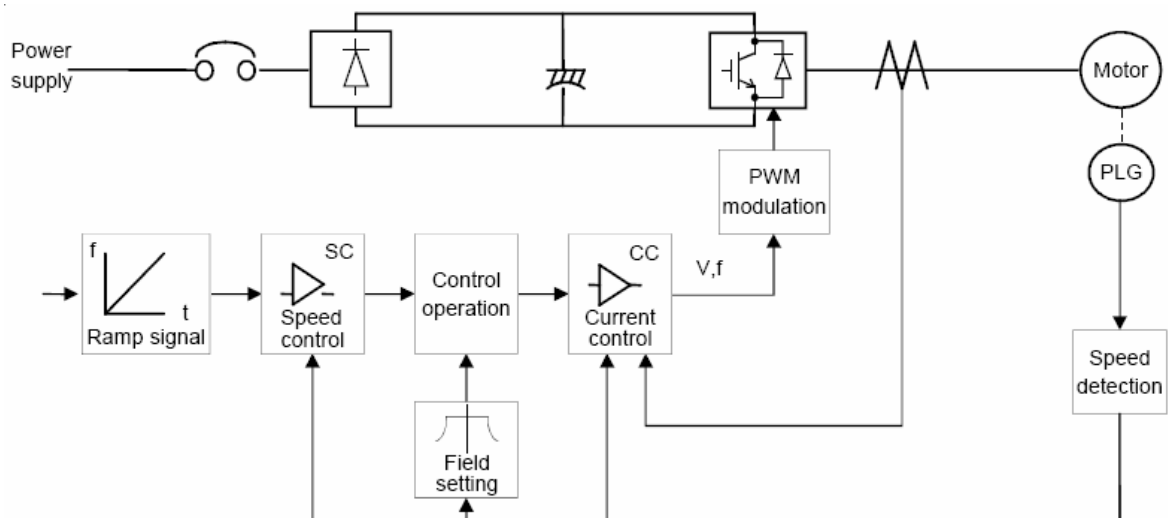


1.4.3 Control vectorial

La magnitud de una carga, es conocida detectando la velocidad con el PLG y encontrando el deslizamiento del motor por cálculos computados. Usando la magnitud de la carga encontrada en el camino, la salida de corriente del variador es dividida en una corriente de excitación y una corriente de torque por una operación de vector, la frecuencia y el voltaje son controlados para alimentar de forma óptima las corrientes respectivamente.

- Equipado con una corriente de retroalimentación de control, diseñado para computar la corriente de excitación necesaria y la corriente de torque individual, el control vectorial responde rápidamente a la variación de carga por la corriente de control de torque (rápida respuesta), habilitando el control de torque.
- Para computar la corriente de precisión, un motor dedicado definiendo las constantes de motor debe de ser usado la precisión PLG (detector de velocidad) por control vectorial. Cuando con el motor usado se provee con PLG, el auto-tuning se debe de hacer para obtener las constantes del motor.

Figura 25. Diagrama de bloques del control vectorial



1.5 Características del torque de carga

1.5.1 Tipos de carga

Cómo es indicado en la expresión (1.9), la salida del motor es directamente proporcional al producto de torque de carga y velocidad.

$$P = \frac{T \times N}{974} \dots\dots\dots (1.9)$$

Donde, P = Salida [kW], T = torque [kg • m], N: velocidad [r/min]

Existen varias relaciones entre el torque y la velocidad, las cuales son clasificadas de la siguiente manera:

- 1) Carga de torque constante (T = constante) : Si la velocidad varia, y el torque varia muy poco.
- 2) Carga de salida constante (T x N = constante) : Mientras la velocidad sube, el torque es más pequeño.
- 3) Carga variable de torque cuadrático : Mientras la velocidad baja, el torque (T/N² = constante) también es reducido

Cuando el motor es controlado por el variador a una velocidad, se debe de entender que las características de la carga a seleccionar entre el variador y el motor. De lo contrario, no se puede exponer plenamente su rendimiento ni sus defectos, de este modo el sobrecalentamiento puede ocurrir.

(1) Carga de torque constante

Un patrón V/F donde la región de caída de voltaje de baja velocidad es compensada dentro la constante de control V/F es usado para ejercitar el control de velocidad. Esta compensación se hace generalmente en un variador transistorizado. Cuando un motor estándar es controlado, el torque a usar es restringido debido a un aumento de la temperatura a una velocidad baja del motor. Cuando el torque constante es necesario también en la región de baja velocidad, el uso de un motor de torque constante, será efectivo por que el uso de un motor estándar hará que el motor y el variador sean tamaños muy grandes y no será económico,

(2) Carga de salida constante

Desde que la salida de control constante de voltaje del variador se lleva a cabo en el rango de frecuencia más alto que la frecuencia comercial, el torque generado por el motor tiene una salida característica constante, y un motor estándar y un variador transistorizado puede ser combinado sin problema.

Sin embargo, cómo constante de control V/f es ejercitado en el rango de frecuencia más bajo que la frecuencia comercial, el torque generado por el motor tiende a ser opuesta a la carga de torque y la combinación de un motor estándar y de un variador transistorizado será difícil ejercer dicho control. Por tanto, el diseño designado es deseado.

(3) Carga variable de torque cuadrático

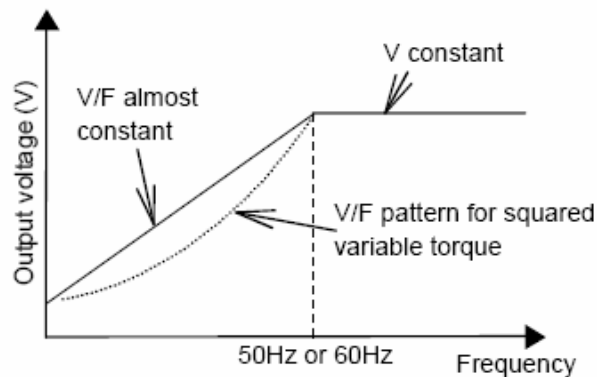
Ya que una carga a baja velocidad seria extremadamente pequeña, no hay problemas en aspectos de temperatura, torque, y una perdida se incrementa debido a la operación del variador a la velocidad nominal.

Efectos de ahorro de energía producidos por la operación variable de velocidad puede ser esperado en un damper y en una válvula de control.

Usando el patrón V/f cómo es indicado por la línea punteada en la figura 26, así el voltaje así cómo disminuye la frecuencia para mejorar la eficiencia del motor, produciendo un mayor efecto en ahorro de energía.

Lo que se debe de tener en cuenta en el manejo de carga variable de torque cuadrático no es incrementar la frecuencia fácilmente desde el aumento de la velocidad sobre la frecuencia comercial incrementara abruptamente la potencia más allá de las capacidades del motor y el variador, lo que lleva a una inoperancia o sobrecalentamiento.

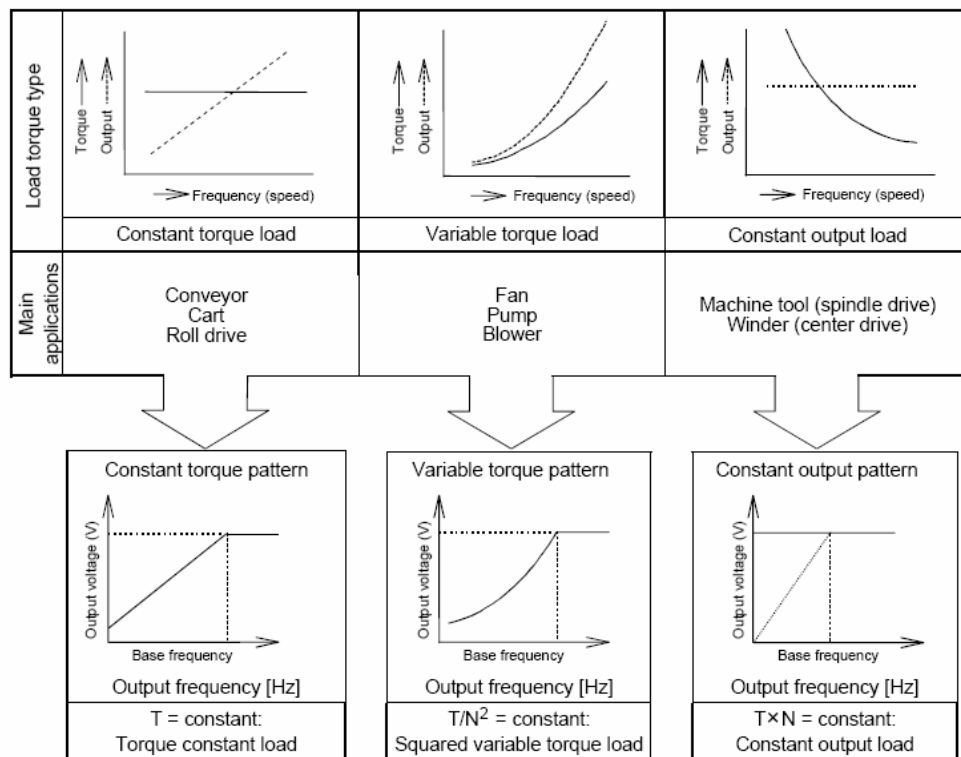
Figura 26. Patrón V/F de un variador transistorizado



1.5.2 Características del torque de carga y patrón V/f

Las características del torque de carga pueden variar con las aplicaciones. Los ejemplos típicos y patrones aplicables están dados en la figura 27. El patrón característico V/f apropiado para la carga característica puede ser seleccionado en la operación del variador.

Figura 27. Tipos de carga y patrones V/f



2. CARACTERÍSTICA DEL VARIADOR EN AHORRO DE ENERGÍA

2.1 Principio básico del ahorro de energía con un variador

Una maquinaria manejada con motores varía el torque de carga con velocidad. Por el otro lado, desde que la salida del motor es directamente proporcional al producto del torque de carga y velocidad cómo se indica en la expresión (1.2), la salida requerida varía con la velocidad.

Salida del motor	$P = T \times N/974\eta$ [kW]	(2.1)
------------------	-------------------------------------	-------

T: Torque de carga del motor equivalente del eje [kg • m]
N: Velocidad del motor [r/min]
 η : Eficiencia de la maquinaria

Cómo un motor estándar no puede ser variado en velocidad generalmente, el método siguiente es usado para variar velocidad:

- Para una carga de torque constante, un acople es previsto entre el motor y la carga (por ejemplo, el acople de sobrecorriente del motor); o
- Para una carga de torque variable cuadrática, un damper, una válvula o parecido es usado para suprimir el volumen de aire o el agua. De cualquier manera, desde que la velocidad de un motor estándar es casi constante, la salida del motor ($P = T \times N/974\eta$) varia un poco si la velocidad de la carga o la variación de volumen de aire/agua, lo cual significa que el resultado ($P - PL$) de

restar la potencia requerida de la salida del motor es desperdiciado cómo perdida térmica en el acople o el damper.

Por lo tanto, controlando un motor estándar con la potencia del variador para variar la velocidad directamente, reducirá la salida del motor de acuerdo con la frecuencia ($P = PL$), garantizando el ahorro de energía no solo para el torque de carga variable, también para el torque de carga constante.

Cuando un motor estándar es controlado por un variador, la salida del variador será la frecuencia f apropiada para la velocidad del motor, y la salida del voltaje V a ese tiempo es determinado por el $V/f =$ al patrón de torque constante de salida.

Por lo tanto, cuando el motor se ejecuta a velocidad media f , es decir, las caídas del voltaje de salida V , y por lo tanto la potencia de salida $V \times I$ del variador reduce si la salida de corriente I es constante.

Por ejemplo, cuando el motor se ejecuta por el variador a 30Hz para reducir a la mitad la velocidad (de 60Hz a 30Hz), la salida de voltaje del variador es reducido a la mitad según el patrón V/f en la expresión (1.5):

$$\frac{V}{f} = \frac{220[V]}{60[Hz]} = \frac{110[V]}{30[Hz]} = Cte.$$

Por tanto, la potencia de salida del variador es reducido a la mitad.

En consecuencia, la entrada de corriente es reducida, disminuyendo el consumo de potencia. Esto es, disminuyendo la salida del motor naturalmente reduce la potencia de de entrada del variador.

Es decir, comparado a otros sistemas (por ejemplo la operación con energía comercial y resistencias de control), “minimiza las perdidas producidos por otros dispositivos y minimizando la salida del motor para eliminar el consumo de potencia desperdiciado, este es el principio básico del ahorro de energía por el variador”, el método de ahorro de energía difiere entre los tipos de cargas, tales cómo los de torque de carga constante cuyo torque de carga varia poco si la velocidad cambia y el torque de carga variable cuyo torque de carga reduce si la velocidad disminuye.

2.2 Características del torque variable (ventilador/bomba)

Dado que el torque de carga varía en proporción directa al cuadrado de la velocidad, la potencia del eje es directamente proporcional a la tercera potencia de la velocidad. Disminuyendo la velocidad del motor, reduce la potencia del eje mucho más que un torque de carga constante, produciendo más grandes los efectos de ahorro de energía.

Aplicaciones típicas son ventiladores, bombas, etc.

- Torque de carga T Directamente proporcional al cuadrado de la velocidad
 - (N) ($T \propto N^2$)
- Potencia de eje P Directamente proporcional a la tercera potencia de la velocidad
 - (N) ($T \propto N^3$)

2.2.1 Potencia requerida PL para operación con potencia comercial

La expresión siguiente es establecida por un torque de carga variable:

$$P = T \times N/974\eta = (KN^2) \times N/974\eta = K \times N^3/974\eta \quad (K=\text{constante proporcional}) \dots\dots\dots(2.2)$$

Ya que la salida del motor es directamente proporcional a la tercera potencia de la velocidad, mayores efectos de ahorro de energía es producido.

Una típica carga de torque variable es un ventilador o una bomba, y su potencia (llamado potencia de eje) es indicado en la expresión (2.3). El comportamiento de estos es representado por la curva Q-H (Referencia en las figuras del 28 al 31), donde la eficiencia y la potencia de eje PL son representadas simultáneamente.

$$PL = 1.63H \times Q/\eta \text{ [kW]} \dots\dots\dots (2.3)$$

H : Presión [kg/cm²]
Q : Volumen de aire/agua (m³/min)

Figura 28. Características de una bomba con energía comercial

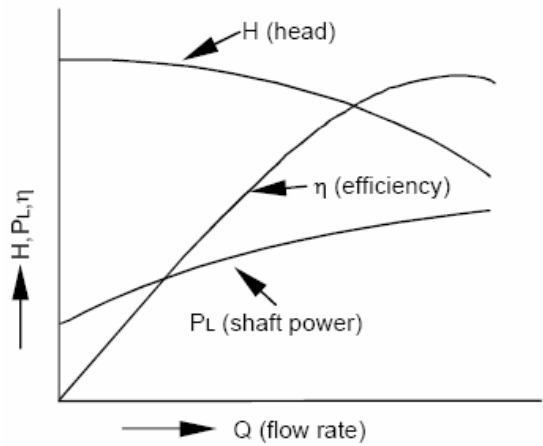
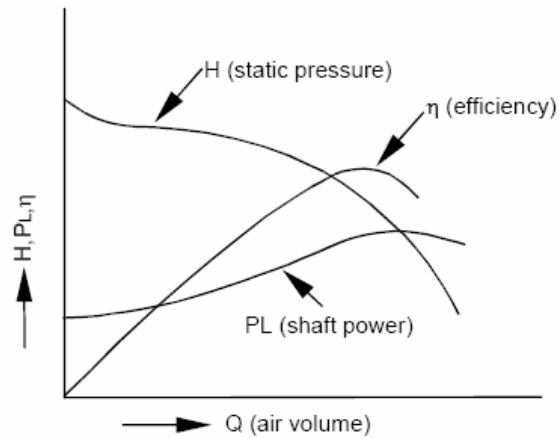


Figura 29. Características de un ventilador con energía comercial



Las características de las curvas de una bomba y un ventilador (figura 28, figura 29) representa la presión estática (H), eficiencia (η) y una potencia de eje (PL) relativamente al caudal o al volumen de aire cuando el motor esta operando a la velocidad nominal con la energía comercial.

El caudal o el volumen de aire son ajustados por una válvula o un damper. Lo que llama la atención de estas curvas características son:

- La cabeza de la bomba (H) y la presión estática del ventilador (H) tiene una característica caída descendente; y
- La eficiencia es 0 cuando Q es 0, es decir, cuando el volumen de aire/agua es cero, la potencia del eje es necesario si la bomba o ventilador esta en funcionamiento.

La baja eficiencia resulta un recordatorio de substrayendo la potencia de eje requerida de la salida del motor es desperdiciado cómo pérdida térmica en el acoplamiento o en el damper.

Cómo el caudal o el volumen de aire es más pequeño, la eficiencia es más baja y la proporción de residuos es mayor.

Nota: Desplazamientos positivos en bombas y ventiladores son típicamente bombas de engranajes, bombas de veleta y sopladores de raíces son torques de carga constante.

2.2.2 La comparación del ahorro de energía entre el control de velocidad y el control de la válvula (damper)

Cuando la velocidad de la bomba/ventilador es variada, la curva característica varia en acuerdo con la siguiente regla.

El caudal o el volumen de aire son directamente proporcionales a la velocidad

$$Q \propto N$$

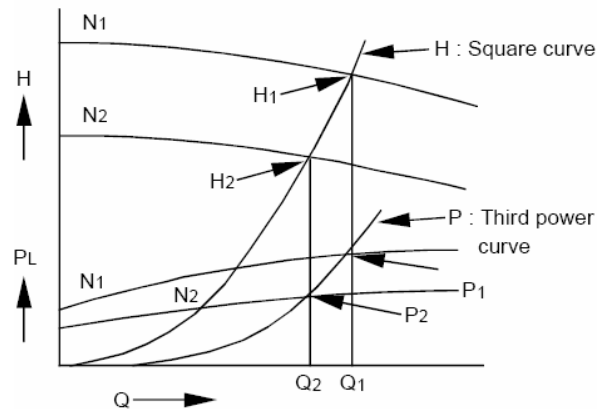
La presión estática es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad

$$H \propto N^2$$

Por lo tanto, la potencia de eje es directamente proporcional al cubo de la velocidad

$$PL \propto N^3$$

Figura 30. Características de una bomba a diferentes velocidades



Cuando la velocidad varía de N_1 a N_2 como es mostrado en la figura 30, el caudal, la presión y la potencia de eje varían de Q_1 , H_1 y P_1 a P_2 , respectivamente. (Desde que el caudal Q_2 está en la intersección con la curva de la resistencia de tubería en condiciones de operación actual, ambos H_2 y P_2 son ligeramente diferentes).

La bomba será usada como un ejemplo para explicar la comparación del ahorro de energía entre el control de velocidad y el control de válvula.

Las características principales que determinan las especificaciones de bomba son el total de cabeza (H) y el caudal (descarga) Q [m^3/min].

Q es determinado por el valor máximo de volumen de agua usado, y el total de cabeza es encontrada por la expresión (2.5).

$$\text{Total de cabeza } H \text{ [m]} = H_a + H_1 = (H_d + H_s) + H_1 \dots\dots\dots (2.5)$$

Ha: Cabeza actual

(nivel de agua diferencia entre el nivel de descarga y nivel de succión)

Hd: Lado de descarga, actual cabeza

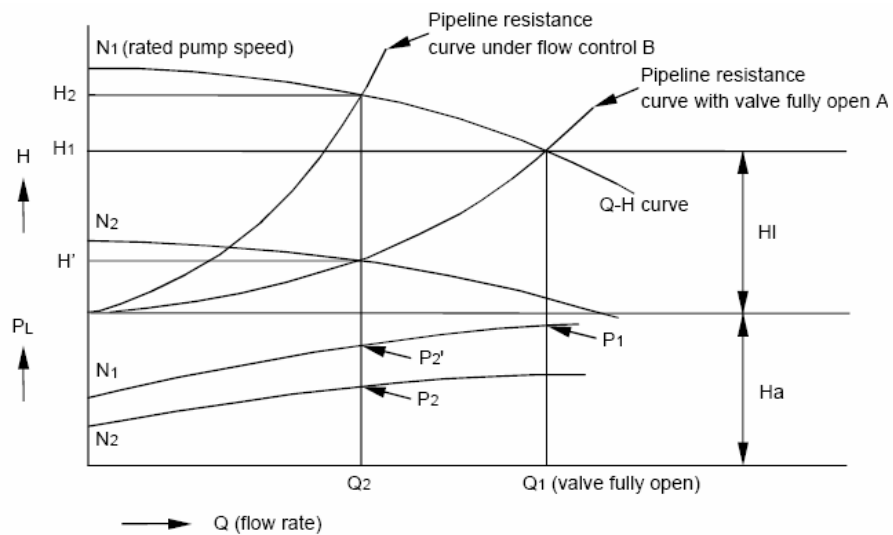
Hs: Área de succión, actual cabeza

H1: Perdida de cabeza debido a tuberías, válvulas, etc.

(incluyendo la presión de agua final)

Desde H1 (perdida de cabeza) varia con el caudal, es indicado en la citada curva Q-H cómo una curva de resistencia de tubería, y además la rampa de esta resistencia es variada cuando existe una válvula de flujo ajustable a cualquier punto de la tubería.

Figura 31. Características dentro del control de válvula



El punto donde la bomba opera dentro del control de la válvula es el caudal Q1 a la intersección de la curva Q-H a la velocidad nominal de la bomba y pérdida de cabeza H1 debido a la tubería, válvula, etc. Cuando la válvula esta completamente abierta, y la bomba opera con la presión H1.

Cuando la válvula es controlada para reducir el flujo de Q1 a Q2, la curva de resistencia de la tubería cambia a B y la presión de la bomba se leva a H2, pero la potencia de la bomba decrece ligeramente de P1 a P2' en acuerdo con la curva Q-PL (Eje de Potencia) a la velocidad nominal en la figura 28.

De cualquier manera, la presión de la bomba es requerido al caudal Q2 es H' a la intersección con la curva de la resistencia de la tubería A, y H2-H' es una presión extra. Esta presión extra puede dar efectos adversos en las tuberías de agua y la liberación a través de una válvula de control de la presión.

Adicionalmente, la potencia P' es desperdiciado.

<p>Consumo de potencia desperdiciado P'</p> $P' = 1.63 (H2 - H') \times Q2/\eta \dots\dots\dots (2.6)$
--

Por lo tanto, la operación más ideal puede realizarse operando la bomba a una velocidad variable a N2 necesitado para un caudal Q2 (velocidad reducido de N1 a N2) con la válvula completamente abierta para operar la bomba a la intersección de de curva de la resistencia de la tubería A en una velocidad N2 con la curva Q-H (Q2,H').

$\frac{N2}{N1} = \sqrt{\frac{H'}{H2}} \quad \frac{P2}{P2'} = \sqrt{\left(\frac{H'}{H2}\right)^3} \dots\dots\dots (2.7)$

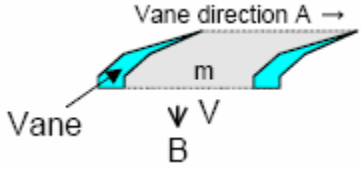
Se debe de notar que el ahorro de energía actual es la válvula donde la eficiencia del motor η_1 a N_1 y que la eficiencia total del motor-variador η_2 a N_2 son considerados más adelante por la potencia del eje cuando Q_1 (N_1) es reducido a Q_2 (N_2) en la curva mencionada Q-P (eje de potencia).

Ahorro de potencia = $(P_2' / \eta_1) - (P_2 / \eta_2)$ (2.8)

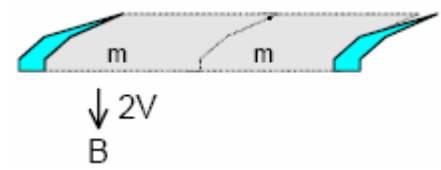
* Suplemento

Porque el torque de carga es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad al cuadrado del torque de carga variable?

1) Cuando la velocidad N es 1 2) Cuando la velocidad N es el doble



Vane direction A →
Vane m
↓ V
B



m m
↓ 2V
B

Cómo es mostrado 1), el movimiento de la veleta en la dirección de la flecha A empuja el volumen de fluido de la parte sombreada (peso) m a la velocidad V en la dirección de la flecha B.

El torque necesario es representado cómo $T = mV$ por la ecuación de movimiento.

Cómo es mostrado 2), cuando la velocidad es mayor a N es n veces, la velocidad el cual el flujo es empujado en V_n se vuelve n veces más grande:

$$V_n = V \times n$$

El volumen (peso) m del fluido movido durante el mismo periodo de tiempo se vuelve n veces más grande:

$$m_n = m \times n$$

El torque de carga es $T = m_n \times V_n = m \times n \times V \times n = m \times V \times n^2$

Que indican que esta en directa proporción con el cuadrado de la velocidad,

2.2.3 Comparación en ahorro de energía de los métodos de control

Para operación comercial, el damper o válvula es generalmente usado para el control de volumen de aire o caudal de agua ya que el motor opera a una velocidad constante. De cualquier manera, la reducción de la potencia del eje no es esperado en este sistema porque la pérdida del damper o válvula ocurrirá si el volumen de aire o flujo es disminuido. (Referirse a la figura 32)

El volumen de aire o caudal es directamente proporcional a la velocidad, el “control de velocidad” el cual ajusta el volumen de aire o caudal por un motor que este lo maneja un variador de frecuencia para variar la velocidad, la salida del motor será según la velocidad, así ahorrando energía eléctrica.

El sistema del “variador de frecuencia” el cual puede ser usado en un motor estándar, y así llevado a una optima velocidad de trabajo (es decir, ahorro de energía), cuando es usado un variador transistorizado, son ventajosos por su disponibilidad, fiabilidad entre otros aspectos.

Específicamente, cómo es indicado en el área sombreada en la figura 33, cambiando la velocidad (volumen de aire) al 50%, reduce la potencia de eje del motor a $(1/2)^3 = 1/8$ cómo es comparado cuando la velocidad esta a un 100%.

Figura 32. Operación característica del ventilador

(volumen de aire/velocidad potencia característica requerida)

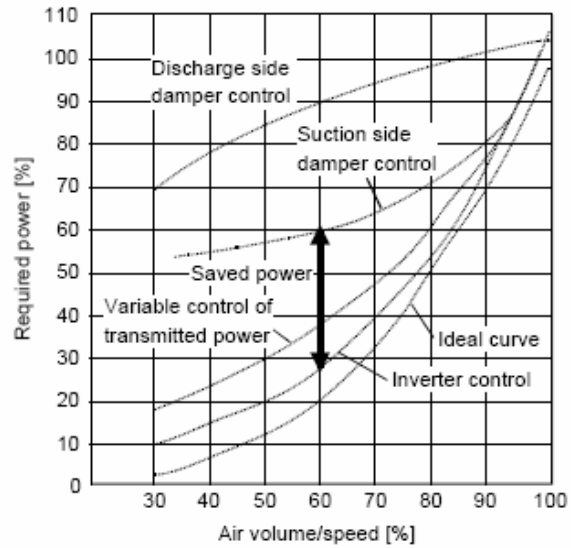
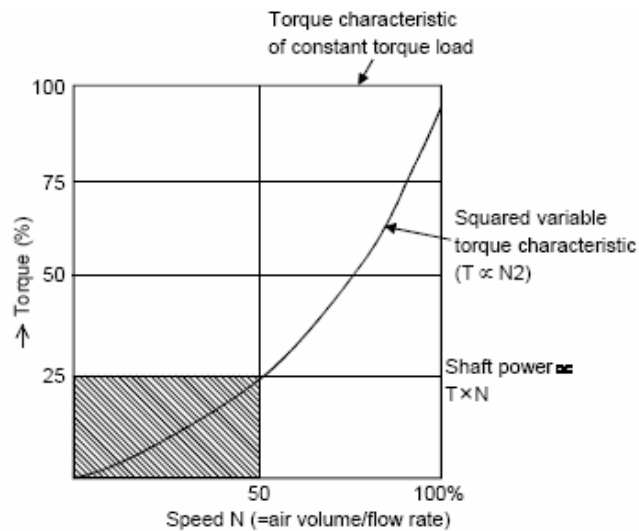


Figura 33. Tipos de carga y efectos del ahorro energético



El “actual sistema de acoplamiento” y el “intercambiador de fluido de velocidad” que se usan convencionalmente como control de velocidad causan grandes pérdidas de acoplamiento por el motor y la carga, esto tiene un efecto menor en el ahorro de energía comparado con un variador de frecuencia.

Ejemplos de referencia para efectos de ahorro de energía

Asumiendo que un motor de 15kW sea operado por un año al 60% del volumen de aire, básicamente 24 horas al día y 300 días al año, el ahorro energético es calculado con el precio unitario de 86 centavos/kWh (en una empresa).

1) Con variador

$$15 \text{ kW} \times 0.3 \times 24\text{h} \times 300 \text{ días} = 32,400\text{kWh} \dots\dots\dots \text{Q. } 27,864$$

2) Con damper (lado de descarga)

$$15 \text{ kW} \times 0.9 \times 24\text{h} \times 300 \text{ días} = 97,200\text{kWh} \dots\dots\dots \text{Q. } 83,592$$

Por lo tanto, con el variador se obtiene un ahorro de $83,592 - 27,864 = \text{Q. } 55,728$

3) Con damper (lado de succión)

$$15 \text{ kW} \times 0.6 \times 24\text{h} \times 300 \text{ días} = 64,800\text{kWh} \dots\dots\dots \text{Q. } 55,728$$

Por lo tanto, con el variador se obtiene un ahorro de $55,728 - 27,864 = \text{Q. } 27,864$

2.3 Cálculo del ahorro de energía para un torque variable

2.3.1 Concepto del cálculo de ahorro energético

Encuentre una diferencia entre el consumo anual de las válvulas operando con energía comercial y la operación con variador para calcular el ahorro energético y el costo de la aplicación.

1) Potencia de ahorro anual = consumo anual con energía comercial – consumo anual con operación del variador [kWh/año]

2) Ahorro anual = potencia de ahorro anual x precio de unidad [Q/kWh]

(1) Consumo anual con energía comercial P1

1) Cuando el eje del motor esta libre

$$P1 = \frac{PL}{\eta_m} \times t \quad [\text{kWh/año}] \dots\dots\dots (2.9)$$

PL : Potencia del eje del motor
 η_m : Eficiencia del motor para la potencia del motor PL
t : Tiempo de ejecución [horas/año]

2) Cuando se calcula el consumo de potencia por medio de la corriente del motor:

$$P1 = \frac{PM \times \alpha}{\eta_{MM}} \times t \quad [\text{kW}] [\text{kWh/año}] . (2.10)$$

PM : Salida nominal del motor
 α : Factor de carga encontrada de la Corriente del motor
 η_{MM} : Eficiencia del motor para la corriente del motor

(2) Consumo anual de energía con operación del variador P2

$$P1 = \frac{PM \times \alpha}{\eta_{MM}} \times t \quad [\text{kWh/año}] \dots\dots (2.11)$$

PL : Potencia del Eje del Motor

η_{M1} : Eficiencia total

(Eficiencia del motor x
Eficiencia del variador)

(3) Potencia anualmente ahorrada

$$P0 = (P1 - P2) \times Q \dots\dots\dots (2.12)$$

Q : Precio por unidad de potencia
[Q/kWh]

Depende de la demanda
contratada, capacidad y
compañía)

2.3.2 Cálculo simple del ahorro energético

Por cálculo gráfico sin el uso de las expresiones anteriormente mencionadas.

(1) Condiciones de cálculo

Existen dos diferentes maneras de hacer el cálculo. El procedimiento específico es dado en la sección (2) y después.

Método de cálculo	Condiciones de aplicación	Características básicas del cálculo
A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En el momento de la planificación de nuevas instalaciones ▪ Cuando la carga real (factor de carga) es desconocido 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carga de potencia = Salida nominal del motor ▪ Valores característicos de la bomba/ventilador
B	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuando la carga actual es conocida (por ejemplo, instalaciones existentes) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potencia de eje encontrada de la corriente del motor

El objetivo son ambos “control del lado de descarga” y “control del lado de succión” los cuales son sistemas de control usando un damper, válvula o parecido trabajando con energía comercial.

Nota: Control del lado de descarga es generalmente usado en las bombas.

(2) Procedimiento de cálculo

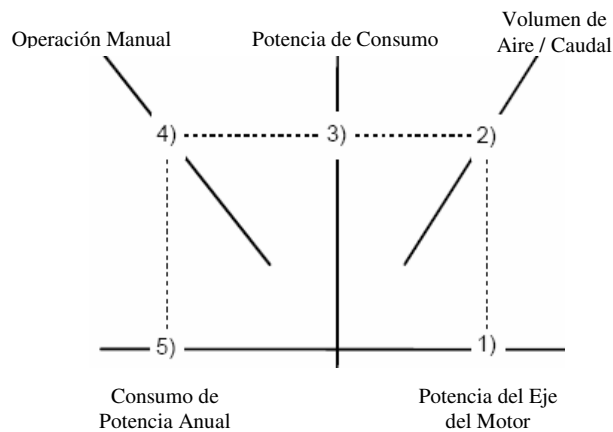
- 1) Encontrar el consumo anual P1 para la operación con energía comercial
- 2) Encontrar el consumo anual P2 para la operación del variador.
- 3) Calcular “(P1 – P2) unidad de precio por unidad” para saber el ahorro monetario.

(3) Cómo encontrar la potencia consumida anualmente P1 en la operación comercial

Usando el la gráfica del cálculo de consumo anual de potencia (referencia a figura 38), encuentra P1 en el siguiente procedimiento.

- 1) Potencia del eje del motor [kW]
- 2) Flujo/volumen de aire (descarga, succión)
- 3) Consumo de potencia [kW]
- 4) Relación de operación [%] (relación de tiempo anual de trabajo)
- 5) Consumo anual de potencia P1 [10 mil kWh]

Figura 34. Cálculo del consumo anual de potencia con energía comercial



(4) Cómo encontrar el consumo de potencia anual P2 con la operación del variador

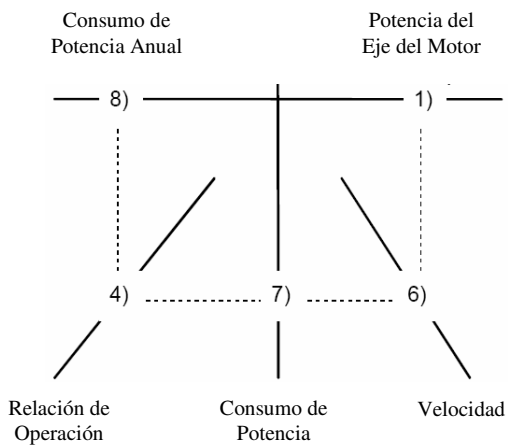
Cómo en la energía comercial, encontrar P2 en el siguiente procedimiento usando la grafica de consumo de potencia anual (referencia a figura 35).

- 1) Potencia del eje del motor [kW]
- 2) Velocidad (Flujo/volumen de aire) [%]
- 3) Consumo de potencia [kW]
- 4) Relación de operación [%] (relación de tiempo anual de trabajo)
- 5) Consumo anual de potencia P2 [10 mil kWh]

(5) Potencia ahorrada anual Po

$$P_o = P_1 - P_2 \text{ [10 mil kWh]}$$

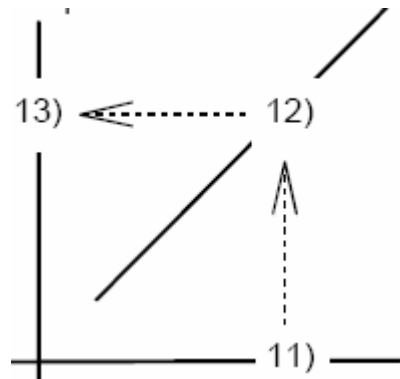
Figura 35. Cálculo de consumo anual de potencia con operación del variador



(6) Cuando la potencia del eje no se conoce

- 1) Valor medido de la Potencia del Motor [A]
- 2) Capacidad del Motor [kW]
- 3) Consumo de potencia en operación con energía comercial [kW] =
reemplazado por “el consumo de potencia” en la figura 34.
- 4) Potencia del eje con operación del variador = remplazado por “Potencia
del eje del motor” en la figura 35.

**Figura 36. Corriente del motor,
potencia característica de consumo**



**Figura 37. Corriente del motor,
potencia característica del eje**

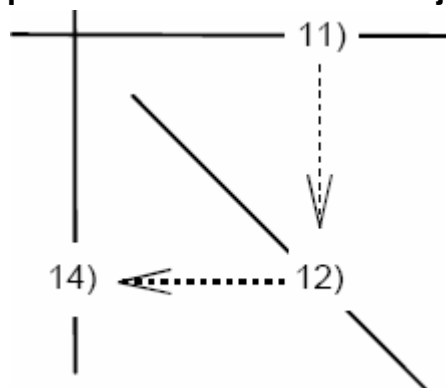
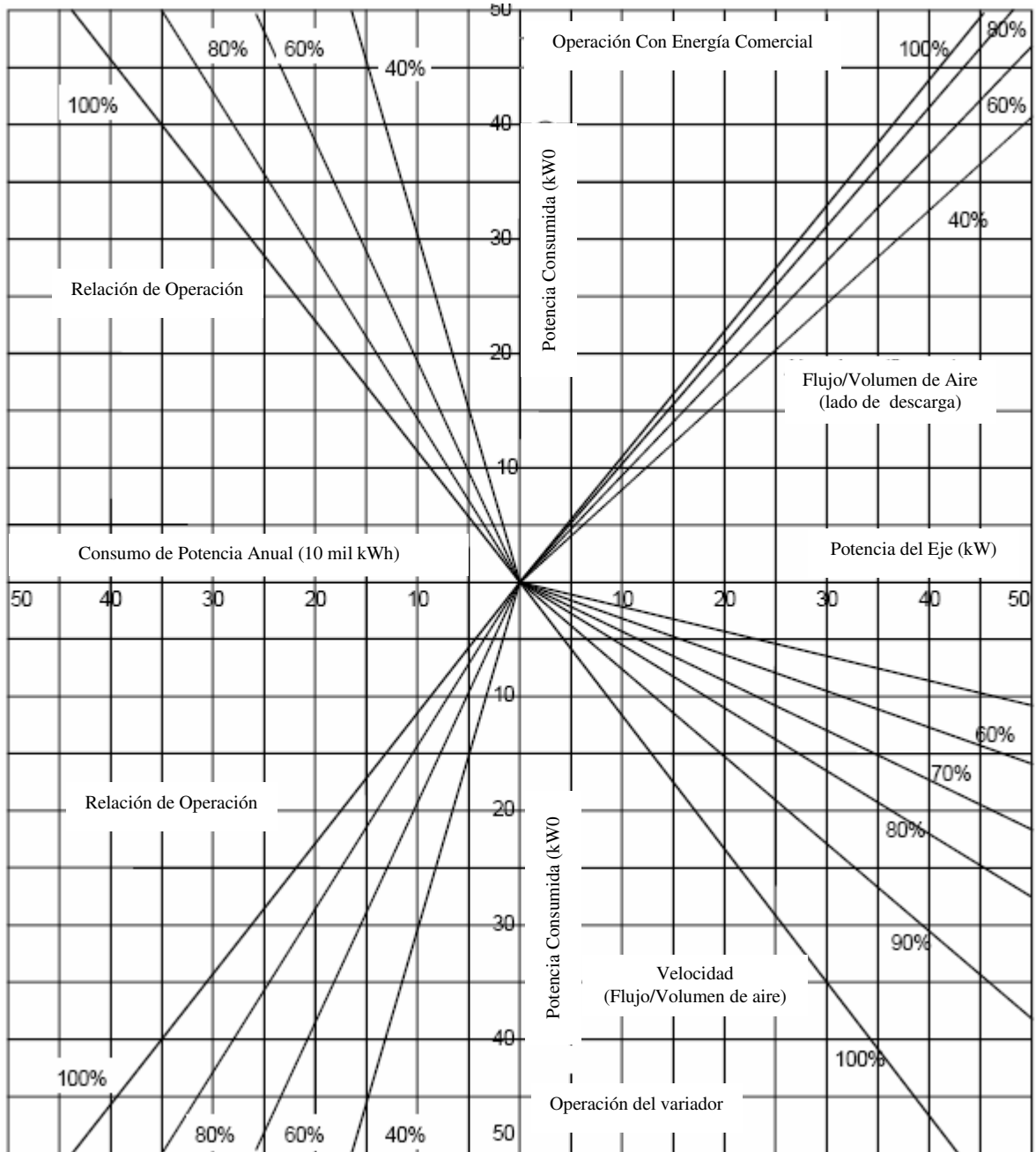


Figura 38. Gráfica de consumo anual de potencia



2.4 Efecto de ahorro de energía con una carga de torque variable

Para una carga de torque variable cuadrática, el uso de “la velocidad del sistema de control” produce grandes efectos en ahorro de energía cómo es descrito en la sección 2.2.

Cómo un dispositivo que tiene control de velocidad, el variador puede ser el más excelente tanto en rendimiento, precio, fiabilidad y disponibilidad.

2.4.1 Comparación de los efectos de ahorro de energía entre métodos de control

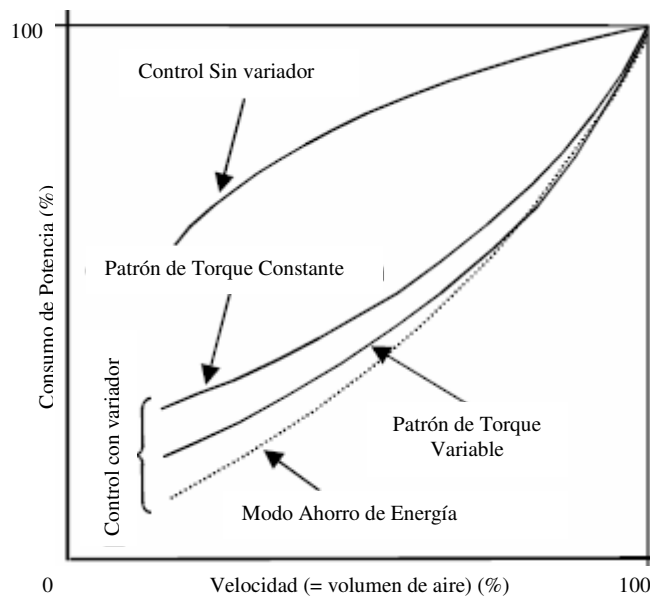
Cómo es descrito en la Sección 1.5, el patrón de torque constante, el patrón de torque variable y otros patrones están disponibles cómo patrones de salida del variador, los cuales difieren ligeramente en los efectos de ahorro.

Cómo se muestra en la figura 39, al volumen de aire del 60% al 70%, y cómo es comparado a la operación con energía comercial.

- 1) Usando el variador, este ahorra energía entre el 30 y 50% si esta en el patrón de torque constante.
- 2) Selección del patrón de torque variable, incrementa un poco más el ahorro una 3 al 5 %.

- 3) Usando el sistema para controlar la salida de voltaje a lo optimo de acuerdo con la carga (ejemplo: modo de ahorro de energía o el control magnético de flujo vectorial) puede aumentar más el ahorro un 2 a 3% a ese patrón de torque variable, haciendo el patrón lo más cercano a la curva ideal en la figura 32.

Figura 39. Patrones y efectos de ahorro del variador



*** Características del modo de ahorro de energía**

El modo de Ahorro de energía adopta el sistema donde si la entrada de potencia del motor es calculada con pequeñas reducciones de voltaje durante la operación constante, la operación de la velocidad no es más alta que la potencia anterior, el voltaje reducido un poco más para realizar la operación con la potencia mínima.

Es decir, la salida de voltaje del variador es controlado para minimizar la potencia de entrada del motor incluyendo pérdidas del motor, seguir mejorando y efectos de ahorro de energía

Dentro de las cargas livianas, el cual la velocidad es menor del 40%, el modo de ahorro de energía puede reducirse de un 20 al 40% comparado con el patrón de torque constante.

Para la operación realizada al volumen de aire o más que el 95%, nótese que la pérdida del variador es más grande que el efecto de ahorro de energía, y el consumo es más que con la energía comercial.

Ya que el variador no ahorra energía en este caso, se debe de dar consideración usando la energía comercial, cambiando con el variador por ejemplo.

2.4.2 Plan de ahorro de energía

(1) Plan

Planeando ahorro de energía, los costos iniciales y los costos de trabajo deben de ser estimados, comparados y la depreciación también considerada antes de determinar el funcionamiento con energía comercial o con variador.

1) Costos iniciales

Los principales gastos, son los gastos de introducción, los cuales están divididos en los siguientes términos

- Precios del variador y su gabinete (si lo incluye)
- Gastos de instalación
- Otros gastos

2) Costos de trabajo

Estos costos son clasificados dentro del mantenimiento* y la carga de potencia, pero más por la carga de potencia

- * Gastos de mantenimiento
- Operación con energía comercial: Gastos principales, son mantenimiento de partes mecánicas (para la regulación) y el equipo y mantenimiento de los contactores magnéticos para el motor

- Operación con variador: Gastos principales es el cambio del ventilador de enfriamiento.

(2) Evaluación

Un efecto de ahorro de energía es muy difícil de entender, precisamente porque es una operación muy diferente entre los patrones de operación.

De cualquier manera, la evaluación debe de realizarse en papel ya que es imposible en principio de comparar la energía ahorrada en el mismo lugar antes y después de instalar un variador dentro de las mismás condiciones durante el mismo periodo.

Cómo un de evaluación método realista, un sistema monitor de ahorro de energía puede ser introducido para comparar la energía ahorrada en la misma instalación antes y después del variador en el mismo periodo de tiempo.

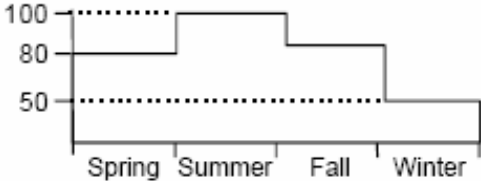
2.4.3 Ejemplos de ahorro de energía

Los efectos de Ahorro de Energía dentro del control del variador son mayores cómo el tiempo de operación realizada con un medio de aire el volumen es mayor.

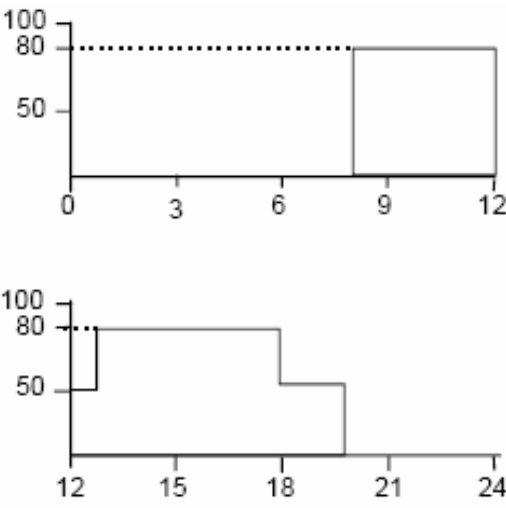
- Ejemplo efecto 1: Aires acondicionados en edificios

Condiciones	Patrón de operación	Efecto de ahorro de energía (anual)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ventilador de aire acondicionado 37kW x 10 pzs. 22kW x 10 pzs. 3.7kW x 10 pzs. 	<p>The figure contains two step charts. The top chart, labeled 'Air volume (%)' on the y-axis and 'Time' on the x-axis, shows air volume starting at 20% from 0 to 6 hours, then stepping up to 50% until 8 hours, then to 80% until 12 hours. The bottom chart shows air volume starting at 100% from 12 to 18 hours, then stepping down to 80% until 21 hours, and finally to 20% until 24 hours.</p>	<p>Control damper 7'000,992 kWh 10'151,438 Quetzales</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo de potencia 1.45 Q/kWh 		<p>Control variador 4'127,712 kWh 5'985,182.4 Quetzales</p>
		<p>Efecto de ahorro de energía 2'873,280 kWh 4'166,255.6 Quetzales</p> <hr/>
		<p>950,000 quetzales / 4'166,255.6 quetzales = 0.23 años</p>
		<p>(Costo de instalación) / (ahorro) = (retorno inversión)</p>

- Ejemplo efecto 2: Bombas de refrigerante para vitrinas

Condiciones	Patrón de operación	Efecto de ahorro de energía (anual)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bomba 7.5 kW x 2 pzs. ▪ Compresor para el refrigerante 15kW x 10 pzs. 7.5kW x 10 pzs. ▪ Costo de potencia 1.45 Q/kWh 		<p>Control Damper 730,815 kWh 1'059,681.8 Quetzales</p> <p>Control variador 456,642 kWh 662,130.9 Quetzales</p> <p>Efecto de ahorro de energía 274,173 kWh 394,550.9 Quetzales</p> <hr/> <p>125,000 quetzales / 394,550.9 quetzales = 0.32 años</p> <p>(costo de instalación) / (ahorro) = (retorno inversión)</p>

▪ Ejemplo efecto 3: Ventiladores

Condiciones	Patrón de operación	Efecto de ahorro de energía (anual)
<p>▪ Ventiladores 3.7 kW x 20 pzs. 5.5 kW x 20 pzs.</p> <p>▪ Costo de potencia 1.45 Q/kWh</p>		<p>Control damper 788,900 kWh 1'143,905 Quetzales</p> <p>Control variador 396,704 kWh 575,220.8 Quetzales</p> <p>Efecto de ahorro de energía 392,196 kWh 568,684.2 Quetzales</p> <hr/> <p>500,000 quetzales /568,684.2 quetzales = 0.83 años</p> <p>(costo de Instalación) / (ahorro) = (retorno inversión)</p>

* En consideración del variador, el gabinete, trabajo y otros gastos, los costos de instalación son incluidos.

2.5 Características de la carga de torque constante

El torque de carga de este tipo de carga es constante si la velocidad varía. Cómo se baja la velocidad esto lleva a reducir la potencia del eje, un efecto de ahorro se produce gracias a esto. Las aplicaciones típicas son transportadores, carros, máquinas de elevación, etc.

• Potencia del eje P Directamente proporcional a la velocidad (N) ($P \propto N$)

* Ya que los efectos de ahorro de energía de las máquinas de transferencia son casi generalmente más pequeños por un orden de magnitud cómo los ventiladores y bombas, no podemos recomendar el uso de variadores para el ahorro de energía.

2.5.1 Potencia requerida PL para carga de torque constante ($T = \text{constante}$)

$$PL = W \times V / 6120 \eta \text{ [kW]} \dots\dots\dots (2.21)$$

W : Peso de la carga [kg]

V : Velocidad de la carga [m/min]

Una de las maneras de controlar carros y otras máquinas de transferencia a una velocidad variable, es el control de variador y la potencia de frenado de retorno.

2.5.2 Ahorro de energía por la potencia de frenado de retorno

En una aplicación como el elevador donde el motor es girado por una fuerza externa (gravedad), la energía puede ser ahorrada con el funcionamiento de un variador en el motor mediante la utilización de la energía regenerativa generada para el sistema de frenado.

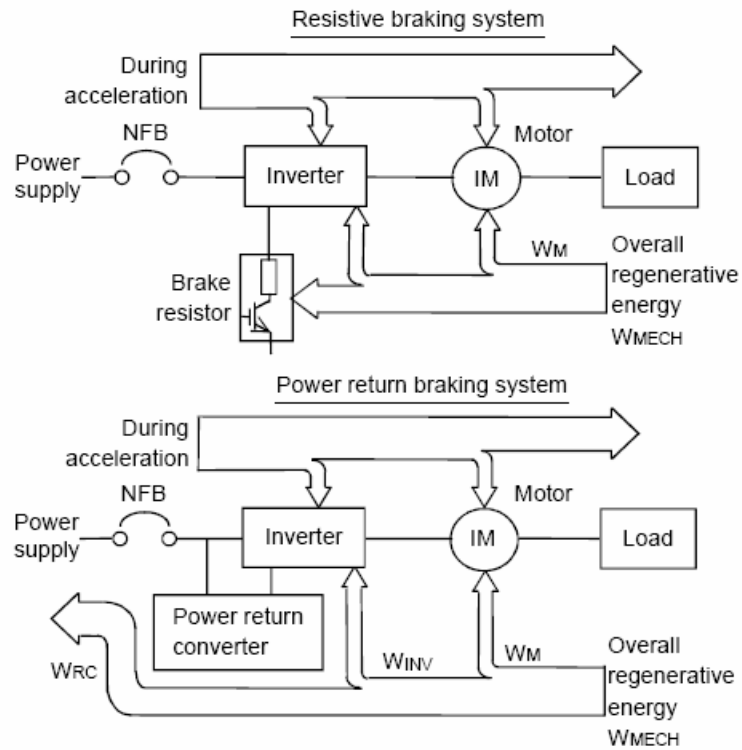
(1) Sistema de frenado resistivo

La energía regenerativa de un motor, la energía sobrante, la energía de pérdida del motor y el variador son convertidos en calor por una resistencia de frenado para generar una fuerza de frenado. El calor generado por la resistencia de frenado se convierte en energía perdida.

(2) Sistema de frenado de retorno

La energía sobrante menos la energía perdida del motor y el variador es regresado a la alimentación por un convertidor. La energía sobrante obtenido por la resta de la pérdida de potencia de retorno de la generación de calor del frenado resistivo es ahorrado.

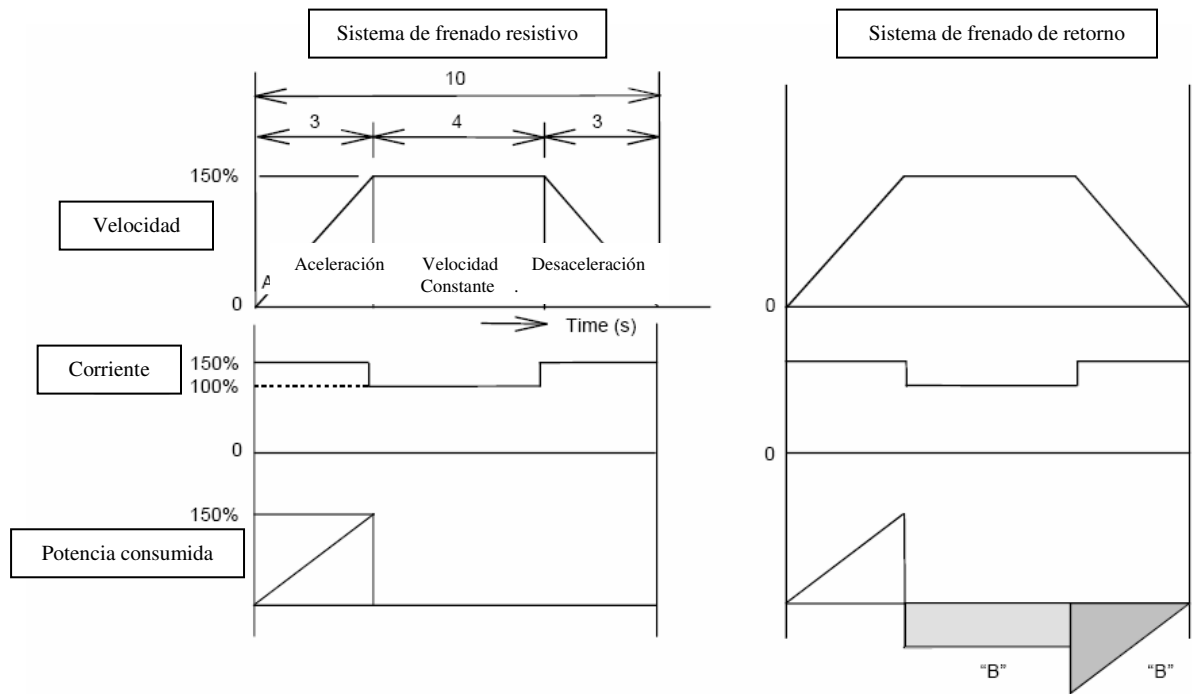
Figura 40. Flujo de energía



(3) Comparación de los efectos de ahorro de energía

La comparación de la corriente del motor y la potencia cuando un elevador es bajado en el mismo patrón dado en la figura 41.

**Figura 41. Patrón de operación del elevador
vrs. consumo de corriente / potencia**



El área sombreada "B" en la figura anterior, indica la energía que puede ser ahorrada retornando la potencia a la alimentación sin permitir que la resistencia lo consuma en pérdida de calor.

Durante la aceleración y cuando se levanta, la energía no puede ser ahorrada ya que el motor es muy raramente colocado en un estado regenerativo general.

3. METAS TECNOLÓGICAS DEL VARIADOR EN APLICACIONES DE AHORRO DE ENERGÍA

3.1 Metas tecnológicas en aplicaciones de ahorro de energía

Entre las metas tecnológicas de la operación de un variador, existen los siguientes artículos relacionados a las aplicaciones de ahorro energético. Algunos artículos ya han sido resueltos, aun así, la reducción de ruido o parecido puede causar un nuevo problema dependiendo de cómo el ruido es reducido.

Tabla II. Tipos de metas tecnológicas

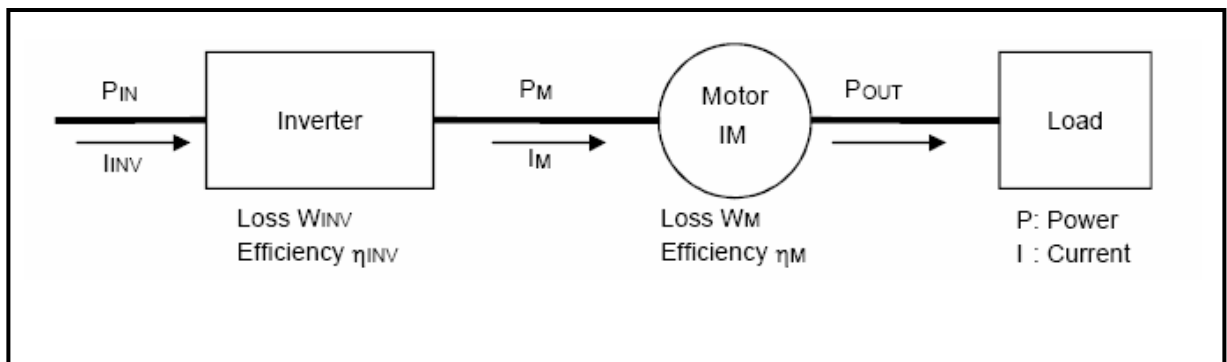
No.	Artículo	Causa / Esquema	Acción	
			Variador	Periférico
1	Ruido de motor / vibración	Ruidos metalicos es generado del motor debido a la frecuencia del PWM. Vibración es incrementada.	• Cambio de frecuencia de portadora	_____
2	Eficiencia / Factor de potencia	Perdida del motor es incrementada por las corrientes onduladas del control PWM	X	_____
		Las perdidas ocurren en el variador.	• Desarrollo de componentes de baja pérdida	X
3	Armonicos en la fuente de alimentación	La forma de onda del voltaje de entrada es distorcionada por grandes corrientes de irrupción causadas por el circuito rectificador con condensador suavizado. Restricciones de las corrientes de salida.	• Convertidor de alto factor de potencia • Reactor mejora de factor de potencia	• Filtro activo, etc.
4	Ruido	Causas del ruido de conmutación PWM. debido a los bajos ruidos acústicos de funcionamiento, aumentando la portadora, se incrementa el ruido.	• Frecuencia de portadora baja	• Cambio de cableado e instalar filtro de ruido.
5	Corrientes de fuga	Flujo de corrientes de fuga debido a tierra y capacitancias entre lineas activas. Debido a bajos ruidos acusticos de operación, aumentando la portadora de frecuencia incrementa las corrientes de fuga.	• Frecuencia de portadora baja. Usar protecciones de sobrecorriente, por ejemplo.	• Breaker fuga a tierra designado al variador

3.2 Factor de potencia y eficiencia

3.2.1 Eficiencia del motor y variador

Las pérdidas ocurren en la sección del convertidor del variador, ya que el variador es un convertidor de potencia el cual consiste de un convertidor hacia adelante (convertidor) y el convertidor reverso (variador) cómo es descrito en la sección anterior. Generalmente, la adopción del variador se dice que ahorra energía. Su relación será descrita usando la expresión de la relación entre la entrada de potencia del variador y la eficiencia.

Figura 42. Relación de potencia de entrada y salida



$$\begin{aligned}
 1) \text{ Eficiencia} &= \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = \frac{\text{Salida}}{\text{Salida} + \text{Pérdida}} \\
 2) \text{ Entrada del variador } P_{in} &= \text{entrada del motor } P_m + \text{Pérdida del variador } W_{inv} = \\
 \text{Entrada del variador } P_{in} &= \frac{\text{Salida del variador } P_m}{\text{Eficiencia del variador } \eta_m} \\
 3) \text{ Potencia de entrada del motor } P_m &= \text{Salida del motor } P_{out} + \text{Pérdida del motor} \\
 W_m = \text{Potencia de entrada del motor } P_m &= \frac{\text{Salida del motor } P_{out}}{\text{Eficiencia del motor } \eta_m} \\
 4) \text{ Potencia de salida del motor } P_{out} &= \text{Salida del torque del motor} + \text{velocidad del} \\
 \text{motor} = \text{Potencia de salida del Mmotor } P_{out} &= \frac{\text{Potencia de la máquina}}{\text{Eficiencia de la máquina}}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la potencia de entrada del variador es de la siguiente forma.

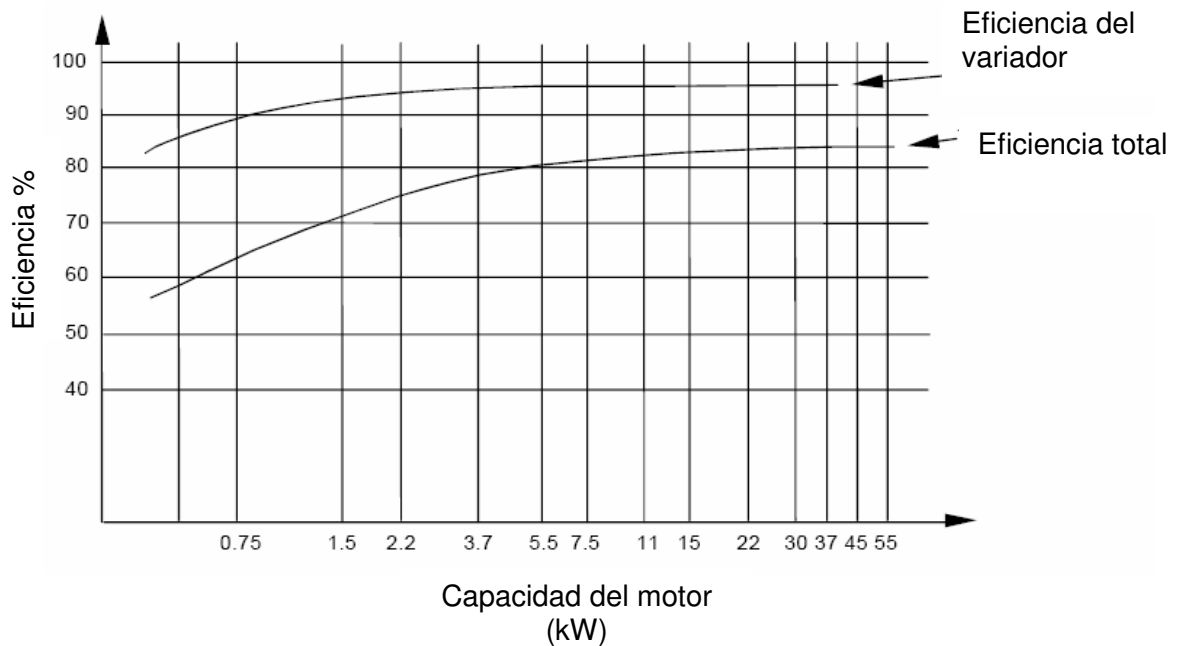
$$\begin{aligned}
 \text{Potencia de entrada del variador} &= \text{Salida del motor} + \text{Pérdida del motor} + \\
 \text{Pérdida del variador} &= \frac{\text{Salida del motor}}{\text{Eficiencia total}} \dots\dots\dots(3.1) \\
 \text{Donde} \\
 \text{Eficiencia total} &= \text{Eficiencia del variador } \eta_{inv} \times \\
 &\quad \text{Eficiencia del motor con variador } \eta_m \dots\dots\dots (3.2)
 \end{aligned}$$

Cómo se entendió en la expresión (3.1), la pérdida del motor es mayor con la operación del variador que con la operación con energía comercial debido a la influencia de armónicos, etc., y crece con la pérdida del variador, la entrada de potencia en operación del variador es siempre más alta que la potencia de operación con energía comercial cuando un motor trabaja al mismo tiempo.

Sin embargo, al disminuir la velocidad del motor con el variador, reduce la salida del motor, en consecuencia la entrada de potencia requerida es menor a una menor velocidad si el torque de carga es constante.

(Para una carga de torque variable cómo un ventilador o una bomba, la entrada de potencia es mucho más bajo, resultando así un ahorro energético.) La figura 43 demuestra datos eficientes totales.

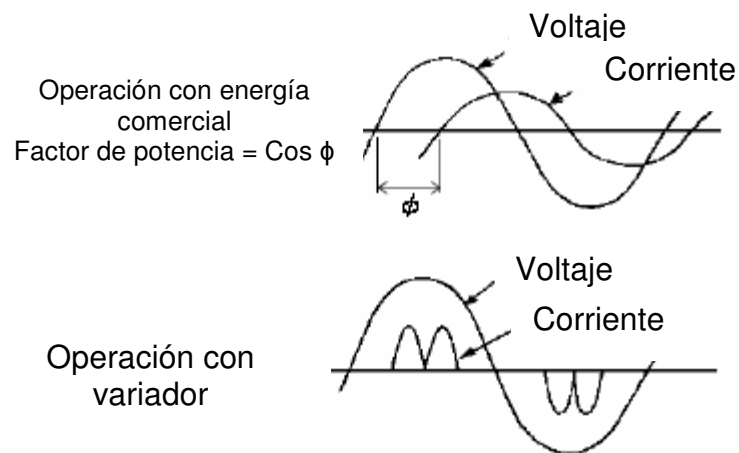
**Figura 43. Eficiencia del variador y eficiencia total
(100% carga, salida de frecuencia 60hz)**



3.2.2 Entrada de corriente del variador y mejora del factor de potencia

Un factor de potencia es generalmente encontrado por el ángulo de fase ϕ del voltaje y la corriente cómo es mostrado en la figura 44.

Figura 44. Forma de onda de entrada de voltaje/corriente



De cualquier manera, ya que la entrada de corriente del variador tiene una forma de onda distorsionada el cual incluye armónicos cómo es descrito en la sección anterior, no puede ser definido por $\text{cos}\phi$ (el valor medido con un medidor de factor de potencia es 1).

Por otro lado, cómo el factor de potencia es equivalente a la relación de la potencia activa a la potencia aparente, es encontrada por la expresión (3.3) para el variador.

<p>Factor de potencia = $\frac{\text{Potencia activa}}{\text{Potencia aparente}}$</p> <p>Factor de potencia = $\frac{\text{Potencia activa } P_{in}}{\text{Potencia activa} + \text{Potencia reactiva}}$</p> <p>Factor de potencia = $\frac{\text{Potencia de entrada del variador}}{\sqrt{3} \times \text{Voltaje de alimentación} \times \text{Corriente de entrada del variador}} \dots\dots\dots(3.3)$</p>

La forma de onda de la entrada de potencia del variador varia el factor de distorsión de la forma de onda con la impedancia de la potencia de entrada (reactancia del transformador, cable y parecidos), resultando un cambio en la corriente de entrada (efectiva).

Cómo crece la reactancia de la potencia de la alimentación, la corriente disminuye, mejorando el factor de potencia. Inversamente, cuando el variador es instalado extremadamente cerca a un transformador de gran potencia, por ejemplo, la corriente se incrementa cómo la reactancia disminuye, empeorando así el factor de potencia.

Por tanto, una forma efectiva forma de mejorar el factor de potencia es incrementar la reactancia de la potencia de la alimentación. Entonces instalar:

- Un reactor en la entrada AC (mejorando el factor del reactor AC incrementa el factor de potencia aproximadamente un 90%)
- Un reactor en el circuito de DC (mejorando el factor de potencia del reactor DC incrementa el factor de potencia aproximadamente un 95%)

Desde que el factor de potencia varia generalmente entre 0.6 y 0.9 con la condición de la reactancia de la alimentación de potencia cómo es descrito arriba, la ecuación de corriente = potencia no incluye.

Por lo tanto, la entrada de corriente del variador puede volverse menor que la corriente del motor a la salida del torque nominal.

*Para la operación con potencia comercial, el factor de potencia del motor es casi constante entre 0.75 y 0.85 y de esta manera si incluye la ecuación corriente = potencia.

Ejemplos de formas de onda de corriente medidas

Instalación de un reactor de mejora de potencia tiene las siguientes ventajas ya que disminuye la corriente de entrada.

- Los periféricos de entrada del variador (transformador, contactores magnéticos, cables) deben de ser seleccionados para disminuir tamaño.
- Los armónicos de corriente de salida son reducidos
- El variador puede ser protegido por picos de voltaje del lado de la alimentación.
- La valor de la potencia pico de entrada en el circuito convertidor puede ser suprimido.

Figura 45. Sin reactor de potencia
(20 hz de operación, forma de onda de corriente)

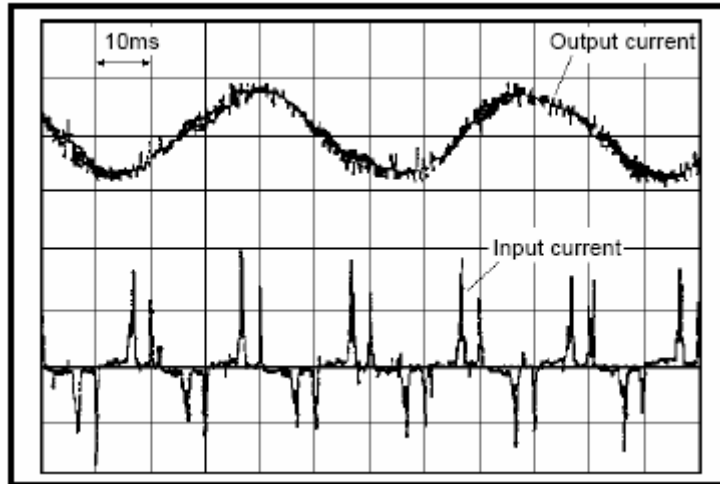
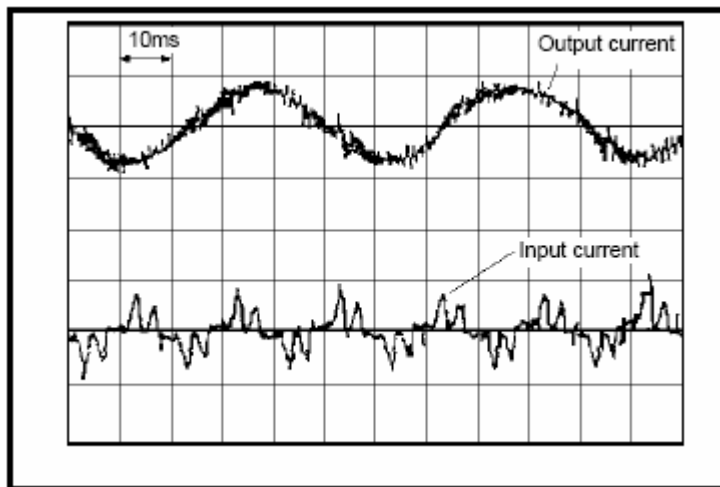


Figura 46. Con reactor de potencia
(20 hz de operación, forma de de corriente)



3.3 Ruido y vibración del motor

3.3.1 Causas

Generalmente, cuando un variador es usado para manejar un motor estándar, el ruido del motor es más grande que cuando el motor trabaja con energía comercial. El ruido del aire también incrementa cuando el motor es operado a más frecuencia de 60 Hz. Cuando el motor es operado por el variador, los armónicos están incluidos en la salida de voltaje y la corriente se incrementa aumentando así el flujo magnético armónico, incrementando así el ruido. El manejo con un variador tiene dos fenómenos:

- 1) Resonancia de los armónicos de bajo número que están contenidos en la salida del variador y se incrementa el ruido cuando crece la frecuencia natural del rotor.
- 2) Resonancia del contenido armónico en la salida del variador y en la parte externa del motor, frame, retenedor o parecido incrementa el ruido cerca de la frecuencia natural.

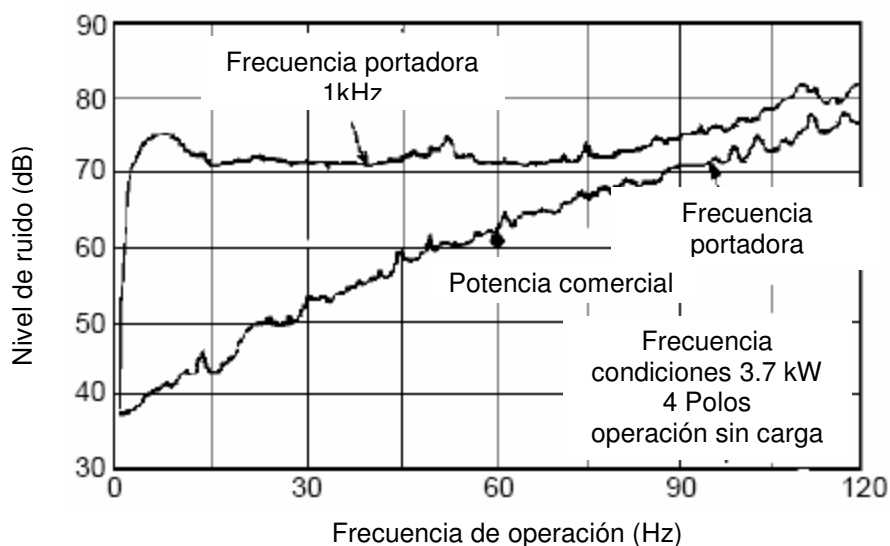
3.3.2 Reducción de ruido

El incremento del ruido y vibración causado por el variador es altamente influenciado por la fuerza electromagnética producida por los armónicos en la forma de onda de la salida del variador. Las técnicas para reducir estos ruidos son principalmente la supresión de la fuerza electromagnética generada por los armónicos y la prevención de la resonancia con la fuerza electromagnética.

Lo que esta particularmente ofendiendo adjunto a los ruidos producidos por la operación del variador es debido a la frecuencia PWM de control. Especialmente en la región de baja velocidad, es visible con la reducción de sonido de ventilación. Esto puede ser reducido por los siguientes métodos.

- 1) Patrón Ajustado del variador, Modo de Ajuste PWM.
 - Si el torque lo permite, ajustarlo en el variador más bajo.
 - Ajustar el impulso de torque para débil excitación
 - Cambiar la frecuencia de la portadora en el modo PWM
- 2) Uso de un variador de bajo ruido acústico cuya frecuencia de portadora a sido incrementada a una región no audible.
(Ya que el variador genera ruidos y las corrientes de fuga incrementan con el aumento de la frecuencia de la portadora, se deben de tomar acciones para reducir estos.)

Figura 47. Ejemplo del ruido del motor



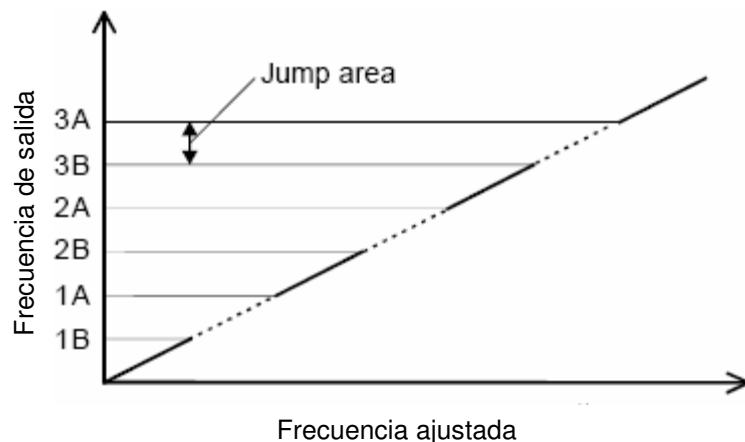
3.3.3 Reducción de vibración

Para reducir la influencia de la resonancia con la frecuencia natural de la máquina, los métodos siguientes pueden ser usados.

- 1) Cambiar (incrementar / decrementar) la frecuencia de la portadora del variador para cambiar la resonancia de la frecuencia del motor y máquina.
- 2) Usando el salto de frecuencia del variador, evita la operación a la resonancia de la máquina.
- 3) Incrementar la rigidez de la máquina para aumentar la frecuencia de resonancia.

Figura 48. Función de salto de frecuencia

La operación es ejecutada a cualquier frecuencia ajustada a 1A, 2A o 3A como puntos de salto.



3.4 Armónicos en la alimentación

3.4.1 Diferencias entre los armónicos de la alimentación, ruido y corrientes de fuga

Armónicos en la fuente de alimentación son confundidas cómo ruidos. Debe de existir preocupación de la ocurrencia, influencia, técnicas de reducción y otros son claramente diferentes en la actualidad. Referencia en la Tabla II para las diferencias.

Tabla III. Diferencias entre los armónicos de la alimentación, ruido y corrientes de fuga

Artículo	Ruido	Armónicos en la alimentación	Corrientes de fuga
Banda de frecuencia	Alta frecuencia (Varios ordenes de 10kHz a MHz)	Normalmente de los ordenes del 40 al 50 (a varios kHz)	Relativamente baja frecuencia (varias ordenes de los Hz a los MHz)
Fuente	Circuito inversor	Circuito convertidor	Circuito inversor
Causa	Conmutación del transistor	Conmutación del circuito rectificador	Conmutación del transistor
Monto general	Depende de la relación de variación de voltaje y cambios de voltaje	Depende de la capacidad de corriente	Depende de los cambios de voltaje y frecuencia
Camino de propagación	Canal electrico, espacio, inducción	Canal electrico	Material aislante
Monto de transmisión	Distancia, ruta de cableado	Linea de impedancia	Capacitancia
Equipo afectado e influencia	Sensor, etc.: Pérdida de detección radio, Equipo inalámbrico: Ruido	Capacitor de potencia: Generación de calor generador no-util: Generación de calor	Fuga de Tierra del circuito Breaker: Operación inecesaria Relay termico: Operación inecesaria
Ejemplos principales de corrección	Cambio de la ruta de cableado. Instalar filtro anti-ruido	Instalar reactor	Cambio la detección de sensibilidad Cambios de frecuencia

3.4.2 Influencia de los armónicos en la fuente de alimentación

1) Variedad de armónicos en la fuente de alimentación

Estos dos puntos deben de ser considerados

- Influencia de los periféricos sin los permisos del consumidor
- Supresión de las corrientes armónicas salientes a la recepción del consumidor

Figura 49. Diagrama del sistema de ejemplo

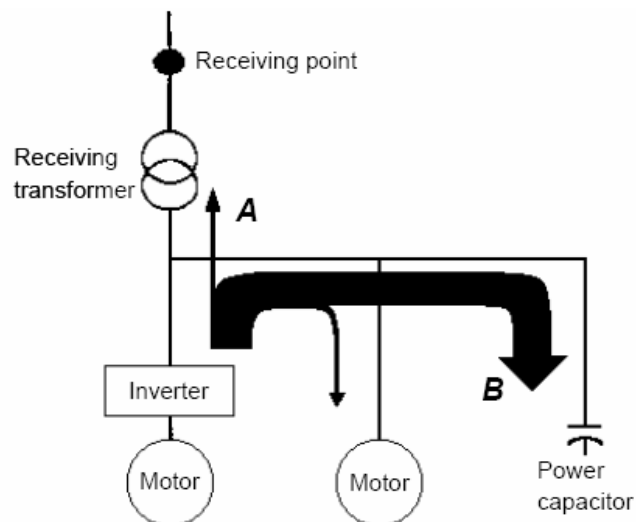
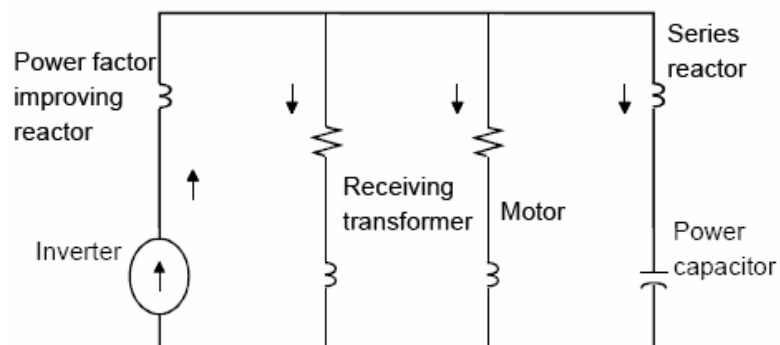


Figura 50. Circuito equivalente



Cómo las armónicas son producidas en el circuito convertidor (circuito rectificador) del variador, las armónicas pueden ser representados por un circuito equivalente con el variador usado como potencia de alimentación. Ya que el circuito equivalente es mostrado en la figura 50 en el caso del sistema mostrado en la figura 49, puede ser examinado encontrando las impedancias de los periféricos y cables en las ramas del circuito y calculando las corrientes armónicas de varios ordenes producidos por el variador.

2) Influencia de los periféricos

- Cuando el capacitor de potencia es conectado del lado de la alimentación del variador.

Por la alta frecuencia de las armónicas a comparación de la alimentación, la impedancia del capacitor de potencia decrece. Las armónicas de la fuente de potencia generado del variador concentrado en el capacitor de potencia en el lado B de la figura 49, y como en resultado, el capacitor de potencia cauda una falla de sobrecalentamiento.

Sin embargo, la instalación de un reactor en serie incrementara la impedancia del circuito capacitor de potencia y un reactor de mejora de factor de potencia suprimirá las corrientes armónicas del variador.

- Cuando la alimentación de potencia es un generador sin utilidad

Las armónicas de orden "n" en el generador producirá un campo el cual será "n" veces más grande que la onda fundamental, el cual generara corrientes inducidas y causara reducción en la salida, acorta el tiempo de vida, daña o dará una generación de calor. Esta influencia puede encontrarse equivalente a la fase negativa de corriente, y JEM1354 especifica que las corrientes de fase negativas de un generador deben de ser menos del 15% de la salida

nominal de corriente. La instalación de un reactor de factor de potencia suprimirá las corrientes armónicas del variador es también efectivo para un generador sin utilidad.

- Salida a punto de recepción.

El variador genera no solo armónicos de corriente a los periféricos, sino también al punto de recepción por el transformador de potencia. Ya que las corrientes armónicas de salida afectan a otros, fue instituido el supresor de armónicos a la potencia de alimentación. Especialmente la guía para ciertos consumidores requiere el supresor de armónicos de corriente de salida a la salida del punto de recepción al lado de la potencia de alimentación.

El punto de cómo suprimir/absorber las armónicas de la potencia de alimentación en un variador en las premisas del consumidor para reducir las armónicas de corriente al punto de recepción en el camino A de la figura 51.

3.4.3 Guía de supresión de armónicos

Para suprimir fallos de armónicos, las siguientes guías fueron establecidas por la Agencia de Recursos y Energía (*Resources-Energy Agency*), Ministerio de Intercambios Internacionales e Industria en Septiembre de 1994.

- 1) “Guía de supresión de armónicos para aplicaciones del hogar y generales”

Esta guía aplica al equipo eléctrico/electrónico (aplicaciones generales y del hogar) de 20^a/Fase y corrientes menores usadas con conexiones con un voltaje de 300V o menor energía comercial.

Sin embargo, esta guía fue aplicada para equipo principal de manufactura.

- Aplicaciones típicas y Generales.

En principios, el objetivo son todos los equipos compactos y productos típicos que le siguen.

Aires Acondicionados, microondas, hornos, refrigeradores, televisores, Videograbadoras, radios, copadoras, computadoras, equipo compacto de alumbrado, variadores Transistorizados (200V 3.7kW y menores), servos de propósito general (200V 4.0kW y menores)

* Para un variador de 200V de 3.7kW o menos, un reactor en AC o DC DEBE de ser instaladas.

2) “Guía de supresión de armónicos para consumidores quien recibe potencia a alto voltaje o alto voltaje especial”

Esta guía estipula los límites mayores de las corrientes armónicas salientes de un consumidor instalado de alto voltaje o alto voltaje especial, suma o actualiza al equipo productores de armónicos. Se debe rigurosamente tomar las acciones apropiadas si los armónicos de corrientes exceden los límites mayores.

Para evitar restricciones dobles, productos los cuales “guía de supresión de armónicos para aplicaciones del hogar y generales” aplicaciones son excluidas de la guía objetiva del consumidor.

* Una posible técnica efectiva para variadores es instalar un reactor de mejora del factor de potencia o un convertidor de alta potencia.

3.5 Ruido

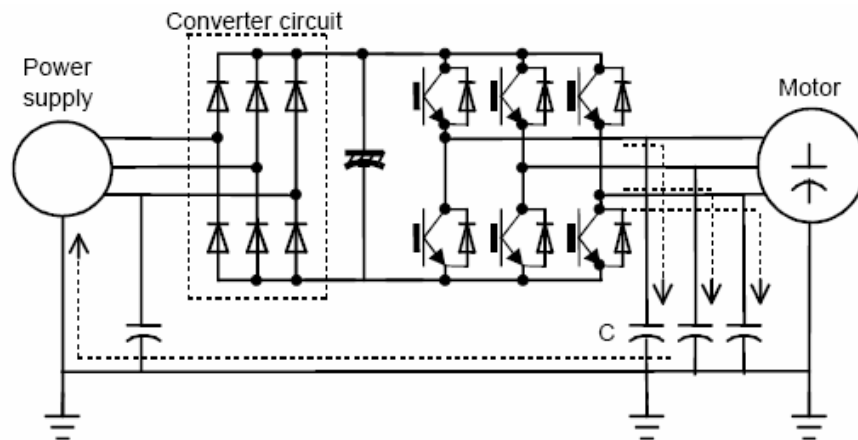
3.5.1 Generación mecánica del ruido

Cómo se muestra en la figura 51, conmutaciones ocurren siempre en el circuito principal, corrientes de fuga pulsantes fluyen a la potencia de alimentación por medio de la tierra de capacitancias directas C existentes en el cableado entre el variador y motor y entre el motor y tierra.

Cambios en estas corrientes de fuga se vuelven ruidos, afectando a otros dispositivos (PLC's, varios sensores, etc.) conectados a la misma alimentación eléctrica.

Ya que las corrientes de fuga cambian en todas las conmutaciones, el nivel de ruido es altamente influenciado por la frecuencia de la portadora.

Figura 51. Corrientes de fuga principal



3.5.2 Tipos de ruido y su propagación

El variador como generador de ruido es clasificado por varios factores, por los cables conectados al variador y al circuito principal (I/O), los electrónicamente y electroestáticamente inducidos a los cables de señal de los dispositivos periféricos cercanos al circuito principal de la potencia de alimentación, y los transmitidos por los cables de alimentación de potencia.

figura 52 indica los tipos de ruido y la figura 53 su propagación

Figura 52. Tipos de ruido

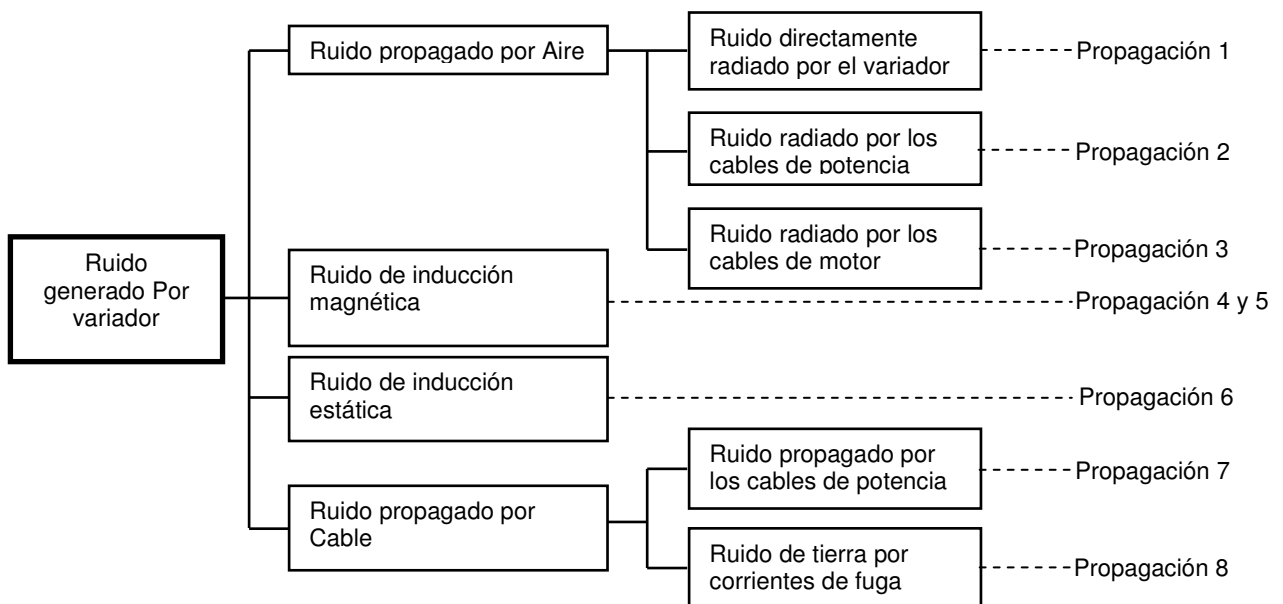
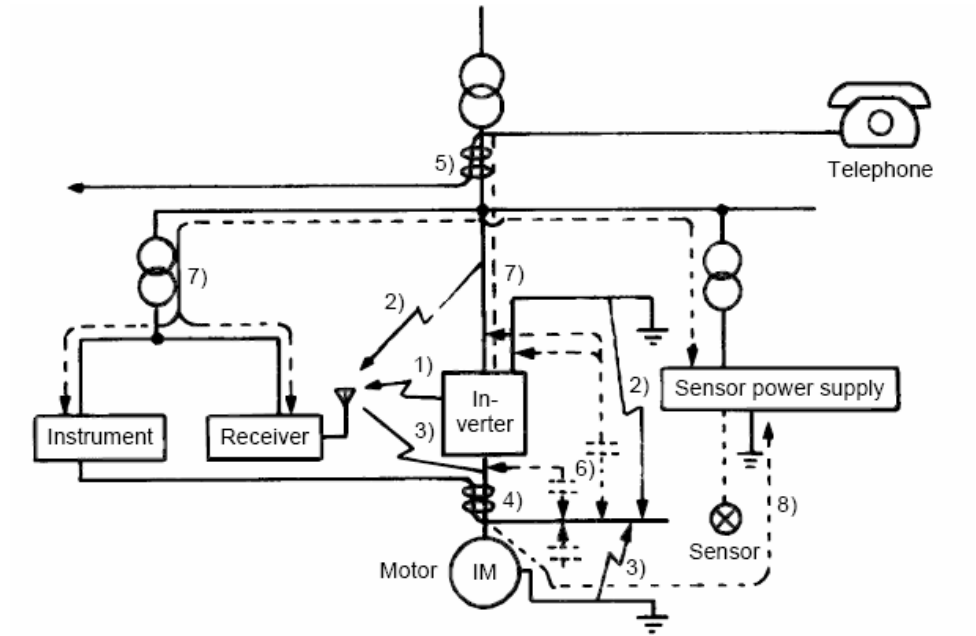


Figura 53. Propagación del ruido



3.5.3 Técnicas de reducción del ruido

Los Niveles (estimados) de los efectos esperados de las técnicas de reducción cómo son indicados en la Tabla III.

- Gran Efecto
- Δ Efecto Pequeño
- O Efecto Producido
- Sin Efecto

Tabla IV. Efectos de las técnicas de reducción del ruido

Técnica	Efectos de las técnicas reductoras de ruido						
	Propagación de ruido por aire			Propagación de ruido por cable			
	Radiación del variador	Radiación de los cables de potencia	Radiación de los cables del motor	Ruido de inducción magnética	Ruido de Inducción estática	Cables de potencia	Corrientes de fuga de tierra
Reducción de la frecuencia de portadora	•	•	•	•	•	•	•
Incremento de la constante de entrada del filtro	Δ	Δ	Δ	O	Δ	----	----
Instalar filtro de ruido capacitivo	----	•	----	----	----	•	----
Instalar filtro de ruido inductivo	----	•	----	----	----	•	Δ
Aislar los cables de alimentación en un conductor metálico o usar cables blindados como alimentación	----	•	----	----	----	•	----
Instalar transformador aislado o transformador reductor de ruido	----	----	----	----	----	•	----
Separar las líneas de alimentación de potencia	----	----	----	----	----	•	•
Instalar filtro de ruido inductivo	----	----	•	Δ	Δ	----	•
Aislar los cables en un conductor metálico o usar cables blindados	----	----	•	O	O	----	----
Usar cable de 4 hilos blindado como líneas de potencia del motor y usar uno como cable de tierra	----	----	Δ	Δ	Δ	----	•
Usar cable trenzado blindado en la señal del sensor	O	O	O	•	•	----	----
Conectar el blindaje al común de la señal del sensor	----	----	----	•	•	----	•
No aterrizarse el sensor al gabinete, etc. directamente	----	----	----	----	----	Δ	•
Sensor de Tierra a través de la unidad de energía del capacitor	----	----	----	----	----	Δ	O
Usar cables blindados para entradas de control y conectar el blindaje en SD	Δ	Δ	Δ	O	•	----	Δ
Usar cable de par trenzado blindado para entradas de alta velocidad y conectar el blindaje en el terminal 5	O	O	O	•	•	----	Δ
Instalar anillos de ferrita (comercialmente disponibles) a las entradas de alta velocidad (lado de salida para equipo acoplado)	Δ	Δ	Δ	O	----	----	----
Bajar la impedancia del circuito de salida del equipo acoplado	Δ	Δ	Δ	O	----	----	----
Separar el variador de las líneas de potencia a más de 30 cm	•	•	•	•	•	----	----
No instalar los cables en paralelo o juntos	Δ	Δ	Δ	•	•	----	----
Proveer blindaje	O	Δ	Δ	Δ	Δ	----	----
Alejar de tierra	Δ	O	O	Δ	Δ	----	----
Insertar anillos de ferrita disponibles en el mercado en las entradas del equipo acoplado	----	----	----	----	----	•	Δ

3.6 Corrientes de fuga

3.6.1 Generación principal de las corrientes de fuga

Capacitancias en línea C existe en el cableado entre el variador y el motor, y entre el motor y tierra. Por lo tanto, conmutación rápida en el circuito principal causa corrientes de fuga que fluye de las capacitancias en línea C a la alimentación de potencia hasta tierra. Corrientes de fuga depende de la frecuencia de la portadora y voltaje a tierra.

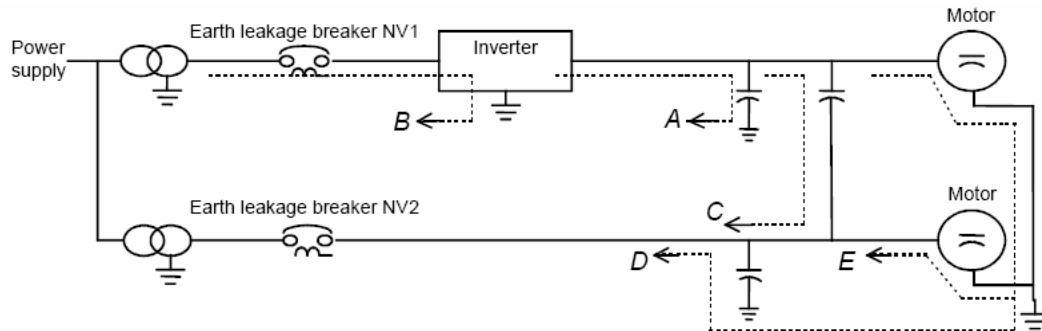
3.6.2 Influencia de las corrientes de fuga

(1) Corrientes de fuga a tierra

- 1) Corrientes de fuga fluye en los caminos indicados por las líneas punteadas A, B atravesando a tierra durante las capacitancias en línea C para activar las fugas de corriente en el breaker (NV1) en el sistema donde existe el variador.

- 2) Flujo de las corrientes de fuga por tierra en los caminos indicados por las líneas punteadas C, D, E para activar la fuga de la tierra (NV2) en el sistema diferente del sistema del variador.

Figura 54. Propagación de las corrientes de fuga a tierra



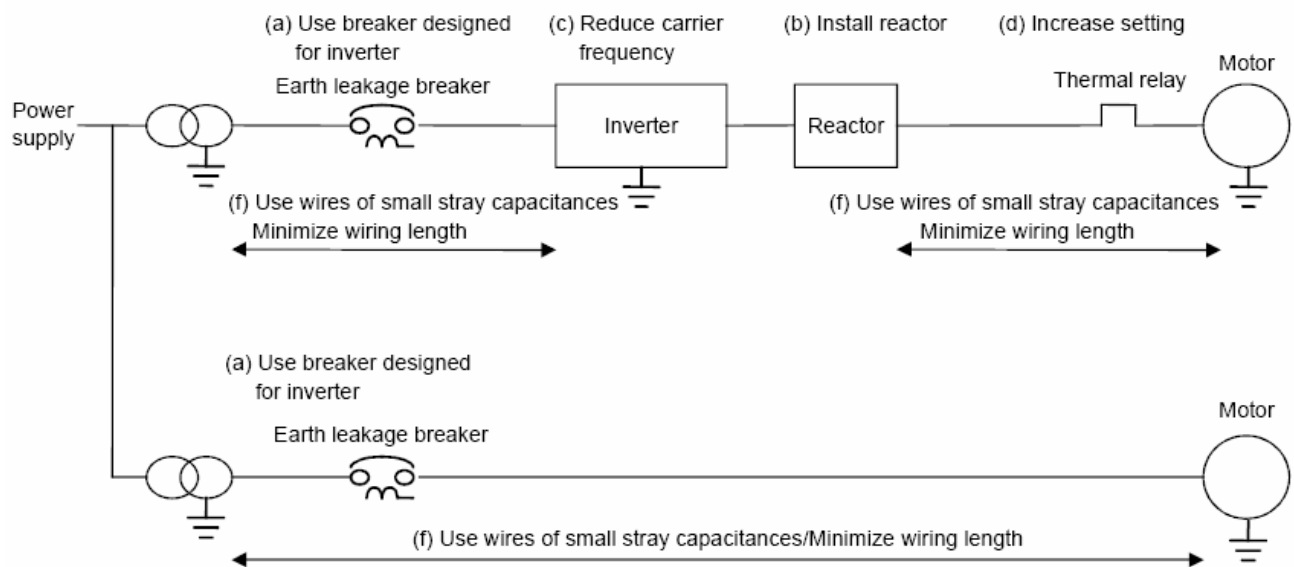
(2) Corrientes de fuga línea a línea

Si la distancia del cableado en la salida del variador es larga (50m o más) cuando es conectado externamente, un relay térmico es usado para proteger el motor, corrientes de fuga línea a línea pueden incrementar el valor efectivo de la corriente fluyendo al relay térmico, activando el relay térmico.

El modelo el cual la corriente nominal del motor es más pequeño (Varios A o menos) es más influenciado por corrientes de fuga. Particularmente, este fenómeno ocurre muchas veces en los modelos de 400V de pequeñas capacidades (7.5kW y menores).

3.6.3 Medidas contra las corrientes de fuga

Figura 55. Ejemplos de medidas contra las corrientes de fuga



4. PARÁMETROS DE PROGRAMACIÓN EN EL EQUIPO MITSUBISHI

Para un funcionamiento óptimo, un variador de frecuencia tiene que ser adaptado al accionamiento conectado y a la aplicación de que se trate. Los ajustes necesarios para ello son denominados **parámetros** y se guardan en la memoria del variador de frecuencia. No se pierden tampoco cuando se desconecta la fuente de alimentación, de manera que sólo es necesario ajustarlos una vez. Todos los parámetros vienen ya preajustados en el estado de entrega del variador de frecuencia. De este modo el aparato ya está listo para ser puesto inmediatamente en funcionamiento.

Los parámetros pueden subdividirse en parámetros básicos y parámetros extendidos. El ajuste de los parámetros básicos es estrictamente necesario, al contrario que el de los parámetros extendidos, los cuales a menudo tienen que ser ajustados sólo en caso de aplicaciones especiales o complejas.

ATENCIÓN:

Un mal ajuste de los parámetros puede dar lugar a daños del motor y, en casos extremos, incluso a la destrucción del mismo. Ajuste los parámetros concienzudamente y tenga en consideración las circunstancias eléctricas y mecánicas del accionamiento y de la máquina.

4.1 Parámetros básicos de funcionamiento

4.1.1 Parámetros básicos en variadores de frecuencia

Tabla V. Parámetros básicos

Parámetro	Significado	Rango de Ajuste	Ajuste de Fábrica
0	Evaluación del par de giro (manual)	0 - 30%	1% / 1.5% / 2% / 3% / 4% / 6% ¹
1	Frecuencia máxima de salida	0 - 120 Hz	60 Hz / 120 Hz ¹
2	Frecuencia mínima de salida	0 - 120 Hz	0 Hz
3	Curva característica V/F (frecuencia básica)	0 - 400 Hz	50 Hz
4	1. Preselección de revoluciones/velocidad (borne RH)	0 - 400 Hz	50 Hz
5	2. Preselección de revoluciones/velocidad (borne RM)	0 - 400 Hz	30 Hz
6	3. Preselección de revoluciones/velocidad (borne RL)	0 - 400 Hz	10 Hz
7	Tiempo de Aceleración	0 - 3600 s	5 s ó 15 s ¹
8	Tiempo de Desaceleración	0 - 3600 s	10 s ó 30 s ¹
9	Ajuste de corriente para la protección electrónica del motor	0 - 500 A 0 - 3600 A	Corriente Nominal
19	Tensión máxima de salida	0-1000 V 8888 ² 9999 ³	8888
20	Frecuencia de referencia para tiempo de aceleración y de frenado	1 - 400 Hz	50 Hz
79	Selección de modos de funcionamiento	0 - 4 / 6 / 7	0

¹ Dependiendo de la clase de potencia del variador de frecuencia

² Con el valor "8888" el voltaje de salida máxima es del 95% del voltaje de salida

- ³ Con el valor “9999” el voltaje de salida máxima se corresponde con el voltaje de entrada

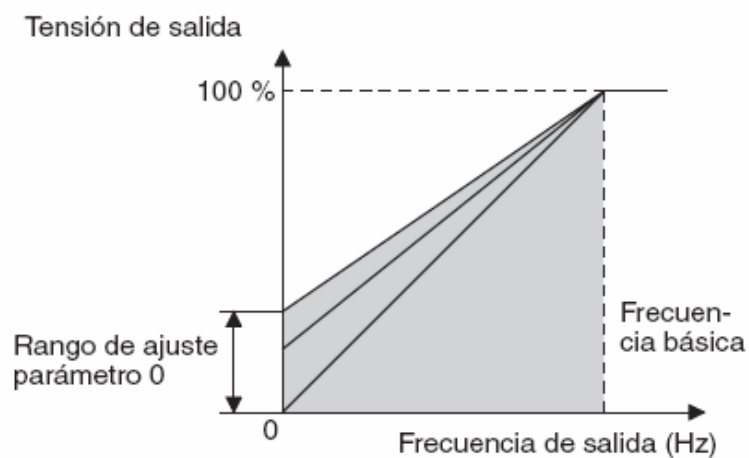
4.1.2 Los parámetros básicos en detalle

Elevación de torque de giro (Parámetro 0)

Con ayuda del parámetro cero es posible elevar la tensión de salida con frecuencias de salida reducidas y elevar así el torque de giro. Se emplea esta función cuando haga falta un alto par de arranque o un alto par de giro a bajas revoluciones.

Con el parámetro cero es posible aliviar para el motor la puesta en marcha bajo carga. La frecuencia básica es determinada por el parámetro tres.

Figura 56. Elevación torque de giro



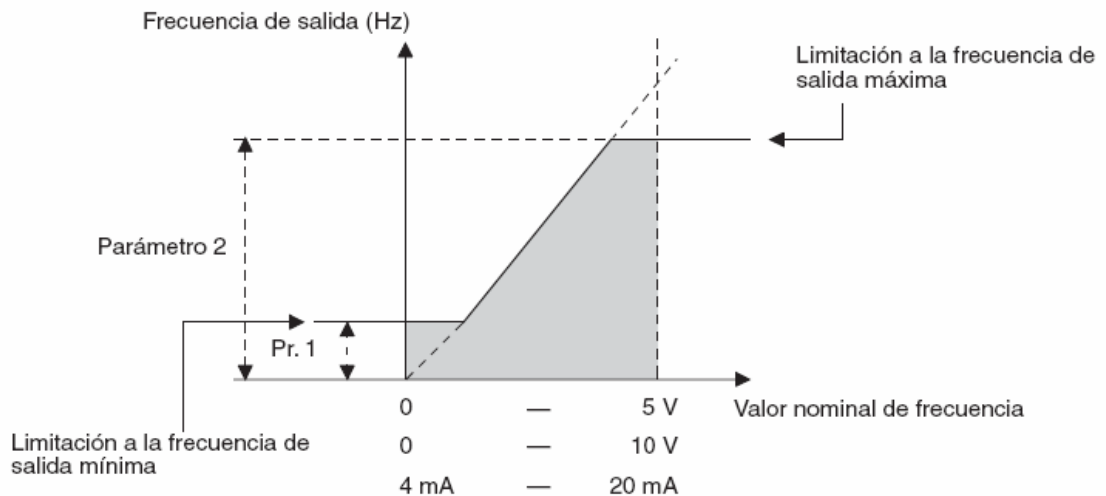
Frecuencia de salida mínima y máxima (Parámetros 1 y 2)

Las frecuencias de salida mínima y máxima determinan el rango dentro del cual el valor nominal de frecuencia puede regular las revoluciones de un accionamiento.

Mediante el ajuste de los parámetros uno y dos es posible adaptar el rango del valor nominal de frecuencia a las circunstancias y características mecánicas de la máquina. En muchas aplicaciones no es conveniente o posible una parada del accionamiento (frecuencia de salida = 0 Hz) con un valor nominal mínimo.

Por otro lado es necesario limitar también la frecuencia máxima de salida y con ello el número máximo de revoluciones, por ejemplo para no sobrecargar a la máquina mecánicamente o para no exceder una determinada velocidad máxima.

Figura 57. Frecuencia máxima y mínima



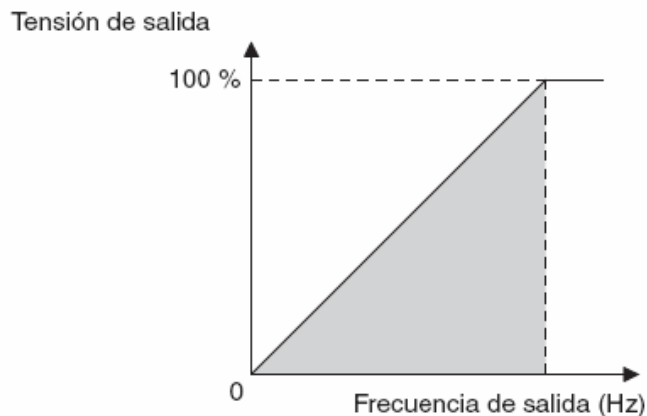
Curva característica v/f (Parámetro 3)

El ajuste del parámetro tres es muy importante, ya que con el se lleva a cabo la adaptación del variador de frecuencia al motor.

El parámetro tres indica con qué frecuencia de salida ha de adoptar su máximo valor la tensión de salida. Por regla general aquí se ajusta la frecuencia nominal del motor. La frecuencia nominal de un motor se indica en su placa de características. Un ajuste erróneo puede dar lugar a una sobrecarga y a una desconexión del variador de frecuencia.

El parámetro tres determina la relación entre la tensión de salida y la frecuencia de salida (curva característica/F).

Figura 58. Frecuencia base de operación



Por medio del parámetro diecinueve es posible determinar la tensión máxima de salida del variador de frecuencia. Para ello el parámetro es ajustado a la tensión de salida máxima permitida (ver placa de características del motor).

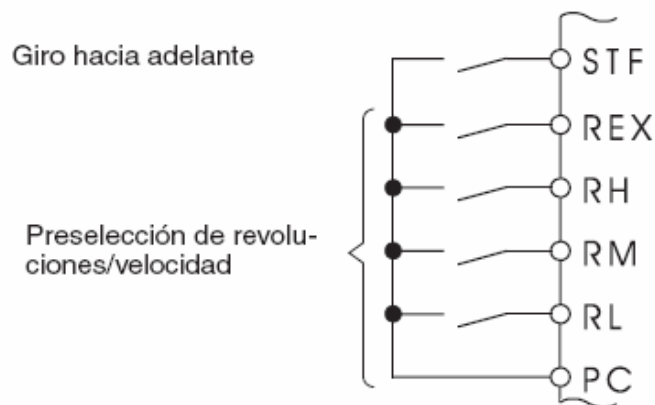
Determinación del valor nominal de la frecuencia, mediante señales externas (Parámetros 4 al 6)

En muchas aplicaciones resulta suficiente cuando un accionamiento puede ser operado con varias velocidades fijas. De este modo no es necesario predeterminar un valor nominal de frecuencia; los valores nominales (los cuales, evidentemente, pueden ser determinados por el usuario), se obtienen de las señales de ENTRADA/SALIDA de los bornes de conexión del variador de frecuencia.

En todos los variadores de frecuencia tratados en este manual introductoria es posible seleccionar hasta quince valores nominales de frecuencia (y de este modo revoluciones o velocidades) a través de los bornes RH, RM, RL o REX. Para ello, el variador de frecuencia tiene que encontrarse en el modo de funcionamiento “externo”.

Ejemplo para la conexión a los bornes RH, RM, RL y REX de un variador de frecuencia. Para la selección de una frecuencia es posible emplear por ejemplo las salidas de relé de un controlador lógico programable (PLC).

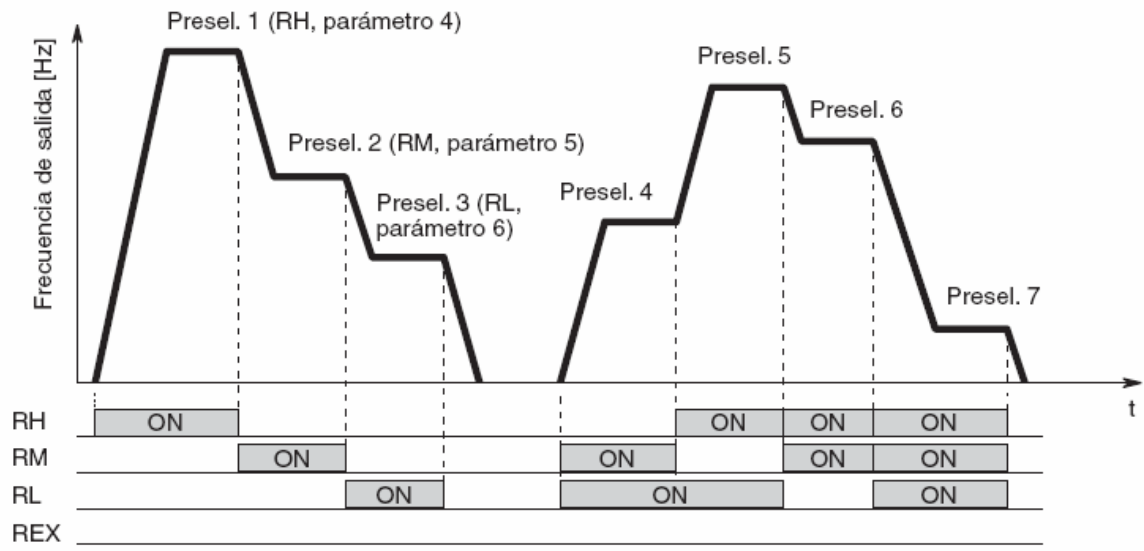
Figura 59. Velocidades preseteadas



Los primeros tres valores nominales de frecuencia se registran en los parámetros del cuatro al seis. Otras revoluciones fijas (cuatro hasta quince) pueden guardarse en otros parámetros. Indicaciones al respecto podrá encontrarlas en las instrucciones de cada uno de los variadores de frecuencia.

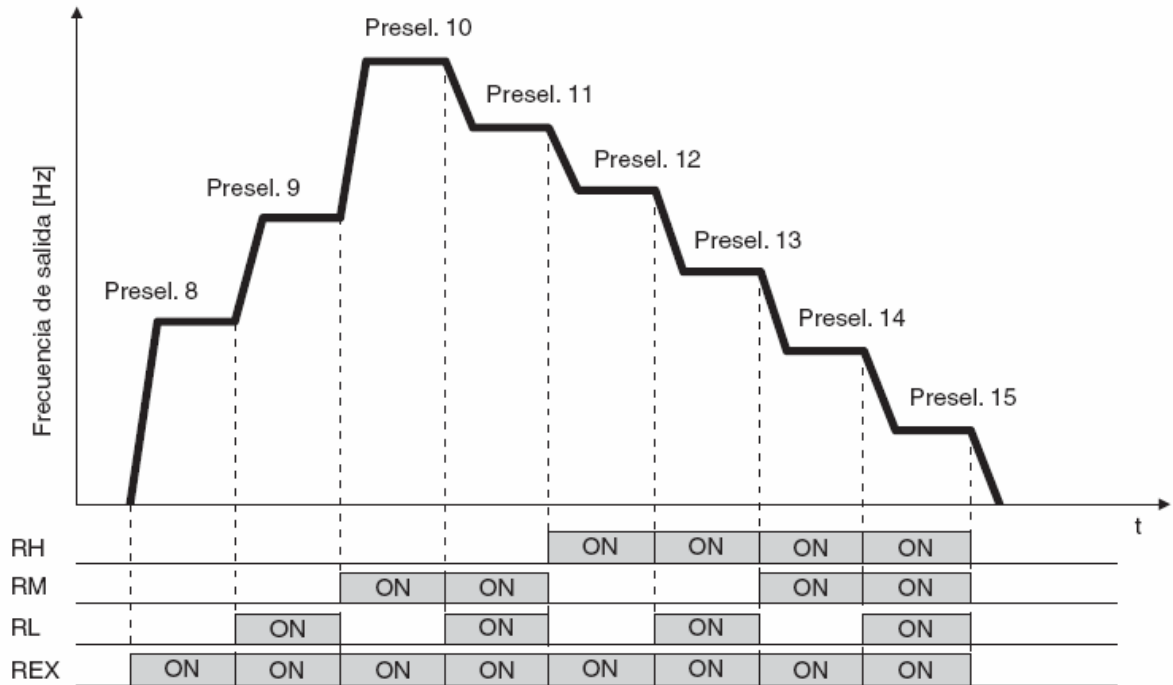
Tal cómo muestra la figura siguiente, es posible acceder a hasta siete valores nominales de frecuencia ya sólo con señales en los bornes RH, RM y RL. Para la selección de la cuarta a la séptima frecuencia fija es necesario combinar las señales de estas entradas.

Figura 60. Velocidades preseleccionadas del 1 al 7



Para acceder a las frecuencias octava hasta décimo quinta se requiere una señal en el borne REX:

Figura 61. Velocidades preseleccionadas del 8 al 15



Al seleccionar frecuencias fijas (velocidades) hay que observar lo siguiente:

- Si se emplean exclusivamente los parámetros cuatro, cinco y seis para la preselección de la velocidad y al mismo tiempo se han seleccionado por descuido dos velocidades, los bornes presentan la siguiente prioridad: RL antes de RM y RM antes de RH.
- Los valores de los parámetros pueden modificarse también durante la operación. Los parámetros básicos en detalle Parámetros seis.

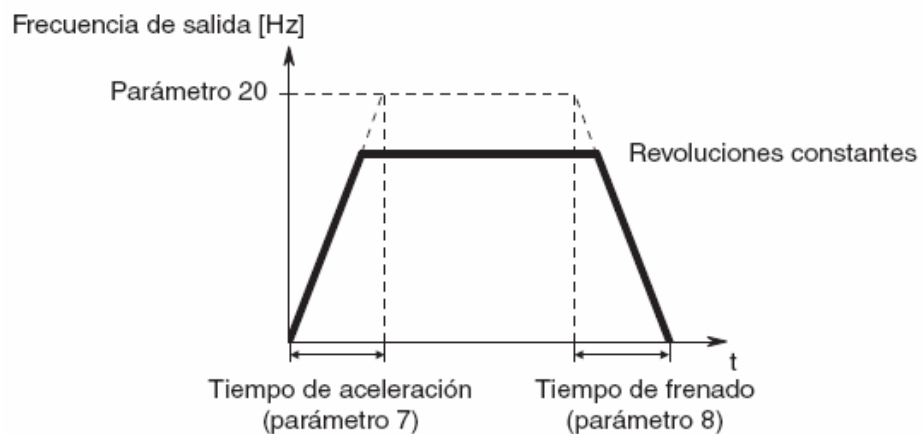
Tiempo de aceleración y desaceleración (Parámetros 7 y 8)

Una gran ventaja de los variadores de frecuencia consiste en que un motor conectado puede acelerarse y frenarse con suavidad. Por el contrario, un motor

eléctrico conectado directamente a la red eléctrica alcanza sus revoluciones nominales dentro de un tiempo mínimo después de la conexión. Esta es una propiedad no siempre deseada, especialmente en el caso de mecanismos sensibles.

Los parámetros siete y ocho sirven para determinar los tiempos de aceleración/de frenado. Cuanto mayor es el valor de parámetro ajustado, tanto menor es el cambio de velocidad por unidad de tiempo.

Figura 62. Tiempos de aceleración y desaceleración



Con el parámetro siete se ajusta el tiempo de aceleración para el accionamiento. El tiempo de aceleración describe el espacio de tiempo (en segundos) requerido para acelerar de cero Hz hasta la frecuencia determinada en el parámetro veinte.

El tiempo de frenado, es decir el espacio de tiempo (en segundos) dentro del que el accionamiento es frenado desde la frecuencia fijada en el parámetro veinte hasta cero Hz, se determina por medio del parámetro ocho.

Protección electrónica del motor (Parámetro 9)

Los variadores de frecuencia están equipados con una función electrónica interna para la protección del motor. Ésta registra la frecuencia y la corriente del motor. En función de estos dos factores y de la corriente nominal del motor, la protección electrónica del motor se hace cargo de disparar las funciones de protección en caso de sobrecarga. La función electrónica de protección del motor sirve en primera línea como protección contra un calentamiento no permitido cuando se opera con revoluciones parciales y con un par de giro muy alto. Para ello se toma en consideración, entre otras cosas, la reducción del rendimiento de refrigeración del ventilador del motor.

En el parámetro nueve se indican la corriente nominal del motor. Este dato puede tomarse de la placa de características del motor.

Para desactivar la protección electrónica del motor se pone a cero el parámetro nueve (p. ej. cuando se emplea una protección externa del motor o cuando se conectan varios motores a un variador de frecuencia). Sin embargo se mantiene activa la protección contra sobrecarga de los transistores del variador de frecuencia.

Selección del modo de funcionamiento (Parámetro 79)

Mediante el valor del parámetro setenta y nueve se determina el modo de funcionamiento en que ha de trabajar el variador de frecuencia.

La operación puede llevarse a cabo por medio de señales externas, de una unidad de mando, de una combinación de unidad de mando y de señales externas o a través de una red.

- Elegir el control externo cuando el variador de frecuencia vaya a ser operado por ejemplo mediante potenciómetro e interruptor o mediante un PLC preferentemente a través de los bornes de control.
- Elegir la operación a través de una unidad de mando cuando la orden de inicio y la determinación de la orden de las revoluciones van a tener lugar a través de una unidad de mando o a través de la interfase PU.
- Elegir el funcionamiento de red (modo NET) para un funcionamiento a través del segundo interfase serial o una opción de comunicación.

Tabla VI. Ajuste del parámetro 79

Parámetro 79	Función		
0	Al conectar la fuente de alimentación está seleccionado el control externo. Es posible cambiar entre el funcionamiento a través de la unidad de mando y el control externo por medio de las teclas de la unidad de mando. Las propiedades de estos modos de funcionamiento se describen en esta tabla bajo los valores de parámetro "1" y "2".		
1	Modo de funcionamiento	Determinación de la frecuencia de salida	Determinación de la señal de inicio
	Unidad de mando	Mediante unidad de mando	Mediante las teclas RUN (FWD, REV) de la unidad de mando
2	Control externo	Determinación externa de valor nominal (p. ej. Bornes 2 (4) - 5, preselección de velocidad/revoluciones, etc.)	Señal externa de inicio mediante STF ó STR
3	Modo de funcionamiento combinado 1	Determinación externa de valor nominal (p. ej. mediante preselección de velocidad/revoluciones, etc.)	Señal externa de inicio mediante STF ó STR
4	Modo de funcionamiento combinado 2	Determinación externa de valor nominal (p. ej. Bornes 2 (4) - 5, preselección de velocidad/revoluciones, etc.)	Mediante las teclas RUN (FWD, REV) de la unidad de mando
6	Funcionamiento de cambio. Durante el funcionamiento es posible un cambio entre las unidades de mando, control externo y control a través de red. Se mantiene el estado de funcionamiento.		
7	Control externo (liberar/bloquear cambio de funcionamiento a través de unidad de		
8	Funcionamiento de cambio (prohibido durante el funcionamiento)		

Modo de funcionamiento 0 (funcionamiento externo, conmutable a “funcionamiento a través de unidad de mando”)

modo de funcionamiento 2 (funcionamiento externo, no conmutable)

Si el parámetro 79 está puesto a “0” ó a ”2”, después de conectar la fuente de alimentación está activado el control externo del variador de frecuencia. En este caso, por regla general no es posible ajustar parámetros.

Si no es necesario cambiar parámetros frecuentemente, puede elegirse de forma fija el modo de funcionamiento externo ajustando a “2” el parámetro 79.

Si resulta necesario cambiar frecuentemente los parámetros hay que seleccionar el modo de funcionamiento externo ajustando a “0” el parámetro 79. Entonces el variador de frecuencia se pone en el modo de funcionamiento externo cuando se conecta la fuente de alimentación, pero puede cambiarse al ”funcionamiento a través de unidad de mando” (funcionamiento PU) pulsando la tecla PU/EXT. En el funcionamiento PU es posible cambiar parámetros. Pulsando de nuevo la tecla PU/EXT es posible cambiar de nuevo al modo de funcionamiento externo.

En el funcionamiento externo los comandos de inicio vienen predeterminados a través de los bornes STF y STR. La predeterminación del valor nominal de frecuencia puede tener lugar por medio de una fuente analógica de valor nominal (corriente o tensión) o mediante el acceso a valores fijos de velocidad/revoluciones en los bornes RH, RM, RL.

Modo de funcionamiento 1 (funcionamiento a través de unidad de mando)

Si el parámetro 79 está ajustado a "1", después de la conexión el variador de frecuencia se inicia en el modo "funcionamiento a través de unidad de mando" y puede controlarse, consecuentemente, por medio de las teclas de la unidad de mando.

El modo de funcionamiento no puede cambiarse pulsando la tecla PU/ EXT.

Modo de funcionamiento 3 (funcionamiento combinado 1)

Elija este tipo de funcionamiento combinado cuando la determinación del valor nominal de frecuencia ha de tener lugar a través de la unidad de mando (dial digital) y la determinación de las señales de inicio ha de tener lugar a través de los bornes externos.

El modo de funcionamiento no puede cambiarse pulsando la tecla PU/ EXT.

Una determinación de las revoluciones a través de la preselección de la velocidad/revoluciones mediante señales externas tiene una prioridad mayor que la determinación de la frecuencia por medio de la unidad de mando.

Modo de funcionamiento 4 (funcionamiento combinado 2)

Elija este tipo de funcionamiento combinado cuando la determinación del valor nominal de frecuencia ha de tener lugar por ejemplo, a través de un potenciómetro externo o la preselección de la velocidad/revoluciones y la determinación de las señales de inicio han de tener lugar a través de la unidad de mando. El modo de funcionamiento no puede cambiarse pulsando la tecla PU/ EXT.

4.2 Parámetros para un proceso PID

4.2.1 Qué es un control PID?

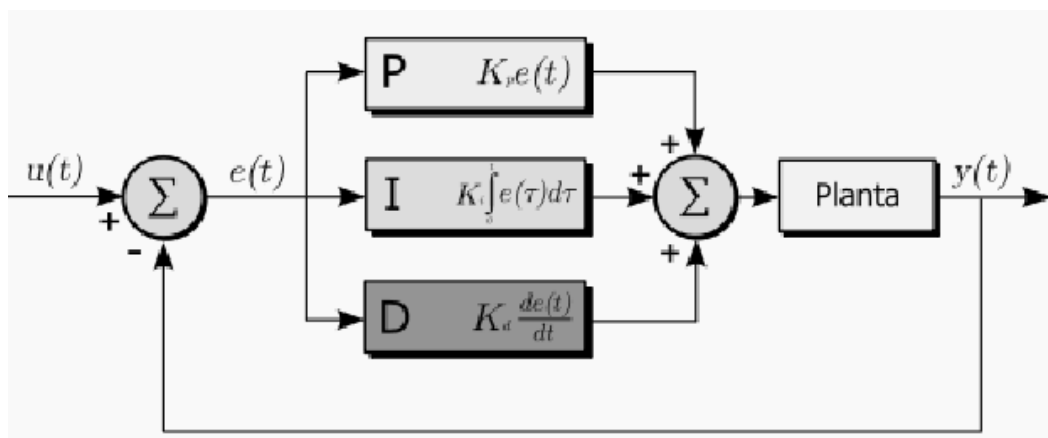
Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control industriales. Un controlador PID corrige el error entre un valor medido (Variable de proceso) y el valor que se quiere obtener (*set point*) calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde.

El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control cómo la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo.

Ajustando estas tres constantes en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo.

Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

Figura 63. Diagrama de bloques de un control PID



Funcionamiento

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

1. Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc.).
2. Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
3. Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc.).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el *punto actual* en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que son con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (*HMI-Human Machine Interface*), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, si no que debe ser transformada para ser compatible con el actuador que usemos.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte **P**roportional, acción **I**ntegral y acción **D**erivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr

que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

Significado de las constantes

P constante de proporcionalidad: se puede ajustar cómo el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional. Ejemplo: Cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable respecto al punto de consigna. La señal P, mueve la válvula siguiendo fielmente los cambios de temperatura multiplicados por la ganancia.

I constante de integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.

D constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique. El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá. Ejemplo: Mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna. La señal I, va sumando las áreas diferentes entre la variable y el punto de consigna repitiendo la señal proporcional según el tiempo de acción derivada (minutos/repetición).

Tanto la acción Integral cómo la acción Derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso. La acción integral sirve para reducir el error estacionario, que existiría siempre si la constante K_i fuera nula. Ejemplo: Corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada. La señal d, es la pendiente (tangente) por la curva descrita por la variable.

La salida de estos tres términos, el proporcional, el integral, y el derivativo son sumados para calcular la salida del controlador PID. Definiendo $u(t)$ cómo la salida del controlador, la forma final del algoritmo del PID es:

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$$

Por tener una exactitud mayor a los controladores proporcional, proporcional integral y proporcional derivativo se utiliza en aplicaciones más cruciales tales cómo control de presión, flujo, fuerza, velocidad, en muchas aplicaciones química, y otras variables. Además es utilizado en reguladores de velocidad de automóviles (control de cruceo o *cruise control*), control de ozono residual en tanques de contacto.

4.2.2 Parámetros para proceso un PID

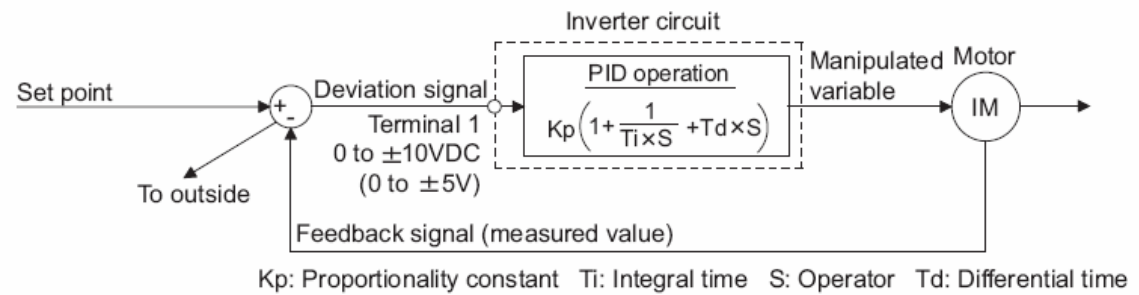
Tabla VII. Parámetros de ajuste PID

Numero de parámetro	Nombre	Valor inicial	Rango de ajuste	Descripción	
127	Cambio PID automatico a la detección de frecuencia	9999	0 a 400 Hz	Se ajusta la frecuencia el cual control es cambiado automaticamente a PID	
			9999	Sin cambio automatico de PID	
128	Selección de acción de PID	10	10	PID inverso	Señal de entrada de desviación (terminal 1)
			11	PID normal	
			20	PID inverso	
			21	PID normal	(terminal 2 o Pr. 133)
			50	PID inverso	Señal de entrada de desviación (Red CC Link, LONWORKS)
			51	PID normal	
			60	PID inverso	Valor medido, señal set point de entrada (Red CC Link, LONWORKS)
61	PID normal				
129	Constante proporcional PID	100%	0.1 a 1000%	Si la banda proporcional es reducida (parámetro de ajuste pequeño), la variable manipulada es muy amplificada con cambios ligeros del valor medido. Por lo tanto, cuando la banda proporcional es estrecha, la respuesta de sensibilidad mejora (ganancia) pero se deteriora la estabilidad, por ejemplo, la caza de la señal se produce. Ganancia $K_p = 1/\text{banda proporcional}$	
			9999	Sin control proporcional	
130	Tiempo de integración PID	1s	0.1 a 3600 s	Para la desviación de paso de entrada, el tiempo (Ti) es requerido solo para la acción integral (I) para proveer la misma variable manipulada como en la acción de la variable proporcional (P). Si el tiempo de integración disminuye, el punto de ajuste alcanza antes, pero la caza se produce mas facilmente.	
			9999	Sin control integral	
131	Limite superior PID	9999	0 a 100%	Se ajusta el limite superior. Si la retroalimentación excede el ajuste, se da una salida en la salida FUP. La señal maxima de entrada (20mA/5V/10V) del valor medido (Terminal 4) es equivalente al 100%	
			9999	Sin función	
132	Limite inferior PID	9999	0 a 100%	Se ajusta el limite inferior. Si el valor medido cae debajo del valor ajustado, se da una salida en la salida FDN. La maxima señal de entrada (20mA/5V/10V) del valor de proceso (Terminal 4) es equivalente al 100%	
			9999	Sin f+F función	
133	Set point PID	9999	0 a 100%	Usado para ajustar el set point del control PID	
			9999	El set point es dado en la terminal 2	
134	Tiempo diferencial PID	9999	0.01 a 10.00 s	Por la desviación de luz de entrada, el tiempo (Td) requerido para proveer la variable manipulada para la acción proporcional (P). Como el tiempo diferencial crece, mayor es la respuesta al cambio de desviacion.	
			9999	Sin control diferencial	
575	Tiempo de interrupcion	1	0 a 3600 s	El variador detiene la operación si la salida de frecuencia despues de la operación PID se mantiene menor que lo ajustado en el Pr. 576 por mas tiempo del que se ajusto en el Pr. 575	
			9999	Sin función de Interrupcion	
576	Nivel de detección de interrupción	0	0 a 400 Hz	Ajuste de la frecuencia el cual la interrupcion de proceso es ejecutado	
577	Nivel de liberación de interrupción	1000	900 a 1100%	Ajuste del nivel (Pr. 577 menos 1000%) de liberar la funcion de salida PID	

4.2.3 Configuración básica de un PID

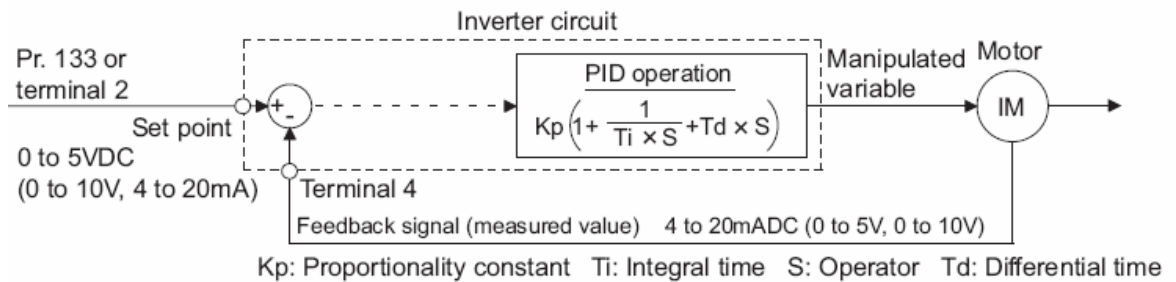
Pr. 128 = "10,11" (Señal de entrada del valor de desviación)

Figura 64. PID con señal de entrada de desviación



Pr. 128 = "20,21" (Señal de entrada del valor medido)

Figura 65. PID con señal de entrada de valor medio



4.2.4 Descripción general de un PID

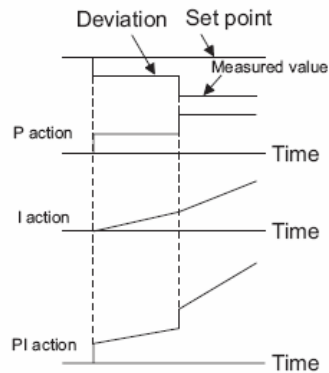
1) Acción PI

La combinación de acción P y acción I para proveer una variable manipulada en respuesta de la desviación y cambios con el tiempo.

[Ejemplo de operación para cambios por pasos del valor de proceso]

(Nota) Acción PI es la suma de la acción P y la acción I.

Figura 66. Acción PI



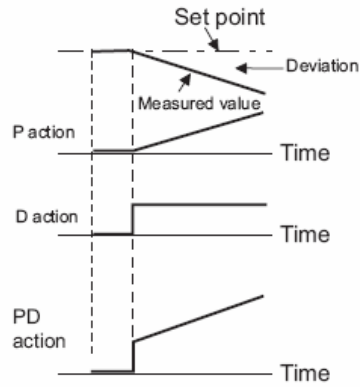
2) Acción PD

Una combinación de la acción P y el control diferencial D de proveer la variable manipulable en respuesta de la velocidad de la desviación para mejorar la característica de transiente.

[Ejemplo de operación de cambios proporcionales del valor de proceso]

(Nota) Acción PD es la suma de la acción P y la acción D.

Figura 67. Acción PD

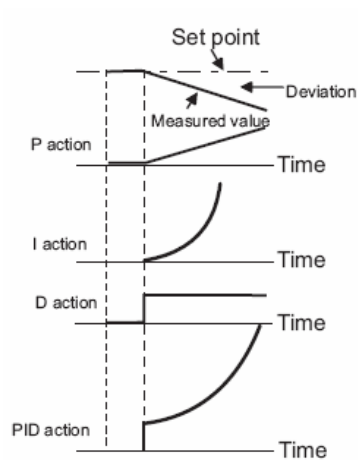


3) Acción PID

La acción PI y la acción PD son combinados para utilizar las ventajas de los dos controles.

(Nota) Acción PID es la suma de las acciones P, I y D.

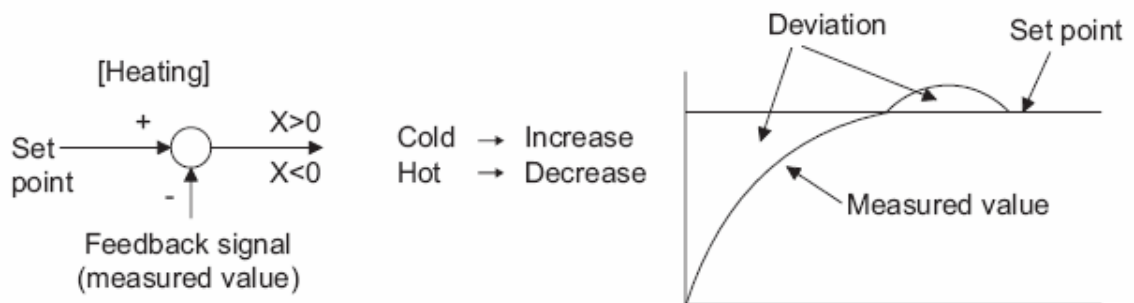
Figura 68. Acción PID



4) Acción inversa

Incrementa la variable manipulada (salida de frecuencia) si la desviación $X = (\text{set point} - \text{valor medido})$ es positivo, y disminuye la variable manipulada si la desviación es negativa.

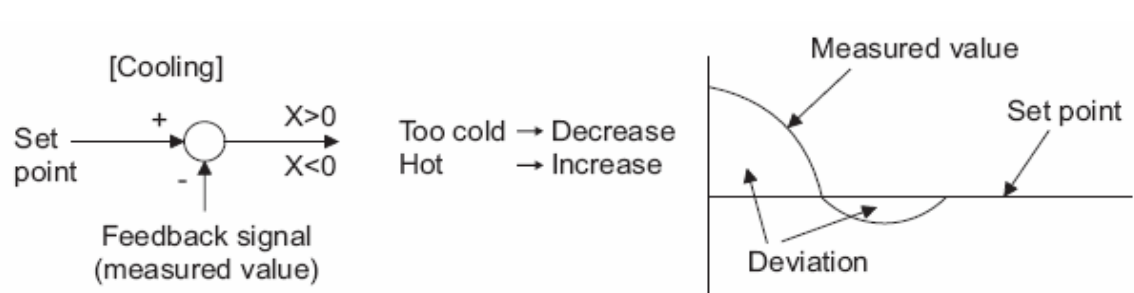
Figura 69. PID Acción inversa



5) Acción normal

Incrementa la variable manipulada (salida de frecuencia) si la desviación $X = (\text{set point} - \text{valor medido})$ es negativo, y disminuye la variable manipulada si la desviación es positiva.

Figura 70. PID acción normal



Relaciones entre la desviación y la variable manipulada (salida de frecuencia)

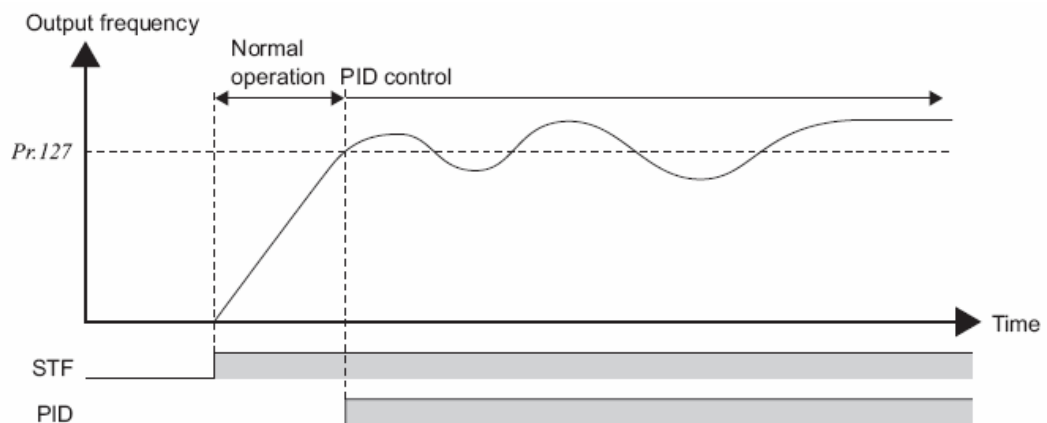
Tabla VIII. Relaciones de PID

	Desviación	
	Positiva	Negativa
Acción normal	↗	↘
Acción inversa	↘	↗

4.2.5 Cambio de control automático PID (Pr. 127)

Para un sistema de rápido inicio al comienzo de operación, el sistema puede ser puesto en marcha en condiciones normales solo al comienzo. Cuando la frecuencia es ajustado en el Pr. 127 *Cambio PID Automático a la Detección de Frecuencia* en el rango de 0 a 400 Hz, el sistema arranca en operación normal desde el comienzo, hasta que es alcanzado el Pr. 127, y luego cambia a control de operación PID. Una vez el sistema a entrado a control PID, se mantendrá en este modo hasta que la frecuencia baje de lo ajustado en el parámetro Pr. 127.

Figura 71. Detección de frecuencia PID



4.2.6 Función de suspensión de salida PID (Función *SLEEP*)

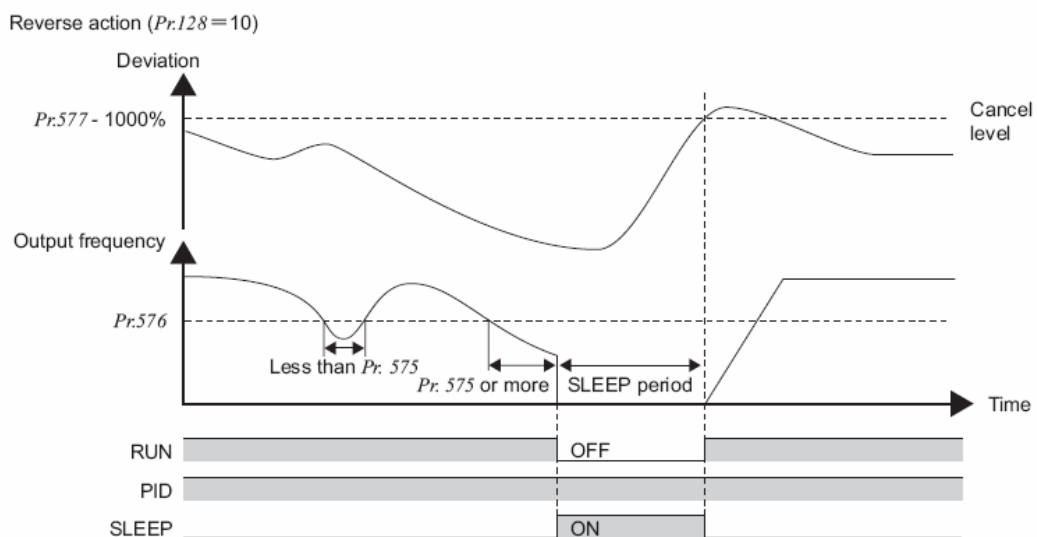
(Señal *SLEEP*, Pr. 575 al Pr. 577)

El variador detiene la operación si la salida de frecuencia después de haber ejecutado el PID se mantiene menor a lo ajustado en el Pr. 576 *Nivel de Detección de Interrupción* por más tiempo de lo que también se ajusto en el Pr. 575 *Tiempo de Interrupción*. Esta función puede reducir el consumo de energía en la baja eficiencia y rango a baja velocidad.

Cuando la desviación (= valor ajustado – valor medido) alcanza la salida PID de cancelación de salida (Pr. 577 establecido- 1000%) mientras la función de interrupción de PID es encendida, la interrupción de PID es cancelada y el control de operación PID se reanuda automáticamente.

Mientras la interrupción de PID esta encendida, la salida de la interrupción (*SLEEP*) se activa. En este momento, la salida de operación (*RUN*) es apagado y la operación (*PID*) es encendido.

Figura 72. Función *SLEEP*



4.3 Parámetros para una rotación de bombas automático (PID Avanzado)

4.3.1 PID avanzado

El control de función de PID puede ajustar el volumen de agua, aire, etc. Controlando una bomba. Motores múltiples (cuatro motores máximo) pueden ser controlados cambiando entre la operación con variador y la operación con potencia comercial.

Usar el Pr. 579 *Selección de Función de conexión de motores* para seleccionar la operación de cambio. Se pueden conectar hasta tres motores auxiliares.

4.3.2 Parámetros para una rotación de bombas automática

Tabla IX. Parámetros de ajuste PID avanzado

Numero de	Nombre	Valor inicial	Rango de	Descripción
578	Selección de operación de motores auxiliares	0	0	Sin operación de motores auxiliares
			1 a 3	Ajuste del numero de Motores Auxiliares a Usar
579	Selección de función de conexión de motores	0	0	Sistema básico
			1	Sistema alternativo
			2	Sistema directo
			3	Sistema alternativo-directo
580	Cambio interno de cambio MC	1s	0 a 100 s	Se ajusta el tiempo durante el cual se realizara el cambio interno cuando el Pr. 579 = "2,3"
581	Tiempo de espera de Inicio	1s	0 a 100 s	Se ajusta el tiempo durante el cual se realizara el cambio interno cuando el Pr. 579 = "2,3", Ajustarse con un tiempo mas grande que el Pr. 580
582	Tiempo de conexión de motor auxiliar tiempo de desaceleración	1s	0 a 3600 s	Ajuste del tiempo de desaceleración para disminuir la salida de frecuencia del variador si la conexión del motor ocurre dentro del PID avanzado
			9999	La salida de frecuencia no es cambiado obligatoriamente
583	Tiempo de conexión de motor auxiliar tiempo de aceleración	1s	0 a 3600 s	Ajuste del tiempo de aceleración para aumentar la salida de frecuencia del variador si la desconexión del motor ocurre dentro del PID avanzado
			9999	La salida de frecuencia no es cambiado obligatoriamente
584	Frecuencia de Inicio del motor auxiliar 1	50 Hz	0 a 400 Hz	Ajuste de la frecuencia el cual se conecta el motor
585	Frecuencia de Inicio del motor auxiliar 2	50 Hz	0 a 400 Hz	
586	Frecuencia de Inicio del motor auxiliar 3	50 Hz	0 a 400 Hz	
587	Frecuencia de finalización del motor auxiliar 1	0 Hz	0 a 400 Hz	Ajuste de la frecuencia el cual se desconecta el motor
588	Frecuencia de Finalización del Motor Auxiliar 2	0 Hz	0 a 400 Hz	
589	Frecuencia de finalización del motor auxiliar 3	0 Hz	0 a 400 Hz	
590	Tiempo de detección de inicio del motor auxiliar	5s	0 a 3600 s	Ajuste del retraso de tiempo hasta que el motor auxiliar es
591	Tiempo de detección de finalización del motor	5s	0 a 3600 s	Ajuste del retraso de tiempo hasta que el motor auxiliar es

4.3.3 Operación de un PID avanzado

Ajustar el número de motores auxiliares en el Pr. 578 y el método de cambio de motores en el Pr. 579.

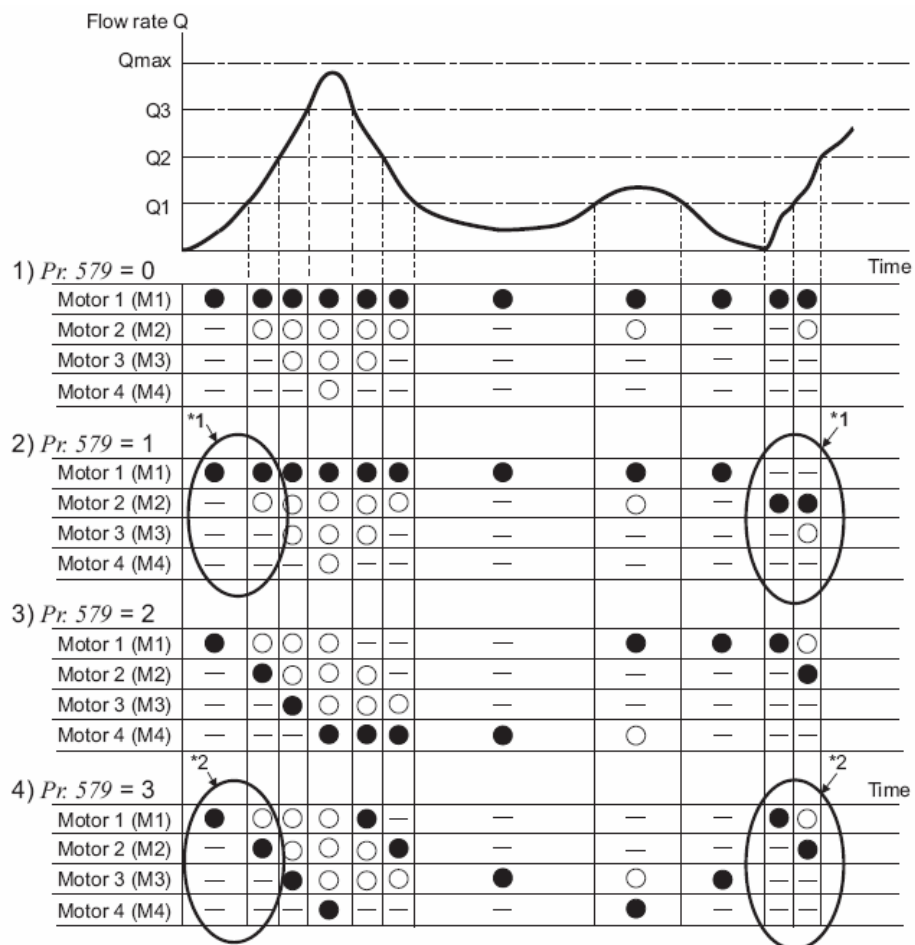
Tabla X. Ajuste del método de PID avanzado

Ajuste del Parámetro 579	Nombre	Descripción
0	Sistema básico	El motor que es controlado por el variador es fija en el funcionamiento, y se puede aumentar/disminuir el número de motores auxiliares encendiendo y apagando la señal MC entre la alimentación y el motor con la frecuencia de salida.
1	Sistema alternativo	Igualmente que con el sistema básico, el motor controlado el motor controlado por el variador se fija en el funcionamiento y se puede controlar el número de motores operados con energía comercial con la salida de frecuencia. Cuando el variador para con la función de interrupción (SLEEP), la señal MC entre el variador y el motor es cambiado para cambiar el motor operado con el variador.
2	Sistema directo	Cuando se da la señal de inicio, el motor es iniciado con el variador. Cuando se dan las condiciones de que el siguiente motor debe de ser arrancado, el cambio de MC's entre el motor con variador y el motor con alimentación comercial cambian, y el motor que comienza a trabajar es operado por el variador. Igualmente, cuando las condiciones de detener un motor son establecidas y varios motores están en funcionamiento, los motores paran en el orden de como fueron arrancados (en operación con la energía comercial).
3	Sistema alternativo-directo	Cuando se da la señal de inicio, el motor es iniciado con el variador. Cuando se dan las condiciones de que el siguiente motor debe de ser arrancado, el cambio de MC's entre el motor con variador y el motor con alimentación comercial cambian, y el motor que comienza a trabajar es operado por el variador. Por lo contrario, Cuando las condiciones de detener un motor son establecidas y varios motores están en funcionamiento, el motor operado con el variador es desacelerado hasta parar y los motores que están funcionando con energía comercial son cambiados con la operación con el variador hasta que se alcance la frecuencia que se busca. Ya que la frecuencia que se busca se desempeña cuando el motor está funcionando con energía comercial y es cambiado por operación con variador, se debe de ajustar un valor diferente a "9999" en el Pr. 57 <i>Tiempo de Sincronización</i> Cuando el parámetro es ajustado, la señal CS no necesita encenderse.

Figura 73. Comportamiento de los métodos de PID avanzado

- Operación con variador
- Operación con energía comercial

— Motor parado



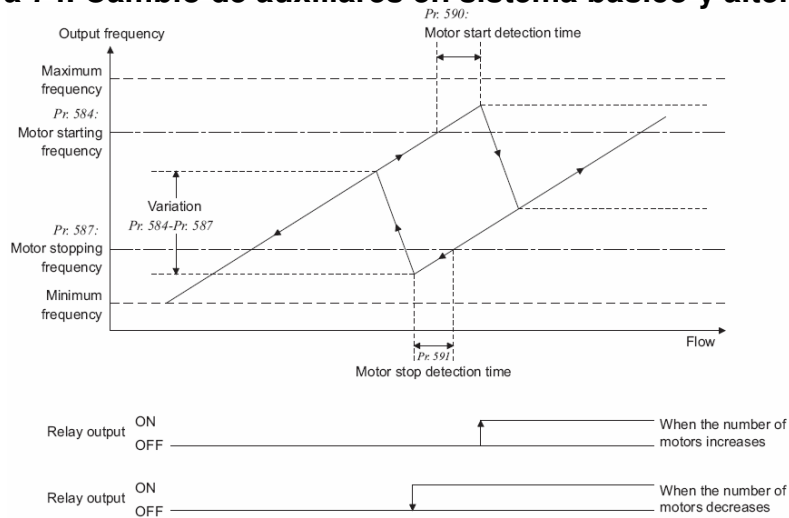
*1 El inicio de los motores es M2 → M3 → M1 si el orden anterior fue M1 → M2 → M3. (Pr. 579 = "1")

*2 El motor arranca en el orden en el cual a llevado más tiempo sin haber sido operado con el variador. El motor 1 (M1) se inicia cuando la potencia es encendida por primera vez o cuando es reseteado (Pr.. 579 = "3").

4.3.4 Cambio temporizado de motores auxiliares

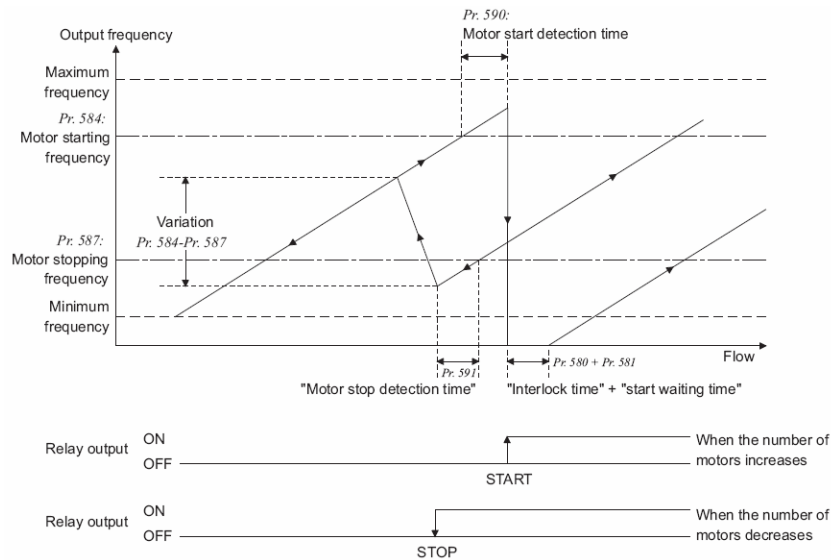
El cambio temporizado del encendido (apagado) de un motor auxiliar en el sistema básico (Pr. 579 = "0") y sistema alternativo (Pr. 579 = "1").

Figura 74. Cambio de auxiliares en sistema básico y alternativo



El cambio temporizado del encendido (apagado) de un motor auxiliar en el sistema directo (Pr. 579 = "2") y sistema alternativo-directo (Pr. 579 = "3").

Figura 75. Cambio de auxiliares en sistema directo y alternativo-directo



4.4 Parámetros para una comunicación RS-485

4.4.1 Comunicación RS-485

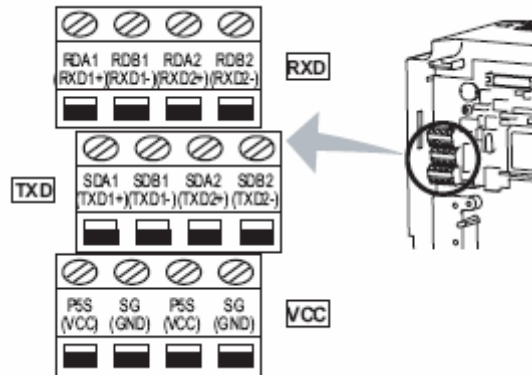
Está definido cómo un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbps hasta 10 metros y 100 Kbps en 1.200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1.200 metros operando entre 300 y 19200 bps y la comunicación half-duplex (semiduplex). Soporta 32 transmisiones y 32 receptores.

La transmisión diferencial permite múltiples *drivers* dando la posibilidad de una configuración multipunto. Al tratarse de un estándar bastante abierto permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilizaciones.

4.4.2 Conectores

El protocolo RS-485 no especifica ningún conector o salida de pines. Los circuitos usualmente tienen conexiones de tornillo, conectores miniatura u otro tipo de conectores.

Figura 76. Conectores RS-485 en variador de frecuencia

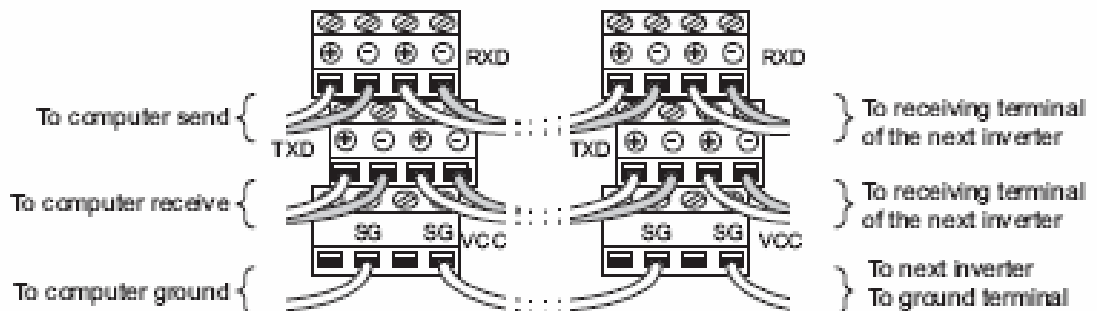


4.4.3 Identificación de pines

Las líneas del RS-485 consisten en 4 pines:

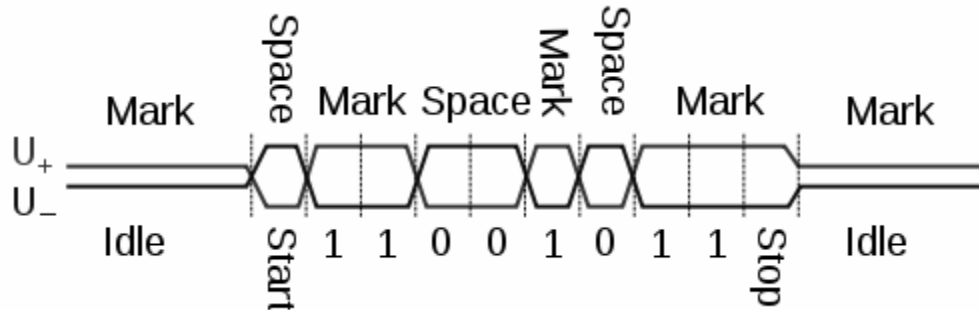
- La línea A (-) que se divide en TxD- / RxD- que son las líneas invertidas y
- La línea B (+) que se divide en TxD+ / RxD+ que son las líneas no invertidas

Figura 77. Cableado RS-485



La línea B es positiva (comparado a la línea A) cuando no existe comunicación. A estas cuatro líneas se agrega otra línea de tierra, el cual es la referencia.

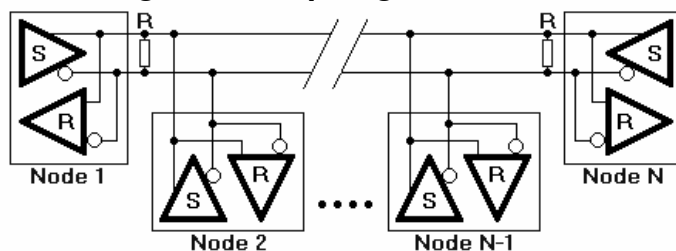
Figura 78. Trama de Comunicación RS-485



4.4.4 Topología del RS-485

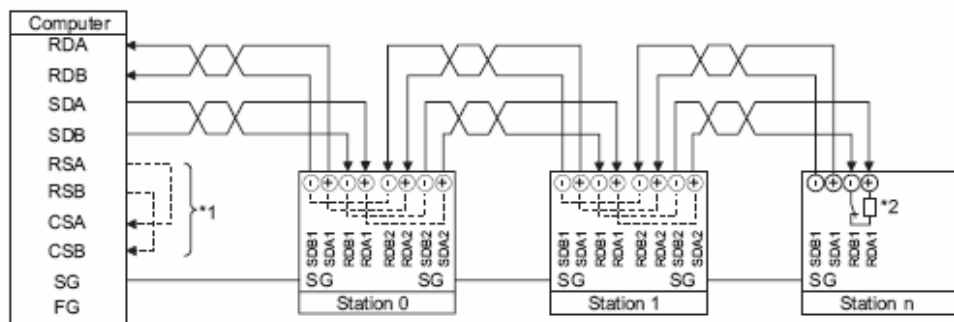
La Topología de este protocolo es la razón del porque es muy fácil de utilizar. El RS-485 es el único protocolo capaz de tener interconexión de múltiples transmisores y receptores en la misma red. Cuando se utiliza receptores RS-485 con una impedancia de entrada de $12k\Omega$, es posible de conectar hasta 32 dispositivos en la red. Los repetidores están disponibles, lo cual permite aumentar el número de nodos a varios miles, y que puede abarcar varios kilómetros. Y con un interfaz que no requiere un hardware inteligente, la aplicación de software en esta red no es difícil. Es la razón por la cual este protocolo es bastante popular en las computadoras, PLC's, controladores y sensores inteligentes en aplicaciones científicas y técnicas.

Figura 79. Topología RS-485



En la figura anterior se muestra la topología de la red con protocolo RS-485. N nodos son conectados en una red multipunto. Para velocidades más altas y líneas más largas, las resistencias terminales son necesarias en ambos lados. La red debe de ser diseñada cómo una sola con diferentes caídas, no cómo una estrella.

Figura 80. Conexión entre Estaciones con RS-485



4.4.5 Parámetros para una comunicación RS-485

Tabla XI. Ajuste de parámetros RS-485

Numero de parámetro	Nombre	Valor inicial	Rango de ajuste	Descripción	
331	RS-485 estación de comunicación	0	0 a 31	Especifica el numero de estación del variador. Ajuste de la estación del variador cuando dos o mas variadores son conectados en una red.	
332	Rs-485 velocidad de comunicación	192	48, 96, 192, 384	Ajuste de la velocidad de comunicación. El valor ajustado x 100 es igual a la velocidad de comunicación.	
333	RS- 485 selección longitud de bit de parada	1	0	Longitud de parada	Longitud de información
				1 bit	8 bit
				2 bit	7 bit
				1 bit	
11	2 bit				
334	RS- 485 selección de paridad	2	0	Sin comprobación de paridad	
			1	Paridad impar	
			2	Paridad par	
335	RS-485 número de intentos de comunicación	1	0 a 10	Ajuste del numero permisible de intentos de comunicación al recibir un error. Si el numero de errores consecutivos excede al valor permisible, el variador disparará una alarma.	
			9999	Si un error de comunicación ocurre, el variador no disparará una alarma.	
336	RS-485 chequeo de comunicación en un intervalo de tiempo	0 s	0	Comunicación RS-485 puede ser realizada.	
			0.1 a 999.8 s	Ajuste del intervalo de comprobación de comunicación.	
			9999	Sin comprobación de comunicación.	
337	RS-485 tiempo de espera de comunicación	9999	0 a 150 ms	Ajuste del tiempo de espera entre los datos	
			9999	Ajuste con datos de comunicación	
341	RS-485 selección de CR/LF	1	0	Sin CR/LF	
			1	Con CR	
			2	Con CR y LF	
549	Selección de protocolo	1	0	Protocolo variador Mitsubishi	
			1	Protocolo RS-485	

4.5 Funciones de protección y diagnóstico (variadores Mitsubishi)

Los variadores de frecuencia de las series FR-S 500, FR-E 500, FR-F 500 y FR-A 700 están equipados con muchas funciones para la protección tanto del variador mismo como también el accionamiento contra daños en caso de que se presente un fallo. En caso de un fallo grave se dispara la función de protección y se bloquea la salida del variador de frecuencia, el motor se detiene libremente sin frenar y en la unidad de mando se visualiza un código de error. Con ayuda del código de error y de las indicaciones para el diagnóstico de errores en las instrucciones del variador de frecuencia es posible determinar la causa del fallo con rapidez en la mayoría de los casos.

En relación a los avisos de error hay que observar las indicaciones que se detallan a continuación:

- Memorización de códigos de error

Después de que se haya presentado un fallo, los códigos de error pueden indicarse sólo cuando se mantiene conectada la tensión de alimentación del variador. Si por ejemplo se conecta la fuente de alimentación a través de un contactor que se desconecta en caso de que responda una función de protección, entonces se pierden también los avisos de error.

- Visualización de los avisos de error

Cuando se dispara una función de protección, en la unidad de mando se visualiza automáticamente el aviso de error correspondiente.

- Reset de funciones de seguridad

Cuando se dispara una función de protección del variador se bloquea la salida de potencia del mismo. El motor conectado ya no recibe tensión y se detiene libremente sin frenar. El variador puede iniciarse de nuevo sólo después de haber restaurado las funciones de protección por medio de un RESET.

En caso de un fallo primero hay que eliminar la causa del mismo y realizar después un reset del variador. Después de ello es posible proseguir con el funcionamiento.

Las indicaciones del variador de frecuencia en caso de un fallo pueden agruparse en cuatro clases:

- Avisos de error

Un aviso de error tiene que ver casi siempre con un error de manejo o de ajuste. La salida del variador **no** se desconecta.

- Advertencias

En caso de una advertencia tampoco se bloquea la salida del variador, por lo que el motor sigue en marcha. Sin embargo, si no se observa una advertencia y no se elimina la causa de la misma es posible que acabe produciéndose un fallo grave.

– Fallos leves

En caso de fallos leves **no** se desconecta la salida del variador.

– Fallos graves

En caso de fallos graves se activan las funciones de protección del variador. Entre ellas se cuenta el bloqueo de la salida y la desconexión del motor.

Delimitación de la causa del fallo

En caso de un fallo o de un funcionamiento no impecable, a partir del comportamiento del motor es posible deducir la causa del fallo.

4.5.1 Reinicialización del variador de frecuencia

Para poder proseguir con el funcionamiento es necesario reinicializar el variador de frecuencia después de haber eliminado la causa de un fallo. Mediante un RESET se borran la memoria de errores y también la memoria para el número de los intentos de reinicio, así como los valores determinados hasta el momento para la protección térmica electrónica del motor.

Dependiendo del tipo del mismo, para la reinicialización de un variador de frecuencia es posible elegir entre tres métodos:

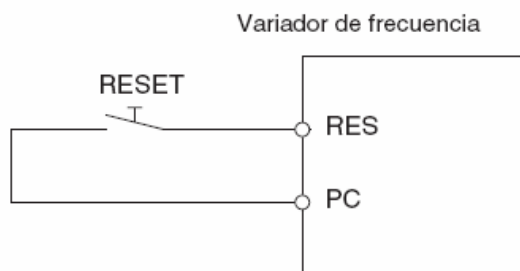
- Reset mediante una tecla en el panel de control o en una unidad de mando

Cuando se presenta un error grave o cuando se dispara una función de protección, el variador de frecuencia puede resetearse pulsando la tecla STOP/RESET.

- Reset desconectando y volviendo a conectar la fuente de alimentación del variador de frecuencia
- Reset mediante una señal de RESET externa

La reinicialización del variador de frecuencia tiene lugar mediante la conexión breve (pero cómo mínimo de 0,1 s) de los bornes RES y SD (lógica negativa) o mediante la conexión de los bornes RES y PC (lógica positiva). El borne RES no debe conectarse permanentemente con el borne SD o con el PC bajo ninguna circunstancia.

Figura 81. Reinicialización de variador



Ejemplo de la conexión del borne RES con lógica positiva. En lugar de un pulsador puede emplearse también por ejemplo un contactor controlado por un PLC.

5. APLICACIÓN REAL EN LA INDUSTRIA CON UN VARIADOR DE FRECUENCIA MITSUBISHI

5.1 Ambiente de la aplicación

La aplicación se realizó en una empresa Textilera, el cual tienen un fuerte consumo energético, son 6 motores de 60 HP (45kw) en sus máquinas retorcedoras de hilo. Actualmente estas máquinas trabajan en arranque estrella delta (Y- Δ).

Se a observado que los motores están sobredimensionados, ya que el consumo de la corriente que se a medido con la carga completa “no” es la que indica la placa del motor, la empresa esta totalmente abierta a realizar cualquier ajuste mecánico, en este caso para no afectar la velocidad de producción de la máquina, se a considerado cambiar la polea que mueve el motor, así se le bajara la velocidad gracias al variador de frecuencia, y se obtendrá una lectura de la energía consumida.

Se va a realizar la lectura tanto en el arranque del motor, cómo el trabajo constante en los dos sistemás, y se a tomado el cuidado que la carga del motor es la misma cuando se hace la medición en los dos sistemás.

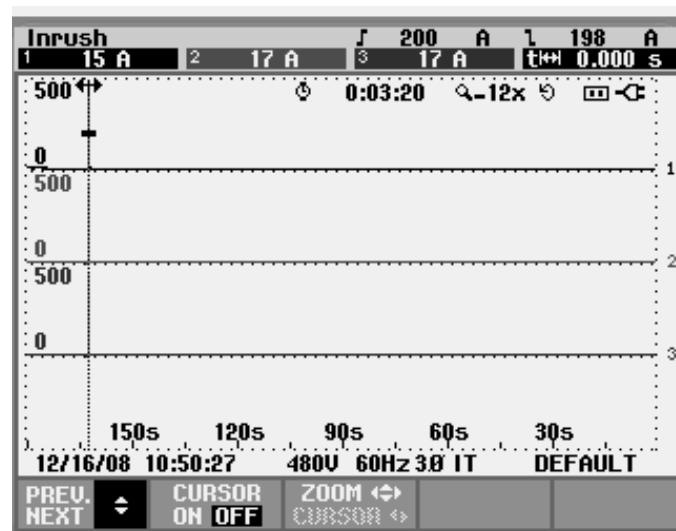
5.2 Beneficios del cambio del sistema

En este estudio vamos a poder apreciar la diferencia de los dos sistemás de control del motor de la máquina, nos referiremos al sistema actual al proceso de

arranque estrella – delta (Y- Δ). y el sistema nuevo al control con variador de Frecuencia.

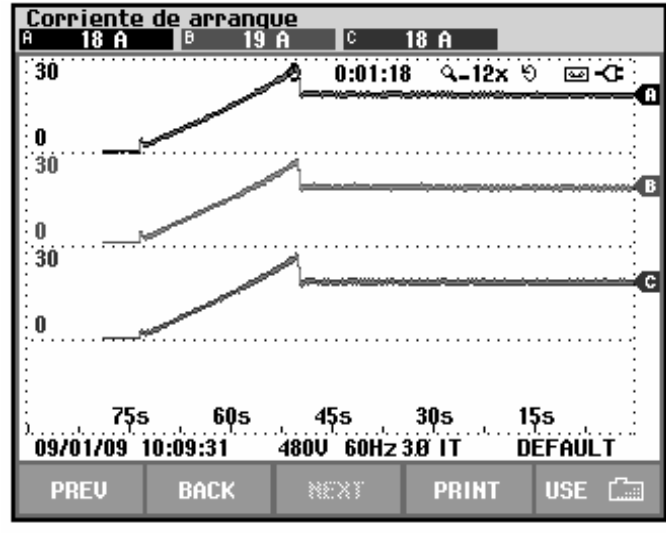
Para empezar, tenemos las comparaciones de arranque de los dos sistemás.

Figura 82. Arranque con sistema actual (estrella-delta)



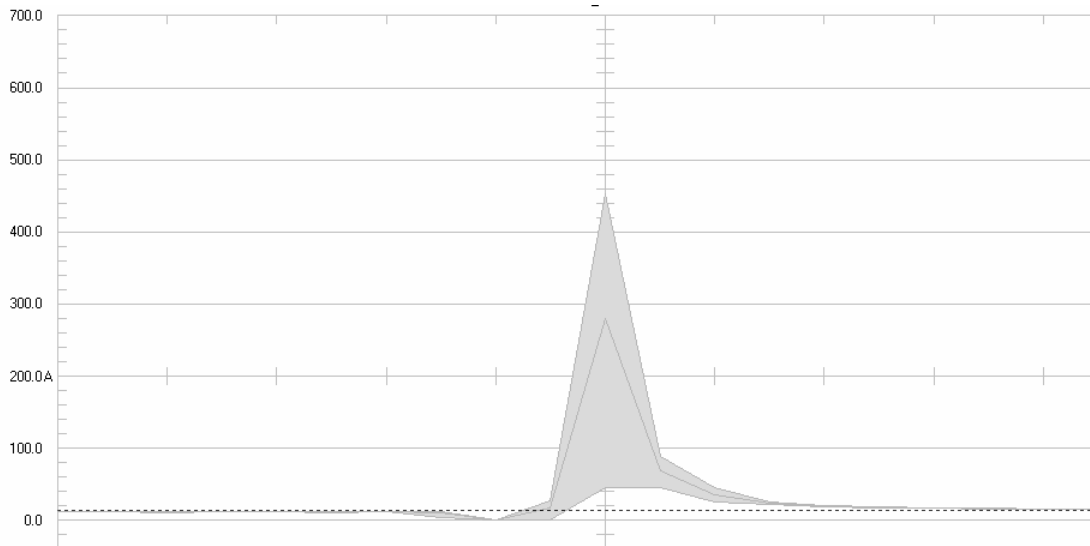
Podemos apreciar un pico bastante alto en el arranque con el arranque estrella – delta (Y- Δ), tan alto que no se logra apreciar bien la grafica de corriente en el tiempo, se analizara este espectro más adelante, y vemos el arranque con el sistema nuevo, el variador forma una pendiente de corriente para llegar a la corriente de consumo del motor.

Figura 83. Arranque con sistema nuevo (variador de frecuencia)



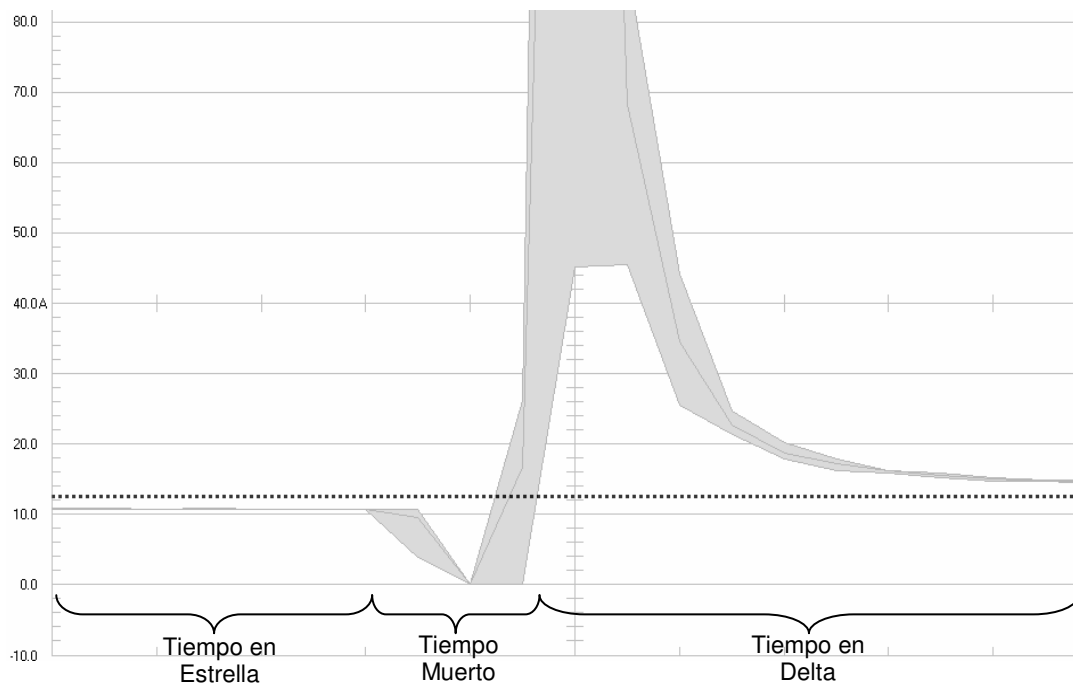
A continuación vamos a visualizar más de cerca la gráfica con el sistema actual.

Figura 84. Arranque con sistema actual detallado



Podemos apreciar un pico de corriente al cambio de contactores estrella – delta, este es de **453.8 A**, y este se produce actualmente cada vez que se apaga y enciende la máquina, para ver más de cerca el comportamiento de la corriente con el arranque de contactores, vemos la siguiente gráfica.

Figura 85. Tiempos de arranque con sistema actual



Vemos claramente el arranque en estrella, luego un tiempo muerto, y al conectarse la conexión en delta. Se aprecia claramente el pico de corriente. Este pico de corriente que dura poco tiempo (350 mseg), afecta al motor con el sistema actual, acortando así su tiempo de vida, y cómo pudimos apreciar con el sistema nuevo, el variador realiza una pendiente de corriente hasta llegar a la corriente requerida.

5.3 Ahorro en el cambio del sistema

Ahora, vamos a comparar el consumo (kWh) del motor, siempre recordando que esto se logro hacer con un ajuste mecánico. Esta medición se efectuó de 10 minutos, ya que consideramos que el comportamiento es igual en todo un día en trabajo constante.

Figura 86. Consumo con sistema actual (estrella-delta)

The screenshot shows a digital display for 'Power & Energy' with a timer set to 0:10:00. The data is organized into two main sections: instantaneous power and energy consumption over the 10-minute period.

FUND	L1	L2	L3	Total
kW				12.7
kVA				14.7
kVAR				7.5
PF				0.86
DPF				0.86
<hr/>				
kWh				2.107
kVAh				2.442
kVAh				1.224
<hr/>				
START	01/08/09 15:46:10			0:09:59
CLOSE ENERGY				

Figura 87. Consumo con sistema nuevo (variador de frecuencia)

The screenshot shows a digital display for 'Power & Energy' with a timer set to 0:10:00. The data is organized into two main sections: instantaneous power and energy consumption over the 10-minute period.

FUND	L1	L2	L3	Total
kW				9.3
kVA				9.3
kVAR				0.1
PF				0.63
DPF				1.00
<hr/>				
kWh				1.562
kVAh				1.566
kVAh				0.020
<hr/>				
START	01/09/09 10:21:07			0:09:59
CLOSE ENERGY				

Tabla XII. Lectura adquirida con medidor

08 – Sep - 09	Fecha de Medición Realizada	09 – 01 – 09
10 minutos constante	Duración	10 minutos constantes
2.107	Consumo kWh (en 10 Minutos)	1.562

Con estos datos, podemos hacer la proyección del consumo con el sistema actual y el consumo con el sistema nuevo. Así se podrá apreciar el ahorro mensual al cambiar de sistema de control del motor.

Tabla XIII. Cálculos de ahorro energético

2.107	Consumo kWh (en 10 Minutos)	1.562
12.642	Consumo kWh (1 hora)	9.372
303.41	Consumo kWh (1 Día = 24)	224.93
7,889.66	Consumo kWh (26 Días = 1)	5,848.18
94,675.92	Consumo kWh (12 meses = 1)	70,178.16

Con esto, podemos obtener el ahorro diario al cambiar de sistema, este ahorro sería de:

$$\begin{aligned} \text{Sistema Actual} - \text{Sistema Nuevo} &= \text{Ahorro} \\ 303.41 \text{ kWh} - 224.93 \text{ kWh} &= 78.48 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Con un ahorro mensual de:

$$\begin{aligned} \text{Sistema Actual} - \text{Sistema Nuevo} &= \text{Ahorro} \\ 7,889.66 \text{ kWh} - 5,848.18 \text{ kWh} &= 2,041.48 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Y esto nos llevaría a un ahorro anual de:

$$\begin{aligned} \text{Sistema Actual} - \text{Sistema Nuevo} &= \text{Ahorro} \\ 94,675.92 \text{ kWh} - 70,178.16 \text{ kWh} &= \mathbf{24,497.76 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Tenemos un costo de kWh a Q. 1.45, con esto podemos obtener el ahorro diario, mensual y anual.

- AHORRO DIARIO (Q) **113.80**
- AHORRO MENSUAL (Q) **2,960.15**
- AHORRO ANUAL (Q) **35,521.75**

5.4 Inversión de la aplicación y tasa de retorno

Cómo un complemento del estudio, se adjunta el precio de la inversión y lo que incluye:

Variador de frecuencia para la máquina retorcedora

Este precio incluye:

- Variador de Frecuencia adecuado a la aplicación
- Instalación del variador en el Gabinete de la máquina
- Programación y puesta en marcha.

Precio: Q. 36,500.00

Se debe de tomar en cuenta que el tiempo de vida útil de los variadores de Frecuencia Mitsubishi es de 10 años.

Tomando en cuenta que el variador se paga en 1.02 años, lo podemos redondear a 1 año, podemos ver que existe un ahorro de 9 años en energía eléctrica, esto quiere decir:

Ahorro en 1 motor: Q. 328,500.00

Cómo mencionamos anteriormente, son 6 máquinas, entonces podemos deducir que el ahorro instalando un variador de frecuencia en cada máquina, haciendo la misma inversión en cada máquina, podemos obtener lo siguiente:

Precio de inversión en las 6 máquinas: Q. 219,000.00

Retorno de Inversión: 1 Año

Ahorro en 9 años: Q. 1'971,000.00

CONCLUSIONES

1. Se puede plantear que la aplicación de los variadores de velocidad en el control de motores eléctricos, cómo en sistemas de bombeo y ventilación (entre otros), a pesar de su inversión inicial (que se amortiza en un breve tiempo a partir de ahorro que introduce), logra una mayor eficiencia y racionalidad en la operación del sistema, debido a los niveles de ahorro de energía eléctrica que se obtienen.
2. También se puede observar que con la instalación de variadores de frecuencia, podemos observar que evitamos los picos de corriente bastante fuertes a los motores, esto quiere decir que aumentamos la vida útil de estos y los tiempos entre mantenimientos se alargan.
3. Tenemos también que resaltar que el ahorro energético se podrá hacer si los motores están sobredimensionados, si el motor trabaja mucho tiempo en vacío (cómo en compresores), entre otros. El variador generara el ahorro energético si se le baja la velocidad al motor.
4. Las ventajas que daría el variador de frecuencia en caso no se pueda bajar la velocidad al motor, seria la protección al motor, cambio de velocidad en funcionamiento (para evitar cambios mecánicos), auto-diagnostico (en el motor o efectos externos), arranque y paro controlado.

RECOMENDACIONES

Es aconsejable que antes de la instalación de un variador de frecuencia, debamos de considerar el ambiente en donde va a trabajar, y por medio de esta evaluación, podremos adecuar el gabinete para que el variador de frecuencia no trabaje sin ningún problema.

(1) Temperatura

La temperatura en la cual el variador puede trabajar sin ningún problema es en el rango de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. La operación fuera de este rango disminuirá el tiempo de vida de los semiconductores, capacitores y otros. Para evitar esto, podemos tomar las siguientes medidas.

1. Medidas contra las Altas Temperaturas.
 - Ventilación forzada o sistema de enfriamiento.
 - Bloquear el contacto directo del sol.
 - Ventilar el área alrededor del ambiente.
 - Proveer de una protección para evitar el calor radiado o superficies calientes.

2. Medidas contra la baja temperatura.
 - Usar calentador dentro del panel.
 - No apagar el variador (mantener la señal de arranque apagado).

3. Bruscos cambios de temperatura.
 - Escoger un lugar el cual los cambios de temperatura sean mucho menores.
 - Evitar la instalación cerca del aire acondicionado o la salida de aire.

(2) Humedad

El variador puede trabajar normalmente en un rango entre el 45 y 90% de humedad. Una humedad muy alta producirá problemas de aislamiento y corrosión de metal. Por otro lado, muy poca humedad puede causar arcos eléctricos. Las medidas según el caso serán las siguientes:

1. Contra la alta humedad.
 - Hacer hermético el gabinete y proveer de un agente higroscópico (dispositivos que atraen el agua del ambiente).
 - Extraer aire seco del exterior.
 - Un calentador al gabinete.
2. Contra la baja humedad
En este caso es sumamente importante que antes de manipular el equipo, se debe estar seguro de estar descargado (electricidad estática), a pesar de que el gabinete este ambientado correctamente, ya que el personal que lo manipula viene del ambiente externo, y en el ambiente externo es sumamente fácil adquirir carga electroestática.
3. Medidas contra condensación
Esto pasa cuando existe un cambio brusco de temperatura entre el gabinete y el ambiente externo.
 - Tomar medidas contra la alta humedad

- No apagar el variador (mantener la señal de arranque apagado).

(3) Polvo, suciedad, niebla de aceite

Esto puede causar malos contactos, reducción de aislamiento o reducción de enfriamiento debido a la absorción de polvo y suciedad acumulada, con esto sube la temperatura del ambiente del variador por filtros obstruidos.

En la atmósfera el cual flota polvo conductivo, polvo y suciedad, causará fallas y desperfectos, deteriora el aislamiento y causa cortos circuitos. La niebla de aceite causa condiciones similares.

Para lo anterior mencionado, debemos de tomar las medidas necesarias.

- El lugar donde se encuentra instalado el variador tiene que ser hermético.
- Purgar el aire. Bombear aire limpio de afuera hacia adentro en el área hermético.

(4) Gas corrosivo, daño salino

Si el variador es expuesto a gas corrosivo o sal cerca de la playa, los patrones impresos y partes se corroen o los relés y switches resultan con pobre contacto. Si esto sucede, tomarse las mismas acciones que en la sección (3).

(5) Áreas explosivas, gases inflamables

Ya que el variador no es un dispositivo a prueba de explosiones, debemos de acondicionar el ambiente del variador. En lugares donde la explosión puede ser causada por gas explosivo, suciedad o polvo, hermetizar el área es aceptable siempre y cuando pase las pruebas necesarias.

(6) Lugares con grandes altitudes

El variador debe de usarse en una altitud dentro de 1000 mts. Si es usado en lugares mayores a esta altitud, el aire delgado reduce la autoventilación y la presión baja de aire deteriora la fuerza dieléctrica.

(7) Impactos, vibración

La resistencia de vibración del variador está dentro de 5.9 m/s^2 de 10 a 55 Hz.

Impactos o vibración aplicados por un largo tiempo puede causar desajustes mecánicos o mal contacto entre conexiones.

Las medidas deberían de ser:

- Proveer a la instalación del variador ajustes elásticos.
- Endurecer la estructura para prevenir la resonancia.
- Instalar el variador en un lugar fuera de las vibraciones.

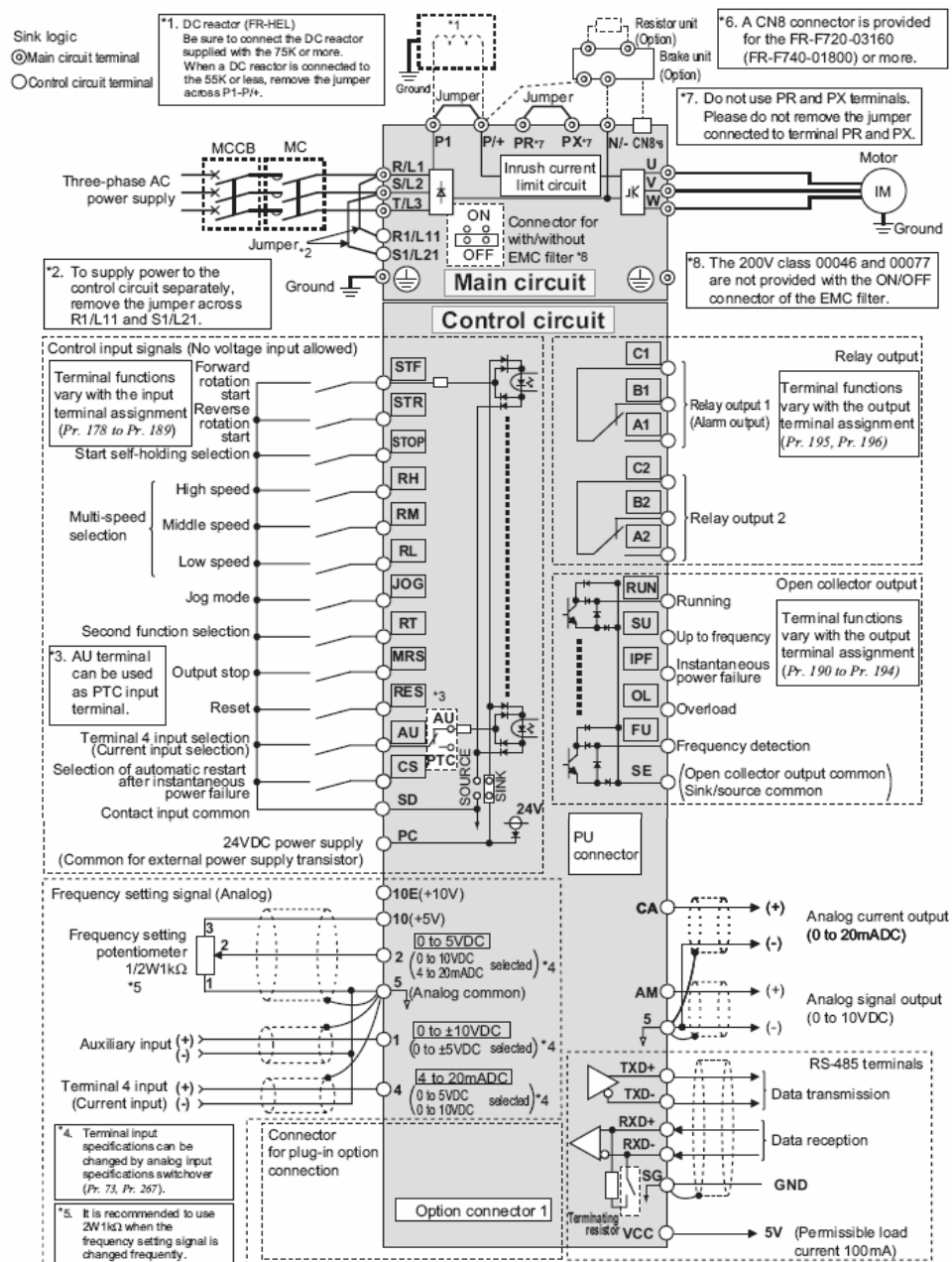
BIBLIOGRAFÍA

1. Variador FR-A700 Manual de Instrucciones IB(NA)-0600255ENG-C
2. Variador FR-F700 Manual de Instrucciones IB(NA)-0600217ENG-B
3. Variadores de Frecuencia, Manual Introductoria No. de Artículo 203605
4. www.siemens.com/energysaving, noviembre 2008.
5. www.mitsubishi-automation.es, diciembre 2008.

APÉNDICES

APÉNDICE1. Diagrama de conexiones del variador F700

Figura 88. Diagrama de conexiones del variador F700

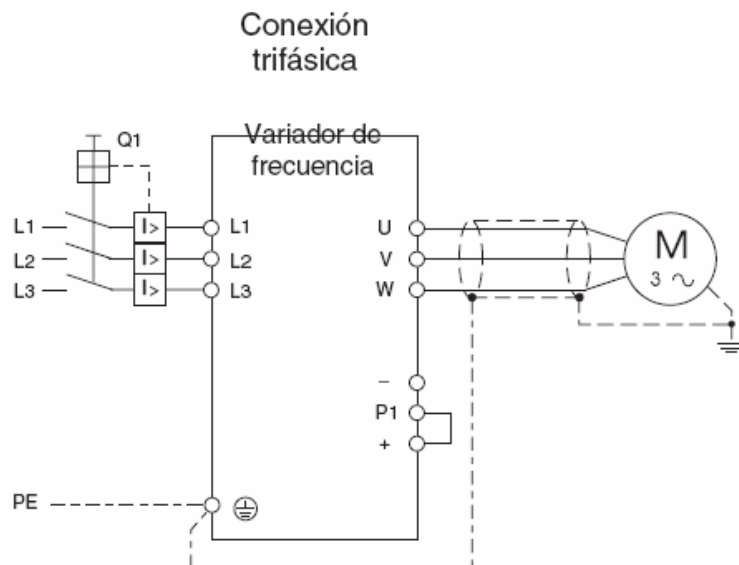


APÉNDICE 2. Conexión del circuito de potencia

La tensión de red de la entrada se conecta monofásica a los bornes L1 y N o trifásica a los bornes L1, L2 y L3. El motor se conecta en los bornes U, V y W. Adicionalmente, el variador de frecuencia tiene que ser puesto a tierra por medio del conductor protector.


La figura siguiente muestra esquemáticamente la conexión de entrada y de salida de un variador de frecuencia.

Figura 89. Circuito de potencia de un variador e frecuencia



La tabla siguiente ofrece una sinopsis de las conexiones de las unidades de alimentación de los diferentes variadores:

Tabla XIV. Conexiones de las unidades de alimentación

Bornes	Significado	Descripción
L1, N	Conexión de tensión de red (monofásica)	Fuente de alimentación del variador de frecuencia
L1, L2, L3	Conexión de tensión de red (trifásica)	
U, V, W	Conexión del motor	Salida de tensión del variador de frecuencia (3 ~ 0 V hasta tensión de conexión 0,5 hasta 120 Hz / 400 Hz)
L11, L21	Conexión de la tensión de control	Sólo con FR-A 700 y FR-F700
+ , - P/+ , N/-	Conexión para unidad de frenado externa	A estos bornes es posible conectar una unidad de frenado externa.
+ , P1 P/+ , P1		
PR, PX	Sólo con FR-A 700 y FR-F700. Estos bornes no se deben emplear y no se debe retirar el puente	
	PE	Conexión de conductor protector del variador de frecuencia

APÉNDICE 3. Señales de control del variador Mitsubishi

Además de las conexiones de la unidad de alimentación para la tensión de la red y del motor, un variador de frecuencia está equipado además de otras conexiones a través de las cuales puede ser controlado. En la siguiente tabla se aducen las conexiones de señales de control más importantes.

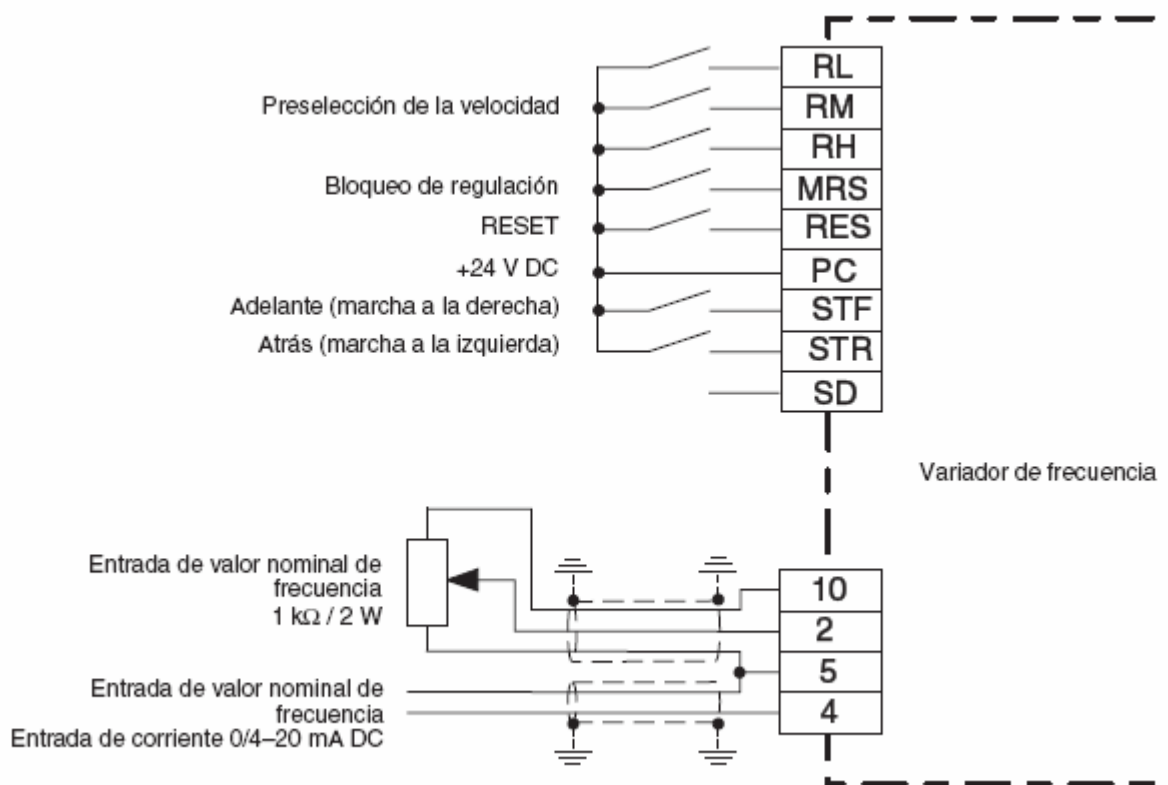
Tabla XV. Señales de control del variador

Señal	Borne	Denominación	Descripción	
Entradas de señal	Conexiones de control	STF	Señal de inicio para la marcha a la derecha El motor gira hacia la derecha cuando hay una señal en el borne STF.	
		STR	Señal de inicio para marcha a la izquierda El motor gira hacia la izquierda cuando hay una señal en el borne STR.	
		RH, RM, RL	Preselección de la velocidad Preselección de hasta 15 frecuencias de salida diferentes	
		MRS	Bloqueo de regulación Cuando esta entrada de control se conecta durante más de 20 ms se desconecta la salida del variador de frecuencia.	
		RES	Entrada de RESET Después de que haya respondido una función de protección es posible resetear el variador mediante la conexión de esta entrada, borrando así el aviso de alarma. (La entrada RES tiene que estar conectada como mínimo durante 0,1 seg.).	
	P. de referencia	SD ^①	Punto de referencia conjunto para entradas de señales en lógica negativa	
		PC ^①	Salida de 24 V DC y punto de referencia común para entradas de control en lógica positiva	
Analógica	Determinación de valor nominal	10	Salida de tensión para potenciómetro de valor nominal Tensión de salida de 5 V DC. La corriente de salida máx. es de 10 mA. Potenciómetro recomendado: 1 k Ω , 2 W lineal, (potenciómetro de velocidades múltiples)	
		2	Entrada para señal de valor nominal de frecuencia (0 a 5 o bien 10 V DC) En este borne se aplica una señal de valor nominal de 0 a 5 o bien 10 V. El rango de tensión está preajustado a 0–5 V. La resistencia de entrada es de 10 k Ω ; la tensión máxima permitida 20 V.	
		5	Punto de referencia para la señal de valor nominal de frecuencia El borne 5 es el punto de referencia para los valores analógicos conectados a los bornes 2 y 4. El borne 5 está aislado y por razones de resistencia a interferencias no debe ser puesto a tierra.	
		4	Entrada para señal de valor nominal de frecuencia (4 a 20 mA DC) Si se va a emplear una corriente (0 o bien 4 hasta 20 mA DC) como señal de valor nominal, la conexión se lleva a cabo en este borne. La resistencia de entrada es de 250 Ω , la corriente máxima permitida es de 30 mA. La entrada está configurada de fábrica para 0 Hz con 4 mA y 50 Hz con 20 mA. Por favor observe que para la activación tiene que estar conectada al mismo tiempo la entrada de control AU.	

¹ No se deben conectar entre sí los bornes PC y SD. El borne PC sirve de punto de referencia común para las entradas de control en lógica positiva de conexión (ajuste de fábrica), y en lógica negativa de conexión el borne SD.

La siguiente figura muestra la conexión de señales de control con lógica positiva (ajuste de fábrica). Las entradas se unen con 24 V DC.

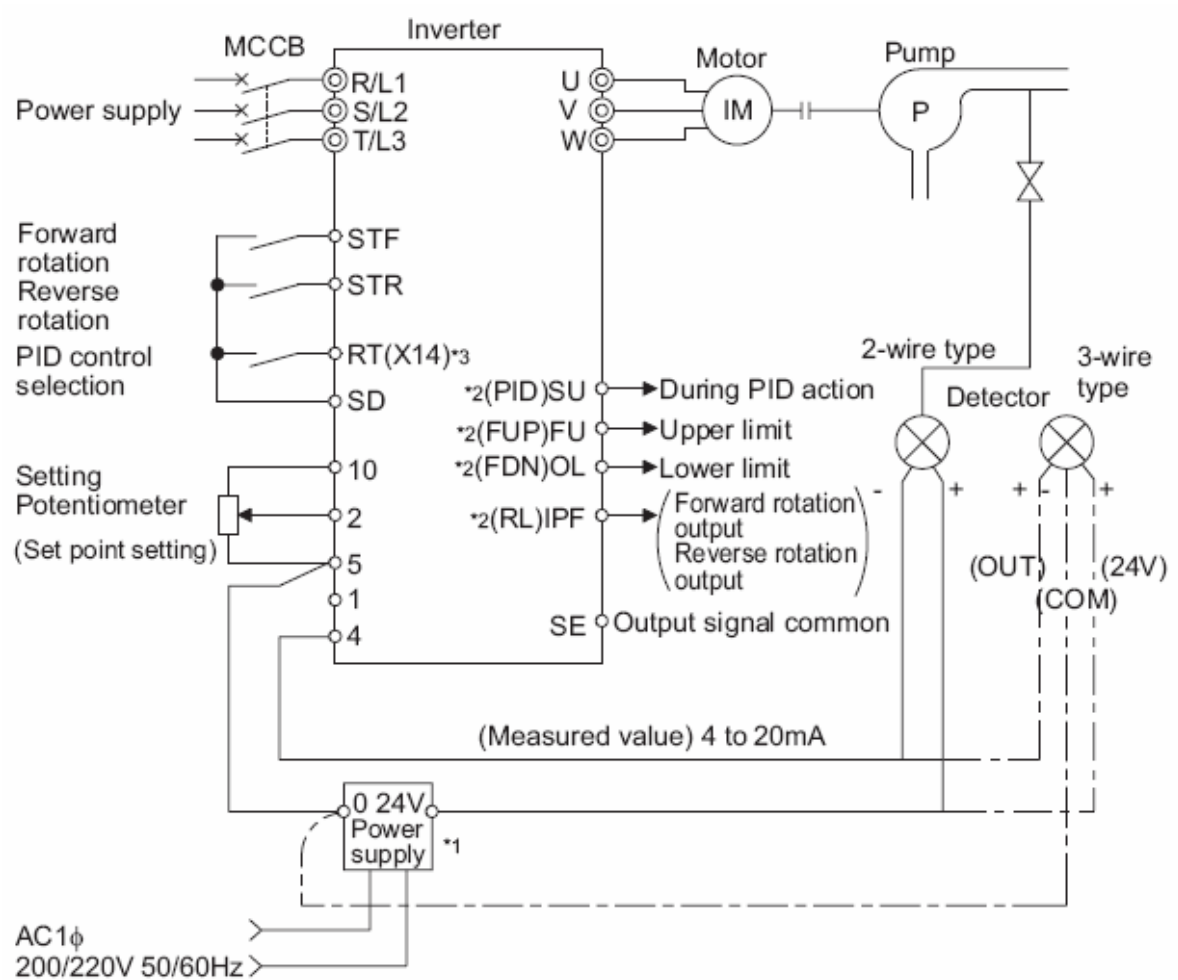
Figura 90. Señales de control del variador de frecuencia



En las instrucciones de empleo de cada uno de los variadores de frecuencia podrá encontrar ejemplos de conexión para la excitación de las entradas del variador de frecuencia por medio de salidas PLC o con lógica negativa.

APÉNDICE 4. Diagrama de conexión del PID

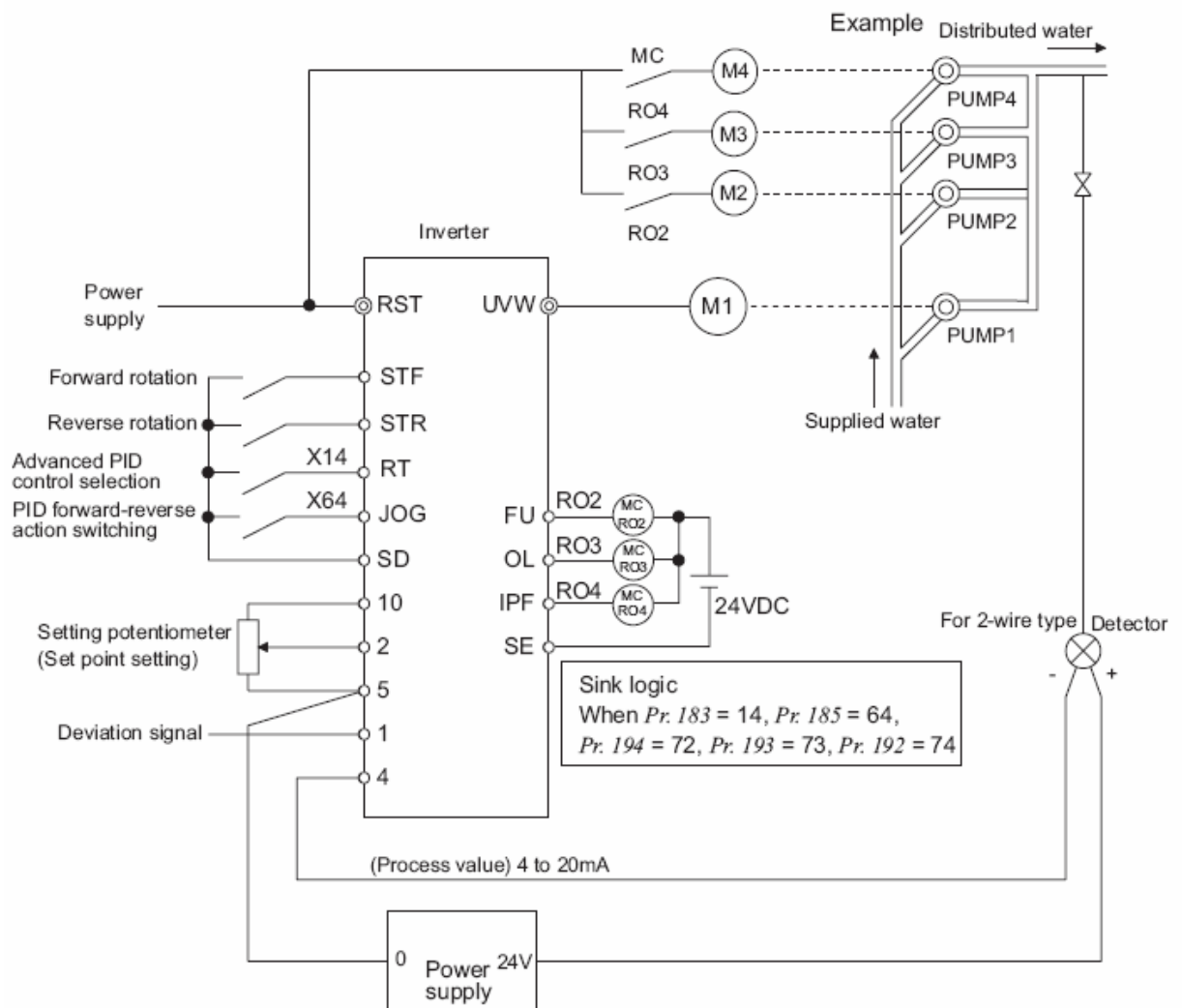
Figura 91. Diagrama de conexión PID



APÉNDICE 5. Diagramas de conexiones de PID avanzado

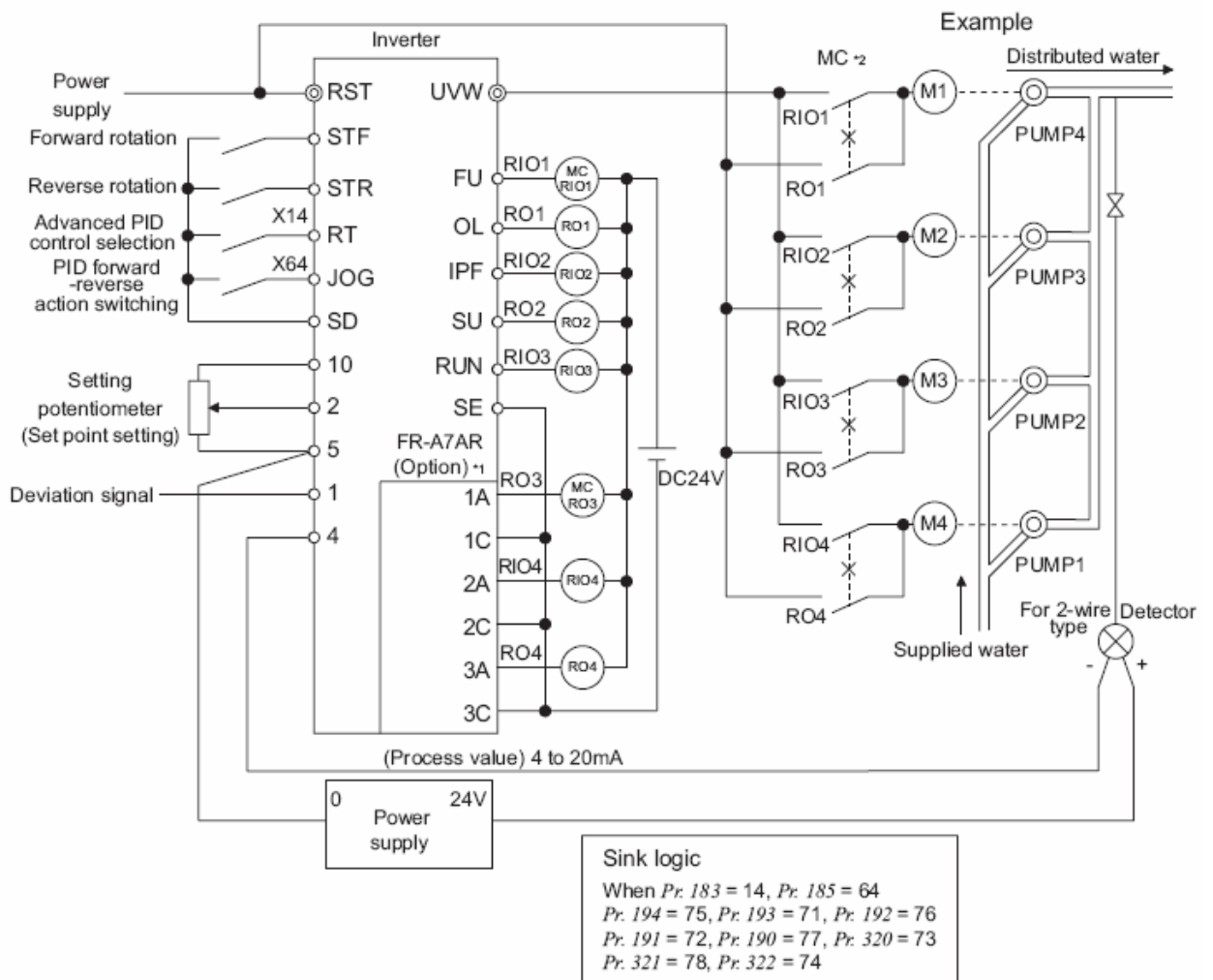
Sistema Básico (Pr. 579="0")

Figura 92. Diagrama de conexión PID avanzado sistema básico



Sistema alternativo (Pr. 579 = "1"), sistema directo (Pr. 579 ="2"), sistema alternativo- directo (Pr. 579 = "3")

Figura 93. Diagrama de conexión PID avanzado en sistema alternativo, directo y alternativo-directo



* Siempre se deben de usar interruptores mecánicos para las señales MC

APÉNDICE 6. Listado de parámetros de la serie F700 de Mitsubishi

Esta sección contiene una sinopsis de todos los parámetros de la series F700 del variador de frecuencia. Una descripción detallada de todos los parámetros podrá encontrarla en los manuales de instrucciones de cada uno de los variadores

Tabla XVI. Parámetros de la serie F700 de Mitsubishi

Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica	Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
0	Elevación del par de giro	0 hasta 30 %	6/4/3/ 2/1,5/1 % ①	31	Salto de frecuencia 1A	0-400 Hz/9999	9999
1	Frecuencia máxima de salida	0-120 Hz	120/60 Hz ①	32	Salto de frecuencia 1B	0-400 Hz/9999	9999
2	Frecuencia mínima de salida	0-120 Hz	0 Hz	33	Salto de frecuencia 2A	0-400 Hz/9999	9999
3	Curva característica V/F (frecuencia básica)	0-400 Hz	50 Hz	34	Salto de frecuencia 2B	0-400 Hz/9999	9999
4	1. Preselección de revoluciones/velocidad - RH	0-400 Hz	50 Hz	35	Salto de frecuencia 3A	0-400 Hz/9999	9999
5	2. Preselección de revoluciones/velocidad - RM	0-400 Hz	30 Hz	36	Salto de frecuencia 3B	0-400 Hz/9999	9999
6	3. Preselección de revoluciones/velocidad - RL	0-400 Hz	10 Hz	37	Indicación de velocidad	0/1-9998	0
7	Tiempo de aceleración	0-3600/360 s	5 s/15 s ①	41	Comparación valor nominal / real (salida SU)	0-100 %	10 %
8	Tiempo de frenado	0-3600/360 s	10 s/30 s ①	42	Supervisión de frecuencia de salida (salida FU)	0-400 Hz	6 Hz
9	Ajuste de corriente para la protección electrónica del motor	0-500/ 0-3600 A ①	Corriente nominal	43	Supervisión de frecuencia con marcha a la izquierda	0-400 Hz/9999	9999
10	Frenado DC (frecuencia de inicio)	0-120 Hz/9999	3 Hz	44	2. Tiempo de aceleración / de frenado	0-3600/360 s	5 s
11	Frenado DC (tiempo)	0-10s/8888	0,5 s	45	2. Tiempo de frenado	0-3600/360 s/ 9999	9999
12	Frenado DC (tensión)	0-30 %	4/2/1 % ①	46	2. Elevación manual del par de giro	0-30 %/9999	9999
13	Frecuencia de inicio	0-60 Hz	0,5 Hz	47	2. Curva V/F	0-400 Hz/9999	9999
14	Selección de la curva de carga	0/1	1	48	2. Límite de corriente	0-120 %	110 %
15	Frecuencia de funcionamiento discontinuo	0-400 Hz	5 Hz	49	Rango de trabajo del 2º límite de corriente	0-400 Hz/9999	0 Hz
16	Tiempo de aceleración y de frenado en funcionamiento paso a paso	0-3600/360 s	0,5 s	50	2. Supervisión de frecuencia	0-400 Hz	30 Hz
17	Selección de función MRS	0/2	0	51	2. Ajuste de corriente para la protección electrónica del motor	0-500 A, 9999/ 0-3600 A, 9999 ①	9999
18	Límite de frecuencia de alta velocidad	120-400 Hz	120/60 Hz ①	52	Indicación de la unidad de mando	0/5/6/8-14/17/20/ 23-25/50-57/100	0
19	Tensión máxima de salida	0-1000 V/ 8888 ②/9999 ③	8888	54	Salida borne CA	1-3/5/6/8-14/17/ 21/24/50/52/53	1
20	Frecuencia de referencia para tiempo de aceleración / de frenado	1-400 Hz	50 Hz	55	Magnitud de referencia para indicación externa de frecuencia	0-400 Hz	50 Hz
21	Anchura de paso para aceleración/deceleración	0/1	0	56	Magnitud de referencia para indicación externa de corriente	0-500 A/ 0-3600 A ①	Corriente nominal
22	Limitación de corriente (limitación de par de giro)	0-120 %/9999	110 %	57	Tiempo de sincronización después de corte del suministro eléctrico	0, 0,1-5 s, 9999/ 0, 0,1-30 s, 9999 ①	9999
23	Limitación de corriente con frecuencia aumentada	0-150 %/9999	9999	58	Tiempo búfer hasta sincronización automática	0-60 s	1 s
24-27	4. hasta 7 preselección de revoluciones / velocidad	0-400 Hz/9999	9999	59	Selección del potenciómetro digital del motor	0/1/2/3	0
28	Superposición de las frecuencias fijas	0/1	0	60	Selección de la función de ahorro de energía	0/4/9	0
29	Línea de aceleración /de frenado	0-3	0	65	Selección de la función de protección para el reinicio automático	0-5	0
30	Selección de un circuito de frenado generativo	0/2 0/1/2	0	66	Frecuencia de inicio para límite de corriente con frecuencia aumentada	0-400 Hz	50 Hz

Listado de parámetros en la serie F700 de Mitsubishi (continuación)

Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica	Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
67	Número de intentos de reinicio	0-10/101-110	0	122	Intervalo de tiempo de la comunicación de datos (interface PU)	0/0,1-999,8 s/9999	9999
68	Tiempo búfer para reinicio automático	0-10 s	1 s	123	Número de espera respuesta (interface PU)	0-150 ms/9999	9999
69	Registro de los reinicios automáticos	0	0	124	Comprobación CR/LR (interface PU)	0/1/2	1
70	Ciclo de frenado generativo	0-10 %	0 %	125	Amplificación para determinación del valor nominal en borne 2 (frecuencia)	0-400 Hz	50 Hz
71	Selección de motor	0/1/2/20	0	126	Amplificación para determinación del valor nominal en borne 4 (frecuencia)	0-400 Hz	50 Hz
72	Función PWM	0-15/0-6/25 ^①	2	127	Frecuencia automática de conmutación del regulador PID	0-400 Hz/9999	9999
73	Determinación de los datos de entrada de valor nominal	0-7/10-17	1	128	Selección de la dirección de actuación de la regulación PID	10/11/20/21/50/51/60/61	10
74	Filtro de señales de valor nominal	0-8	1	129	Valor proporcional PID	0,1-1000%/9999	100 %
75	Condición de reset/Error de conexión/Parada	0-3/14-17/100-103/114-117	14	130	Tiempo de integración PID	0,1-3600 s/9999	1 s
76	Salida codificada de alarma	0/1/2	0	131	Valor límite superior para el valor real	0-100%/9999	9999
77	Protección de escritura para parámetros	0/1/2	0	132	Valor inferior superior para el valor real	0-100%/9999	9999
78	Prohibición de inversión	0/1/2	0	133	Determinación del valor nominal mediante parámetro	0-100%/9999	9999
79	Selección de modos de funcionamiento	0/1/2/3/4/6/7	0	134	Tiempo de diferenciación PID	0,01-10,00 s/9999	9999
80	Potencia nominal del motor para regulación vectorial de corriente	0,4-55 kW, 9999/0-3600 kW, 9999 ^①	9999	135	Cambio del motor a funcionamiento de red	0/1	0
90	Constante del motor (R1)	0-50 Ω, 9999/0-400 mΩ, 9999 ^①	9999	136	Tiempo de bloqueo para contactores magnéticos	0-100 s	1 s
100	Frecuencia V/F1	0-400 Hz/9999	9999	137	Retardo de arranque	0-100 s	0,5 s
101	Tensión V/F1	0-1000 V	0 V	138	Excitación de contactor con error de variador de frecuencia	0/1	0
102	Frecuencia V/F2	0-400 Hz/9999	9999	139	Frecuencia de entrega	0-60 Hz/9999	9999
103	Tensión V/F2	0-1000 V	0 V	140	Umbral de frecuencia para parada de aceleración	0-400 Hz	1 Hz
104	Frecuencia V/F3	0-400 Hz/9999	9999	141	Tiempo de compensación de la aceleración	0-360 s	0,5 s
105	Tensión V/F3	0-1000 V	0 V	142	Umbral de frecuencia para parada de deceleración	0-400 Hz	1 Hz
106	Frecuencia V/F4	0-400 Hz/9999	9999	143	Tiempo de compensación de la deceleración	0-360 s	0,5 s
107	Tensión V/F4	0-1000 V	0 V	144	Cambio de la indicación de velocidad	0/2/4/6/8/10/102/104/106/108/110	4
108	Frecuencia V/F5	0-400 Hz/9999	9999	145	Selección del idioma	0-7	1
109	Tensión V/F5	0-1000 V	0 V	148	Limitación de corriente con 0 V de tensión de entrada	0-120 %	110 %
117	Número de estación (interface PU)	0-31	0	149	Limitación de corriente con 10 V de tensión de entrada	0-120 %	120 %
118	Tasa de transferencia (interface PU)	48/96/192/384	192				
119	Longitud de bits de parada/longitud de datos (interface PU)	0/1/10/11	1				
120	Comprobación de paridad (interface PU)	0/1/2	2				
121	Número de intentos de repetición (interface PU)	0-10/9999	1				

Listado de parámetros en la serie F700 de Mitsubishi (continuación)

Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica	Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
150	Supervisión de corriente de salida	0-120 %	110 %	180	Asignación de función borne RL	0-8/10-14/16/24/25/37/62/64-67/9999	0
151	Duración de la supervisión de la corriente de salida	0-10 s	0 s	181	Asignación de función borne RM		1
152	Supervisión de corriente nula	0-150 %	5 %	182	Asignación de función borne RH		2
153	Duración de la supervisión de corriente nula	0-1 s	0,5 s	183	Asignación de función borne RT		3
154	Reducción de tensión con limitación de corriente	0/1	1	184	Asignación de función borne AU	0-8/10-14/16/24/25/37/62-67/9999	4
155	Condición de conexión señal RT	0/10	0	185	Asignación de función borne JOG	0-8/10-14/16/24/25/37/62/64-67/9999	5
156	Selección de la limitación de la corriente	0-31/100/101	0	186	Asignación de función borne CS		6
157	Tiempo de espera señal OL	0-25 s/9999	0 s	187	Asignación de función borne MRS		24
158	Salida borne AM	1-3/5/6/7/8-14/17/21/24/50/52/53	1	188	Asignación de función borne STOP		25
159	Rango de la frecuencia de entrega	0-10 Hz/9999	9999	189	Asignación de función borne RES		62
160	Lectura grupo de usuarios	0/1/9999	0	190	Asignación de función borne RUN	0-5/7/8/10-19/25/26/45-47/64/70-78/90-96/98/99/100-105/107/108/110-116/125/126/145-147/164/170/190-196/198/199/9999	0
161	Bloquear asignación de función del dial digital/unidad de mando	0/1/10/11	0	191	Asignación de función borne SU		1
162	Nueva puesta en marcha automática tras un fallo de red	0/1/2/10/11	0	192	Asignación de función borne IPF		2
163	1. Tiempo búfer para reinicio automático	0-20 s	0 s	193	Asignación de función borne OL		3
164	1. Tensión de salida para reinicio automático	0-100 %	0 %	194	Asignación de función borne FU		4
165	Limitación de corriente con reinicio	0-120 %	110 %	195	Asignación de función borne ABC1		99
166	Duración de impulso señal Y12	0-10 s/9999	0,1 s	196	Asignación de función borne ABC2	9999	
167	Funcionamiento cuando responde la supervisión de corriente de salida	0/1	0	232-293	8.-15. Preselección de revoluciones/velocidad	0-400 Hz/9999	9999
168	Parámetros de fábrica: ¡No ajustar!			240	Ajuste Soft-PWM	0/1	1
169				241	Unidad de la señal analógica de entrada	0/1	0
170	Reset del contador de vatihoras	0/10/9999	9999	242	Fijación del tamaño de la señal de superposición para borne 2 en borne 1	0-100 %	100 %
171	Reset del contador de horas de funcionamiento	0/9999	9999	243	Fijación del tamaño de la señal de superposición para borne 4 en borne 1	0-100 %	75 %
172	Reset de la indicación de la asignación de grupos de usuarios/asignación	9999/(0-16)	0	244	Control del ventilador de refrigeración	0/1	1
173	Parámetros para grupo de usuarios	0-999/9999	9999	245	Deslizamiento nominal del motor	0-50 %/9999	9999
174	Borrar parámetros del grupo de usuarios	0-999/9999	9999	246	Tiempo de respuesta de la compensación de deslizamiento	0,01-10 s	0,5 s
178	Asignación de función borne STF	0-8/10-14/16/24/25/37/60/62/64-67/9999	60				
179	Asignación de función borne STR	0-8/10-14/16/24/25/37/61/62/64-67/9999	61				

Listado de parámetros en la serie F700 de Mitsubishi (continuación)

Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica	Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica	
247	Selección de rango para la compensación de deslizamiento	0/9999	9999	300	Código de entrada BCD: Offset	Parámetro para la opción FR-A7AX (entrada digital de 16 bits)		
250	Método de parada	0-100 s/ 1000-1100 s/ 8888/9999	9999	301	Código de entrada BCD: Amplificación			
251	Error de fase de salida	0/1	1	302	Código binario de entrada: Offset			
252	Ajuste del offset de la superposición de la determinación del valor nominal	0-200 %	50 %	303	Código binario de entrada: Amplificación			
253	Ajuste de la amplificación de la superposición de la determinación del valor nominal	0-200 %	150 %	304	Selección de la señal digital de entrada y activación de la señal analógica de superposición			
255	Indicación duración	(0-15)	0	305	Señal de aceptación de datos			
256	Duración de la limitación de la corriente de conexión	(0-100 %)	100 %	306	Asignación de función de la salida analógica	Parámetro para la opción FR-A7AY (salida analógica/digital)		
257	Duración de la capacidad del circuito de control	(0-100 %)	100 %	307	Punto cero de la salida analógica			
258	Duración de la capacidad del circuito principal	(0-100 %)	100 %	308	Valor máximo de la salida analógica			
259	Medición de la duración de la capacidad del circuito principal	0/1	0	309	Cambio tensión/corriente de la salida analógica			
260	Regulación de la frecuencia portadora PWM	0/1	1	310	Asignación de función borne de salida AM1			
261	Método de parada en caso de corte del suministro eléctrico	0/1/2	0	311	Punto cero de la salida analógica de tensión			
262	Descenso de frecuencia en caso de corte del suministro eléctrico	0-20 Hz	3 Hz	312	Asignación de función Y0			
263	Valor umbral para el descenso de frecuencia en caso de corte del suministro eléctrico	0-120 Hz/9999	50 Hz	313	Asignación de función Y1			
264	Tiempo de frenado 1 en caso de corte del suministro eléctrico	0-3600/360 s	5 s	314	Asignación de función Y2			
265	Tiempo de frenado 2 en caso de corte del suministro eléctrico	0-3600/360 s/ 9999	9999	315	Asignación de función Y3			
266	Frecuencia de conmutación para tiempo de frenado	0-400 Hz	50 Hz	316	Asignación de función Y4			
267	Determinación de los datos de entrada de valor nominal en borne 4	0/1/2	0	317	Asignación de función Y5			
268	Indicación del número de decimales	0/1/9999	9999	319	Asignación de función Y6			
269	Parámetros de fábrica: ¡No ajustar!			320	Asignación de función RA1	Parámetro para la opción FR-A7AR (salidas de relé)		
299	Registro de dirección de giro en reinicio	0/1/9999	9999	321	Asignación de función RA2			
				322	Asignación de función RA3			
				323	Ajuste 0 V para AM0	Parámetro para la opción FR-A7AY (salida analógica/digital)		
				324	Ajuste 0 mA para AM1			
				329	Anchura de paso para entrada digital	Parámetro para la opción FR-A7AX (entrada digital de 16 bits)		
				331	Número de estación (2° interface serial)		0-31 (0-247)	0
				332	Tasa de transferencia (2° interface serial)	3/6/12/24/48/96/ 192/384		96

Listado de parámetros en la serie F700 de Mitsubishi (continuación)

Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica	Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
333	Longitud de bits de parada/longitud de datos (2° interface serial)	0/1/10/11	1	500	Tiempo de espera hasta la detección de errores de comunicación	Parámetro de las opciones de red	
334	Comprobación de paridad (2° interface serial)	0/1/2	2	501	Número de errores de comunicación		
335	Número de intentos de repetición (2° interface serial)	0-10/ 9999	1	502	Comportamiento de funcionamiento cuando se presenta un error de comunicación		
336	Intervalo de tiempo de la comunicación de datos (2° interface serial)	0-999,8 s/ 9999	0 s	503	Contador para intervalos de mantenimiento	0 (1-9998)	0
337	Respuesta tiempo de espera (2° interface serial)	0-150 ms/ 9999	9999	504	Ajuste del intervalo de mantenimiento	0-9998/9999	9999
338	Escribir instrucción de funcionamiento	0/1	0	542	Número de estación (CC-Link)	Parámetro para la opción FR-A7NC (comunicación CC-Link)	
339	Escribir instrucción de revoluciones	0/1/2	0	543	Velocidad de transmisión		
340	Modo de funcionamiento después de puesta en marcha	0/1/2/10/12	0	544	Ciclo extendido (CC-Link)		
341	Comprobación CR/LR (2° interface serial)	0/1/2	1	549	Selección de un protocolo	0/1	0
342	Selección acceso EPROM	0/1	0	550	Escribir instrucción de funcionamiento en modo NET	0/1/9999	9999
343	Número de errores de comunicación	—	0	551	Escribir instrucción de funcionamiento en modo PU	½	2
345	Dirección DeviceNet	Parámetro para la opción FR-A7ND (comunicación DeviceNet)		555	Intervalo de tiempo para la formación de valor medio de corriente	0,1-1,0 s	1 s
346	Tasa de transferencia DeviceNet						
349	Ajuste para reset de errores	Parámetro para las opciones FR-A7NC y FR-A7NP (comunicación CC-Link y PROFIBUS/DP)		556	Tiempo de retardo hasta la formación del valor medio de corriente	0,0-20,0 s	0 s
387	Tiempo de retardo de la transferencia de datos	Parámetro para la opción FR-A7NL (comunicación LONWORKS)		557	Valor de referencia para la formación del valor medio de corriente	0 hasta 500 A/ 0-3600 A ^②	Corriente nominal
388	Intervalo de tiempo para la transferencia de datos						
389	Tiempo mínimo de transferencia de datos						
390	Valor porcentual de referencia de frecuencia						
391	Intervalo de tiempo para la recepción de datos						
392	Número de variables supervisadas controlado por eventos						
495	Función salida remota	0/1	0	563	Trasgresión de la duración de conexión	(0-65535)	0
496	Datos de salida descentralizados 1	0-4095	0	564	Trasgresión de la duración de funcionamiento	(0-65535)	0
497	Datos de salida descentralizados 2	0-4095	0	570	Capacidad de sobrecarga	0/1	0
				571	Tiempo de mantenimiento frecuencia de inicio	0,0-10,0 s/9999	9999
				573	Pérdida de valor nominal de corriente	1/9999	9999
				575	Tiempo de respuesta para desconexión de salida	0-3600 s, 9999	1 s
				576	Umbral de respuesta para desconexión de salida	0-400 Hz	0 Hz
				577	Umbral de respuesta para anulación de la desconexión de salida	900-1100 %	1000 %
				578	Funcionamiento de motor auxiliar	0-3	0

Listado de parámetros en la serie F700 de Mitsubishi (continuación)

Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica	Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
579	Cambio de motores auxiliares	0-3	0	888	Parámetro libre 1	0-9999	9999
580	Tiempo de bloqueo de los contactores de motor auxiliar	0-100 s	1 s	889	Parámetro libre 2	0-9999	9999
581	Demora de inicio de los contactores de motor auxiliar	0-100 s	1 s	891	Desplazamiento de la coma con la indicación de energía	0-4/9999	9999
582	Tiempo de frenado al conectar el motor auxiliar	0-3600 s/9999	1 s	892	Factor de carga	30-150 %	100 %
583	Tiempo de aceleración al desconectar el motor auxiliar	0-3600 s/9999	1 s	893	Valor de referencia para supervisión de energía (potencia del motor)	0,1-55 kW/ 0-3600 kW ^②	Capacidad de sobrecarga con la potencia conectada del motor
584	Frecuencia de inicio motor auxiliar 1	0-400 Hz	50 Hz	894	Selección del comportamiento de regulación	0/1/2/3	0
585	Frecuencia de inicio motor auxiliar 2	0-400 Hz	50 Hz	895	Valor de referencia para el ahorro de energía	0/1/9999	9999
586	Frecuencia de inicio motor auxiliar 3	0-400 Hz	50 Hz	896	Costos de energía	0-500/9999	9999
587	Frecuencia de parada motor auxiliar 1	0-400 Hz	0 Hz	897	Tiempo para la formación de valor medio del ahorro de energía	0/1-1000 h, 9999	9999
588	Frecuencia de parada motor auxiliar 2	0-400 Hz	0 Hz	898	Reset de la supervisión de energía	0/1/10/9999	9999
589	Frecuencia de parada motor auxiliar 3	0-400 Hz	0 Hz	899	Tiempo de funcionamiento (valor precalculado)	0-100 %/9999	9999
590	Demora de inicio del motor auxiliar	0-3600 s	5 s	C0 (900)	Calibración de la salida FM	—	—
591	Demora de parada del motor auxiliar	0-3600 s	5 s	C1 (901)	Calibración de la salida AM	—	—
592	Activar función transversal	0/1/2	0	C2 (902)	Offset para determinación del valor nominal en borne 2 (frecuencia)	0-400 Hz	0 Hz
593	Amplitud máxima	0-25 %	10 %	C3 (902)	Valor de offset de la señal de entrada en borne 2 asignado al valor de frecuencia de offset	0-300 %	0 %
594	Adaptación de amplitud durante la deceleración	0-50 %	10 %	125 (903)	Amplificación para determinación del valor nominal en borne 2 (frecuencia)	0-400 Hz	50 Hz
595	Adaptación de amplitud durante la aceleración	0-50 %	10 %	C4 (903)	Valor de amplificación de la señal de entrada en borne 2 asignado al valor de frecuencia de amplificación	0-300 %	100 %
596	Tiempo de aceleración para la función transversal	0,1-3600 s	5 s	C5 (904)	Offset para determinación del valor nominal en borne 4 (frecuencia)	0-400 Hz	0 Hz
597	Tiempo de frenado para la función transversal	0,1-3600 s	5 s	C6 (904)	Valor de offset de la señal de entrada en borne 4 asignado al valor de frecuencia de offset	0-300 %	20 %
611	Tiempo de aceleración al reiniciar	0-3600 s,9999	5/15 s ^①	126 (905)	Amplificación para determinación del valor nominal en borne 4 (frecuencia)	0-400 Hz	50 Hz
867	Ritro de salida AM	0-5 s	0,01 s	C7 (905)	Valor de amplificación de la señal de entrada en borne 4 asignado al valor de frecuencia de amplificación	0-300 %	100 %
869	Ritro para corriente de salida	0-5 s	0,02 s				
872	Error de fases de entrada	0/1	0				
882	Activación de la conducción indirecta de la frecuencia de salida	0/1	0				
883	Valor umbral de tensión	300-800 V	760 V DC				
884	Sensibilidad de respuesta de la conducción indirecta	0-5	0				
885	Ajuste de la banda conductora	0-10 Hz/9999	6 Hz				
886	Comportamiento de respuesta de la conducción indirecta (tensión)	0-200 %	100 %				

Listado de parámetros en la serie F700 de Mitsubishi (continuación)

Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
C8 (930)	Offset de la señal asignada al borne CA	0-100 %	0 %
C9 (930)	Offset de la señal de corriente CA	0-100 %	0 %
C10 (931)	Amplificación de la señal asignada al borne CA	0-100 %	100 %
C11 (931)	Amplificación de la señal de corriente CA	0-100 %	100 %
989	Supresión de alarma al copiar parámetros	10/100	10/100 ^②
990	Tono de señal al pulsar tecla	0/1	1
991	Contraste LCD	0-63	58

Parámetro	Significado	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
Pr.CL	Borrar parámetro	0/1	0
ALLC	Borrar todos los parámetros	0/1	0
Er.CL	Borrar memoria de alarmas	0/1	0
PCPY	Copiar parámetro	0/1/2/3	0

Observaciones relativas a la tabla:

- ¹ Dependiente de la clase de potencia del variador de frecuencia
- ² Con el valor "8888" la tensión de salida máxima es del 95% de la tensión de entrada
- ³ Con el valor "9999" la tensión de salida máx. se corresponde con la tensión de entrada

APÉNDICE 7. Causa de fallo

Tabla XVII. Causa de fallo

Error	Causas posibles	Comprobación / Indicaciones para la eliminación del error
El motor no funciona.	La tensión de red o el motor no están bien conectados	¿Están bien cableados los bornes L1 y N (o bien L1–L3) y es correcta la tensión de los bornes?
		¿Están bien cableados los bornes U, V y W ?
		¿Están puenteados los bornes P1 y P/+ ó bien +?
	Señales de entrada mal conectadas	¿Hay una señal de inicio?
		No deben estar presentes simultáneamente las señales de inicio para el giro a la izquierda y para el giro a la derecha.
		El ajuste de la frecuencia no debe ser a "0".
		Cuando se entra un valor nominal de 4–20 mA tiene que estar desconectada la señal AU.
		¿Está conectada la señal para la activación del bloqueo de regulación (MRS) y la señal RESET (RES)?
	Ajustes incorrectos de los parámetros	¿Está bien conectado el puente ("jumper") para la selección de la lógica de control (positiva/negativa)?
		Compruebe el parámetro 79 para la selección del modo de funcionamiento. Asegúrese de que los ajustes necesarios para el funcionamiento, tales como preselección de las revoluciones o frecuencia máxima de salida (parámetro 1), no están puestos a "0".
Carga	¿Es la carga demasiado alta?	
	¿Está bloqueado el eje del motor?	
Otras causas	¿Se indica un aviso de error en el display del panel de control (p.ej. OC1)?	
El motor marcha en la dirección equivocada.	Secuencia de fases errónea	Compruebe la secuencia de fases de los bornes de salida U, V y W.
	Señal de inicio	Asegúrese de que están bien conectadas las señales de inicio para el giro a la derecha o a la izquierda.
	Determinación errónea de la dirección de giro	
Las revoluciones del motor son demasiado altas o demasiado reducidas.	Señal de valor nominal	¿Se dispone de señal de valor nominal (valor correcto)? Mida el valor de la señal de valor nominal.
	Ajustes incorrectos de los parámetros	Compruebe los ajustes de los parámetros 1, 2, y 19
	Señales parásitas	Asegúrese de que no hay interferencias que perturben las líneas de conexión de las señales de entrada. Emplee cables apantallados.
	Carga	¿Es la carga demasiado alta?
La aceleración o el frenado del motor es irregular	Ajuste incorrecto del tiempo de aceleración /de frenado	Compruebe si el ajuste del tiempo de aceleración y/o de frenado es demasiado reducido (parámetros 7 y 8). Aumente estos valores.
	Carga	¿Es la carga demasiado alta?
	Elevación del par de giro	¿Es el ajuste del valor de la elevación del par de giro tan alto que se activa la protección de desconexión para sobrecorriente?
La corriente del motor es demasiado alta.	Carga	¿Es la carga demasiado alta?
	Elevación del par de giro	¿Es demasiado alto el ajuste del valor de la elevación del par de giro?

Causa de fallo (continuación)

Error	Causas posibles	Comprobación / Indicaciones para la eliminación del error
No es posible aumentar las revoluciones del motor.	Frecuencia máxima de salida	¿Está bien ajustada la frecuencia de salida máxima (parámetro 1)?
	Carga	¿Es la carga demasiado alta?
	Elevación del par de giro	¿Es el ajuste del valor de la elevación del par de giro tan alto que se activa la protección contra sobrecorriente?
El motor marcha irregularmente	Carga	Asegúrese de que las fluctuaciones de carga no son excesivas.
	Señales de entrada	¿Es estable la señal de valor nominal de frecuencia?
		Asegúrese de que no hay interferencias que perturben la señal de valor nominal de frecuencia.
		Asegúrese de que con la excitación por medio de un módulo de salida de transistor no pueden producirse disfunciones producidas por corrientes de fuga.
Otras causas	No se debe sobrepasar la longitud de cable de motor permitida.	
No es posible cambiar de modo de funcionamiento.	Hay señal de inicio	No debe haber ninguna señal de inicio. En caso de que haya señal de inicio no es posible cambiar el modo de funcionamiento.
	Ajustes de parámetros	Compruebe el ajuste del parámetro 79. Si el parámetro 79 está a "0", después de conectar la fuente de alimentación el variador de frecuencia se encuentra en el modo de funcionamiento para el control externo. Con la tecla PU/EXT es posible cambiar al "modo de funcionamiento mediante unidad de mando".
No hay ninguna indicación en el panel de control	Conexión de los bornes PC y SD	No se deben conectar entre sí los bornes PC y SD.
	Puente entre los bornes P1 y P/+ ó bien +	Asegúrese de que está bien conectado el puente entre los bornes P1 y P/+ ó bien +.
No es posible escribir parámetros	Hay señal de inicio	No debe haber ninguna señal de inicio.
	Tecla SET (tecla WRITE)	Pulse la tecla SET (panel de control/unidad de mando FR-DU07) o bien la tecla WRITE (unidad de mando FR-PU04) para guardar los valores de parámetro.
	Ajuste de parámetros	Asegúrese de que el valor del parámetro se encuentra dentro del rango de ajuste permitido.
El variador de frecuencia no puede encontrarse en el modo de funcionamiento "control externo"		
El motor produce ruidos extraños.	Ajustes de parámetros	Asegúrese de que el tiempo de frenado no es demasiado corto (parámetro 8).

APÉNDICE 8. Sinopsis de los avisos de error (variadores Mitsubishi)

Tabla XVIII. Avisos de error

Subdivisión	Indicación en el variador					Significado
	FR-S 500	FR-E 500	FR-F 700	FR-A 700	Texto	
Avisos de error	—	—	<i>HOLD</i>	<i>HOLD</i>	HOLD	Bloqueo del panel de control
	<i>Er1</i> <i>Er2</i> <i>Er3</i>	—	<i>Er1</i> <i>Er2</i> <i>Er3</i> <i>Er4</i>	<i>Er1</i> <i>Er2</i> <i>Er3</i> <i>Er4</i>	ER1 ER2 ER3 ER4	<ul style="list-style-type: none"> FR-S 500 ER1 y ER2: Error al escribir los parámetros ER3: Error de calibración FR-F 700 y FR-A 700 Error de transmisión de parámetros
	—	—	<i>rE1</i> <i>rE2</i> <i>rE3</i> <i>rE4</i>	<i>rE1</i> <i>rE2</i> <i>rE3</i> <i>rE4</i>	rE1 rE2 rE3 rE4	Error de copiado
	—	<i>Err</i>	<i>Err.</i>	<i>Err.</i>	Err.	Error (p. ej. parámetro erróneo)
Avisos de advertencia	<i>OL</i>	<i>OL</i>	<i>OL</i>	<i>OL</i>	OL	Sobrecarga (sobrecorriente)
	<i>oL</i>	<i>oL</i>	<i>oL</i>	<i>oL</i>	oL	Sobrecarga (sobretensión)
	—	—	<i>rb</i>	<i>rb</i>	RB	Resistencia de frenado sobrecargada
	—	—	<i>TH</i>	<i>TH</i>	TH	Alarma previa protección térmica electrónica del motor
	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	PS	El variador de frecuencia ha sido parado por medio del panel de control
	—	—	<i>MT</i>	<i>MT</i>	MT	Salida de señal para el mantenimiento
	—	—	<i>CP</i>	<i>CP</i>	CP	Copiar parámetro
	—	—	—	<i>SL</i>	SL	Ha respondido la limitación de revoluciones
Fallos leves	<i>Fn</i>	<i>Fn</i>	<i>Fn</i>	<i>Fn</i>	FN	Ventilador defectuoso
Fallos graves	<i>OC1</i>	<i>EOC1</i>	<i>EOC1</i>	<i>EOC1</i>	E.OC1	Desconexión por sobrecorriente durante la aceleración
	<i>OC2</i>	<i>EOC2</i>	<i>EOC2</i>	<i>EOC2</i>	E.OC2	Desconexión por sobrecorriente con velocidad constante
	<i>OC3</i>	<i>EOC3</i>	<i>EOC3</i>	<i>EOC3</i>	E.OC3	Desconexión por sobrecorriente al frenar
	<i>OV1</i>	<i>EOV1</i>	<i>EOV1</i>	<i>EOV1</i>	E.OV1	Sobretensión durante la acel.
	<i>OV2</i>	<i>EOV2</i>	<i>EOV2</i>	<i>EOV2</i>	E.OV2	Sobretensión durante velocidad constante
	<i>OV3</i>	<i>EOV3</i>	<i>EOV3</i>	<i>EOV3</i>	E.OV3	Sobretensión al frenar
	<i>THr</i>	<i>EThr</i>	<i>EThr</i>	<i>EThr</i>	E.THT	Sobrecarga (variador)
	<i>THn</i>	<i>EThn</i>	<i>EThn</i>	<i>EThn</i>	E.THM	Protección contra sobrecarga del motor (disparo de la protección térmica electrónica del motor)
	<i>Fin</i>	<i>EFin</i>	<i>EFin</i>	<i>EFin</i>	E.FIN	Sobrecalentamiento cuerpo refig.

Sinopsis de los avisos de error (continuación)

Subdivisión	Indicación en el variador				Texto	Significado
	FR-S 500	FR-E 500	FR-F 700	FR-A 700		
Fallos graves	—	—	E1 PF	E1 PF	E.IPF	Corte breve de red
	—	EbE	E. bE	E. bE	E.BE	Transistor de frenado defectuoso/Fallo en circuito interno
	Uu	—	EUuF	EUuF	E.UVT	Tensión baja
	—	—	E1 LF	E1 LF	E.ILF	Error de fases de entrada
	OLr	EDLr	E.OLr	E.OLr	E.OLT	Desconexión debido a sobrecarga
	Gr	EGr	E. Gr	E. Gr	E.GF	Sobrecorriente debido a contacto a tierra del lado de salida
	—	ELF	E. LF	E. LF	E.LF	Fase de salida abierta
	OHR	EOHR	E.OHR	E.OHR	E.OHT	Se ha disparado el guardamotor externo (termocontacto)
	—	—	EPrc	EPrc	E.PTC	PTC disparo termistor
	OPr	EOPr	E.OPr	E.OPr	E.OPT	Fallo en combinación con una unidad opcional (Con FR-A 700 y FR-F 700: unidad opcional externa)
	—	—	—	EOP1	E.OP1	Fallo de la unidad opcional instalada internamente (p.ej error de comunicación)
	—	—	—	EOP3	E.OP3	
	—	E. 3	E. 1 E. 2 E. 3	E. 1 E. 3	E.1 E.2 E.3	Fallo de la unidad opcional instalada internamente (p.ej. error de conexión o de contacto)
	CPU	E. 6 E. 7 E.CPU	E. 6 E. 7 E.CPU	E. 6 E. 7 E.CPU	E.6 E.7 E.CPU	Error de CPU
	—	—	—	E. 11	E.11	Sin demora con cambio de dirección de giro
	—	—	E. 13	E. 13	E.13	Error interno
	PE	EPE	E. PE	E. PE	E.PE	Error de memoria
	—	—	EPE2	EPE2	E.PE2	Error de memoria
	PUE	EPUE	EPUE	EPUE	E.PUE	Fallo en la conexión con la unidad de mando
	—	—	E.CTE	E.CTE	E.CTE	<ul style="list-style-type: none"> ● Cortocircuito en la conexión con la unidad de mando ● Cortocircuito de la tensión de salida del interface RS485
	rEr	ErEr	ErEr	ErEr	E.RET	Se ha excedido el número de intentos de reinicio
	—	EP24	EP24	EP24	E.P24	Cortocircuito de la tensión de salida de 24 V DC
	—	—	E.CDO	E.CDO	E.CDO	Se ha excedido la corriente de salida permitida
	—	—	E1 OH	E1 OH	E.IOH	Corr. conex. demasiado alta
	—	—	—	E.SEr	E.SER	Error de comunicación (variador de frecuencia)
	—	—	—	E.AIE	E.AIE	Entrada analógica defectuosa
	—	—	—	E.OS	E.OS	Revoluciones excesivas

Sinopsis de los avisos de error (continuación)

Subdivisión	Indicación en el variador					Significado
	FR-S 500	FR-E 500	FR-F 700	FR-A 700	Texto	
Fallos graves	—	—	—	E.O5d	E.OSD	Fluctuación excesiva de revoluciones
	—	—	—	E.EC7	E.ECT	Error de encoder (no hay señal)
	—	—	—	E.0d	E.OD	Fluctuación de posición demasiado grande
	—	—	—	E.Mb1 hasta E.Mb7	E.MB1 hasta E.MB7	Se ha producido un error durante la secuencia de frenado
	—	—	—	E.EP	E.EP	Error de fases en el encoder
	—	—	—	E.USb	E.USB	Error con la comunicación a través del puerto USB